

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Vicente José Fernandes Costa Ferreira

**Sistema de regulagem do esforço de corte em
chapas metálicas com variação de espessuras**

Taubaté – SP
2005

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Vicente José Fernandes Costa Ferreira

Sistema de regulagem do esforço de corte em chapas metálicas com variação de espessuras

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Automação e Controle Industrial

Orientador: Prof.Dr.José Rui Camargo

Taubaté – SP
2005

F383s

Ferreira, Vicente José Fernandes Costa.
Sistema de regulagem do esforço de corte em chapas metálicas com variação de espessuras./ Vicente José Fernandes Costa Ferreira. – Taubaté: Unitau, 2005.

62 f. :il;30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Taubaté. Faculdade de Engenharia Mecânica. Curso de Engenharia Mecânica.

Orientador: José Rui Camargo.

1. Sistema eletropneumático. 2. Esforços de corte. 3. Automação e Controle Industrial. I. Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica. II. Título.

CDD(21) 629.8

VICENTE JOSÉ FERNANDES COSTA FERREIRA

**SISTEMA DE REGULAGEM DO ESFORÇO DE CORTE EM CHAPAS
METÁLICAS COM VARIAÇÃO DE ESPESSURAS**

Dissertação apresentada para obtenção
do título de Mestre em Engenharia
Mecânica do Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade
de Taubaté.

Área de Concentração: Automação e
Controle Industrial

Data:.....

Resultado:.....

BANCA EXAMINADORA

Prof.Dr. José Rui Camargo

Universidade de Taubaté

Assinatura:.....

Prof.Dr. Francisco José Grandinetti

Universidade de Taubaté

Assinatura:.....

Prof.Dr. José Geraldo Trani Brandão

Universidade Estadual Paulista

Assinatura:.....

Dedico esta Dissertação a minha noiva, Patrícia, pela paciência;
a meus pais Ângelo e Elaine, pelo apoio; e ao meu avô Alverne,
que na saudade eterna fortaleceu a determinação.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força nos momentos mais difíceis permitindo saúde, sabedoria e perseverança.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Rui Camargo, Chefe do Departamento de Engenharia Mecânica pelo total apoio, conhecimento dos assuntos abordados, colaboração, boa vontade, motivação, permissão para uso do laboratório, os quais foram imprescindíveis à realização deste trabalho.

Aos assistentes do laboratório Flávio e João, pela colaboração e disposição de seu tempo no auxílio de montagem do circuito.

À biblioteca da UNITAU, pelo auxílio na consulta de seu acervo.

Aos amigos Édson, Fabrício Kawakami e Nilo Sampaio, pelo incentivo e colaboração neste trabalho.

Aos técnicos de manutenção, automação e elétrica da fábrica: José Augusto, Lourival, Cícero, pelos esclarecimentos daqueles que vivem o prático no dia- a- dia.

Ao Eng^o.Eduardo Motta da Cunha, diretor da empresa Metta Automação de Resende – RJ, pela sua colaboração .

Ao Sr. Waldemir Amaro, colega de Mestrado, pelas dúvidas esclarecidas e auxílio nos circuitos.

A empresa Parker pelo fornecimento dos cilindros pneumáticos, pois não seria possível a realização do ensaio sem os acessórios principais.

LISTA DE SÍMBOLOS

| | | |
|----------------|-----------------------------------|--|
| φ | Fator de correção | (N) |
| C | Capacitância | (kg.m ² / N) |
| D | Diâmetro da matriz | (mm) |
| d | Diâmetro do punção | (mm) |
| e | Espessura da chapa | (mm) |
| E | Módulo de elasticidade | (N/mm ²) |
| F _c | Força de corte | (N) |
| f _s | Fator de segurança | adimensional |
| H | Espessura da matriz circular | (mm) |
| J | Momento de inércia seção circular | (mm ⁴) |
| L | Comprimento de flambagem | (mm) |
| P | Perímetro de corte | (mm ²) |
| p ₀ | Pressão inicial | (Pa) |
| P _i | Pressão resultante | (Pa) |
| R | Constante universal dos gases | (8,31 Pa.m ³ .mol ⁻¹ .K ⁻¹) |
| S | Área de flambagem | (mm ²) |
| λ | Índice de esbeltez | adimensional |
| σ_f | Carga de flambagem | (N/mm ²) |
| τ_c | Tensão de cisalhamento | (N/ mm ²) |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1.1- CROQUI DA BANCADA DE ENSAIO | 15 |
| FIGURA 2.1 – ESTAMPO DE CORTE E SUAS PARTES | 21 |
| FIGURA 2.2 – GRÁFICO DA FOLGA DO PUNÇÃO COM A MATRIZ | 23 |
| FIGURA 2.3 – O PUNÇÃO EM DETALHE | 25 |
| FIGURA 2.4 – A MATRIZ CIRCULAR EM DETALHE | 26 |
| FIGURA 2.5 – BASE E ESTAMPO EM DETALHE | 27 |
| FIGURA 2.6 – PORTA PUNÇÃO E COLUNA GUIA EM DETALHE | 28 |
| FIGURA 2.7 – VISTA SUPERIOR MONTAGEM DAS BASES | 30 |
| FIGURA 2.8 – VISTA TRIDIMENSIONAL DA PUNCIÓNADEIRA | 30 |
| FIGURA 3.1 – VISTA TRIDIMENSIONAL DOS ATUADORES ALIMENTA- DORES | 34 |
| FIGURA 3.2 – ESQUEMA SENSOR INDUTIVO | 35 |
| FIGURA 3.3 –VÁLVULA PROPORCIONAL REGULADORA DE PRESSÃO PARKER | 36 |
| FIGURA 3.4 – DETECTOR DE ESPESSURA DE CHAPAS | 37 |
| FIGURA 3.5 – CROQUI DA DISPOSIÇÃO DOS ATUADORES | 38 |
| FIGURA 3.6 – O ESQUEMA PNEUMÁTICO DOS ATUADORES | 40 |
| FIGURA 3.7 – O RELÉ E SEUS CONTATOS | 40 |
| FIGURA 3.8 – ESQUEMA ELÉTRICO | 41 |
| FIGURA 3.9 – O ESQUEMA PNEUMÁTICO DOS ATUADORES | 43 |
| FIGURA 3.10 – O ESQUEMA ELÉTRICO DAS ENTRADAS E SAÍDAS | 44 |
| FIGURA 4.1 – O DIAGRAMA SEQUENCIAL DA PUNCIÓNADEIRA | 46 |
| FIGURA 4.2 – DIAGRAMA LÓGICO SEQUENCIAL | 47 |
| FIGURA 5.1 – A DISPOSIÇÃO DO CIRCUITO EM BANCADA | 52 |
| FIGURA 5.2 – O ESQUEMA ELETROPNEUMÁTICO REALIZADO | 55 |
| FIGURA 5.3 – BANCADA EXPERIMENTAL | 56 |
| FIGURA 5.4 – DETALHE DO DISPOSITIVO MEDIDOR E CILINDROS | 56 |
| FIGURA 5.5 – O PROGRAMA DO CLP PARA A MOVIMENTAÇÃO DOS CILINDROS | 59 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 2.1 – CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS DE UM ESTAMPO DE CORTE | 22 |
| TABELA 3.1 – FATOR DE CORREÇÃO EM ATUADORES PNEUMÁTICOS | 32 |
| TABELA 3.2 – ESPECIFICAÇÃO ATUADORES PNEUMÁTICOS | 33 |
| TABELA 3.3 – ETAPAS DE MOVIMENTAÇÃO DOS ATUADORES | 39 |
| TABELA 3.4 – ETAPAS DE MOVIMENTAÇÃO DOS ATUADORES E SENSORES | 43 |
| TABELA 4.1 – ELEMENTOS DE ENTRADA E SAÍDA DO CIRCUITO | 48 |
| TABELA 5.1 – SEQÜÊNCIA DA OPERAÇÃO | 54 |
| TABELA 5.2 – SENSORES E CILINDROS UTILIZADOS | 55 |

NOMENCLATURA

| | |
|-----|---|
| CLP | Controlador Lógico Programável |
| CC | Corrente contínua |
| CA | Corrente alternada |
| NA | Normalmente aberto |
| NF | Normalmente fechado |
| UCP | Unidade central de processamento |
| PID | Ações de controle: Proporcional – Integral-derivativo |
| mA | Miliampére |
| S0 | Botoeira de comando |
| S1 | Sensor fim de curso 1 |
| S2 | Sensor fim de curso 2 |
| S3 | Sensor fim de curso 3 |
| S4 | Sensor fim de curso 4 |
| S5 | Sensor fim de curso 5 |
| S6 | Sensor fim de curso 6 |
| S7 | Sensor fim de curso 7 |
| S8 | Sensor fim de curso 8 |
| S9 | Sensor fim de curso 9 |
| Y1 | Válvula solenóide 1 |
| Y2 | Válvula solenóide 2 |
| Y3 | Válvula solenóide 3 |
| Y4 | Válvula solenóide 4 |
| K | Relé |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| LISTA DE SÍMBOLOS | |
| LISTA DE FIGURAS | |
| LISTA DE TABELAS | |
| LISTA DE NOMENCLATURAS | |
| RESUMO | |
| ABSTRACT | |
| 1. INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA | 14 |
| 1.2 OBJETIVOS | 14 |
| 1.3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO | 15 |
| 1.4 REVISÃO DE LITERATURA | 16 |
| 2. O PROJETO MECÂNICO | 19 |
| 2.1 PROCESSO DE CORTE | 19 |
| 2.2 ESFORÇOS DE CORTE E A CARGA DE FLAMBAGEM | 19 |
| 2.3 ESTAMPO DE CORTE | 20 |
| 2.3.1 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS | 21 |
| 2.4 FOLGA ENTRE PUNÇÃO E MATRIZ | 22 |
| 2.5 DESENVOLVIMENTO MECÂNICO DA PUNCIÓNADEIRA | 23 |
| 2.5.1 CÁLCULO DOS ESFORÇOS DE CORTE NAS CHAPAS ESCO- | 24 |
| LHIDAS | |
| 2.5.2 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES MECÂNICOS | 24 |
| 2.5.2.1 PUNÇÃO | 24 |
| 2.5.2.2 MATRIZ | 25 |
| 2.5.2.3 BASE E ESTAMPO SUPERIOR | 26 |
| 2.5.2.4 PORTA – PUNÇÃO E COLUNAS -GUIAS | 27 |
| 2.5.2.5 PRENSAS CHAPAS, BUCHAS DE GUIAS, TOPES, PÉS DAS | 28 |
| MESAS, SUPORTES DE COLUNA, GUIA CHAPAS, PAINEL DO | |
| CILINDRO E FIXADORES | |
| 2.5.3 O SISTEMA MECÂNICO PARA INTERPRETAÇÃO DAS | 29 |
| ESPESSURAS DE CHAPAS | |
| 2.5.4 A MONTAGEM DA MÁQUINA E SEU ESBOÇO TRIDIMENSIO - | 30 |
| NAL | |

| | |
|---|----|
| 3. O CIRCUITO ELETROPNEUMÁTICO | 31 |
| 3.1 OS ATUADORES PNEUMÁTICOS E SEU DIMENSIONAMENTO | 32 |
| 3.2 OS ELEMENTOS SENSORES | 34 |
| 3.3 A VÁLVULA PROPORCIONAL REGULADORA DE PRESSÃO | 36 |
| 3.4 O DETECTOR DE ESPESSURA DE CHAPAS | 37 |
| 3.5 A DESCRIÇÃO DOS MOVIMENTOS DOS CILINDROS | 38 |
| 3.6 O ESQUEMA DO CIRCUITO ELETROPNEUMÁTICO E DEMAIS COMPONENTES | 39 |
| 3.6.1 O CIRCUITO APLICADO COM RELÉS | 39 |
| 3.6.2 O CIRCUITO ELETROPNEUMÁTICO COM O CLP | 43 |
| 4. O DIAGRAMA SEQUENCIAL | 45 |
| 4.1 O DIAGRAMA FUNCIONAL DO CIRCUITO | 45 |
| 4.2 O CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL | 49 |
| 5. A MONTAGEM DO CIRCUITO EM BANCADA | 51 |
| 5.1 A COMPOSIÇÃO DO CIRCUITO | 51 |
| 5.2 O ESQUEMA DE MONTAGEM DA BANCADA E A DISPOSIÇÃO DOS ELEMENTOS | 52 |
| 5.3 AS ADAPTAÇÕES NECESSÁRIAS | 53 |
| 5.4 O CIRCUITO REALIZADO | 54 |
| 5.5 O PROGRAMA UTILIZADO NO CLP | 56 |
| 6 RESULTADOS E CONCLUSÕES | 59 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 61 |

RESUMO

Este trabalho apresenta o projeto de um sistema que possa ser aplicado sob uma operação de execução de furos em chapas metálicas, tendo em vista atender a um dos processos mais empregados na indústria de conformação mecânica, junto com a busca de resultados mais eficientes.

O objetivo é propor um sistema eletropneumático, que seja capaz de escolher por meio de um dispositivo mecânico medidor de espessuras de chapas, com um sensor em sua extremidade, a pressão exercida sobre um atuador pneumático que simula o punção de corte na chapa, sendo o sistema capaz de regular esforços de corte aplicados em espessuras distintas de chapas, no caso, duas chapas metálicas de diferentes espessuras e suas respectivas regulagens de pressão operando sob uma mesma máquina, obtendo um resultado otimizado de produção.

A primeira etapa do projeto consiste no dimensionamento mecânico da máquina de corte das chapas, onde são efetuados os cálculos dos esforços de cortes necessários para atender as respectivas espessuras, levando em consideração às forças de cortes, as cargas de flambagem. Um modelo virtual é desenvolvido no intuito de se obter a montagem da máquina, lembrando que os furos são circulares e de mesmo diâmetro e as espessuras de chapas são de 1 mm e 3mm respectivamente.

Para o reconhecimento da espessura das chapas um dispositivo mecânico é elaborado, sendo composto de uma haste que se movimenta a partir de uma mola, tendo na extremidade do dispositivo um sensor que atua assim que a chapa de maior espessura passa pela haste; já a de menor espessura faz com que o sensor não atue.

Na etapa prática é elaborado o circuito em uma bancada, de maneira a atender ao projeto em suas etapas, seja a pneumática, a elétrica, a mecânica e a automação dos elementos utilizando um controlador lógico programável. O programa em ladder realizado no CLP controla as movimentações das chapas e a seleção de pressão nas válvulas solenóides. Durante a fase de montagem os sensores e as válvulas são ligadas com base nos esquemas desenvolvidos.

Palavras-Chave: Sistema eletropneumático, esforços de corte, medidor de espessuras de chapas.

ABSTRACT

This work presents the project of a system that can be applied under a punching operation with different thickness metal plates and the pressure variation, knowing that is one of the most used process in the mechanical industry conformation, it reaches the most efficient results applied to the studied process.

The main is to consider a electropneumatic system that is capable to choose the pressure in the pneumatic actuator, measuring the thickness metal plates using a thicknesses mechanical measurement device, which can recognize the different thickness with a sensor in its extremity, the pressure exerted on a pneumatic actuator that simulates the punching operation, being the system capable to regulate and applied the cutting efforts according the distinct thicknesses plates; in the case, two metallic plates of different thicknesses and its respective regulations of pressure operating under one same machine, getting an optimized result of production.

The first stage of the project consists to make the mechanical sizing of the punching machine, where the cutting efforts necessary to the process can be calculated and applied to each thickness variation. A virtual model is developed in the intention to get the assembly of the machine, remembering that the holes are circular and same diameter and the thicknesses plates are 1mm and 3mm respectively.

For the recognition of the gauge a mechanical device is elaborated, being composed of a connecting rod that it puts into motion from a spring, having in the extremity of the device a sensor, that acts directly in the 3mm thickness plate and it measures exactly when it passes the connecting rod; otherwise when the 1mm thickness plate passes, the sensor do not actuate and not send any signal.

In the practical the electro circuit is developed, in its stages, either the pneumatic, the electric one, the mechanics and the element automation using a logical controller programmable .The program in ladder is charged in the PLC, controlling the plates movements and making the pressure selection in the solenoid valves. During the assembly phase the sensors and the valves are the most essential elements in the project. In the execution of the essay was possible to prove the application of the pressures in the recognition of the thicknesses.

Key-words: Eletropneumatic system, cutting efforts cut, thickness measurement, punching.

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

A presença da engenharia de automação torna-se cada vez mais constante na indústria, onde a manufatura busca melhores resultados de produção, qualidade nos processos e rentabilidade.

Em especial no setor mecânico industrial, o processo de cortes em chapas metálicas apresenta inúmeras aplicações e especificações de tolerâncias, ajustes, tipo de material a ser empregado. A importância de soluções automatizadas para os processos torna-se essencial na medida em que a demanda aumenta, bem como a exigência do mercado. Por isto a necessidade de novas pesquisas que visualizem a aplicação da automação dentro dos processos de fabricação.

Neste trabalho foi escolhido o processo de corte por punção no desenvolvimento de uma puncionadeira automática com regulagem de pressão em função da variação de espessura em chapas finas, conceituando a aplicação mecânica com o dinamismo da automação.

1.2 Objetivos

Este trabalho busca desenvolver um sistema de escolha de pressão de um atuador pneumático para uma puncionadeira, quando variam as espessuras de chapas associadas ao corte, e dimensionar um equipamento mecânico com as seguintes variáveis : a) a espessura das chapas; b) a pressão no cilindro pneumático, necessário para executar os furos nas duas condições de espessuras de chapas empregadas; c) o monitoramento das espessuras das chapas através de sensores; d) a utilização dos componentes mecânicos com os automáticos, para a execução do equipamento; e conclusões finais quanto ao desempenho do ciclo da máquina como um todo. Tem como ênfase avaliar o comportamento do leitor de espessura de chapas para a regulagem de esforço de corte junto ao cilindro pneumático, de forma a garantir a proposta deste projeto.

1.3 Desenvolvimento do trabalho

Para o desenvolvimento, o trabalho foi elaborado em duas etapas: na primeira parte, considera-se o projeto mecânico do equipamento, no qual é dimensionada cada etapa da estrutura, tais como: o punção, porta-punção, guias, colunas, matriz, base, estampo, parafusos, com base nas fórmulas de cálculo dos esforços para corte com punção, flambagem da estrutura, espessuras dos perfis, sendo algumas medidas extraídas de catálogos e tabelas padronizadas com suas respectivas especificações e características, além do desenvolvimento dos desenhos mecânicos propriamente ditos.

Na segunda etapa, especifica-se o sistema de automação eletropneumática mediante as especificações dos cilindros pneumáticos, dos sensores indutivos, que, associados a um sistema de braço de alavanca de molas e válvulas direcionais permitem a realização da leitura das espessuras de chapas e a variação da pressão no cilindro.

Como o trabalho tem o enfoque na realização do monitoramento da espessura das chapas finas, no qual são analisadas duas destas (uma de 1.0 mm e outra de 3.0 mm) e a regulagem da pressão no cilindro pneumático atuando no punção, fazendo aplicar a força de corte necessária para cada diferença de espessura de chapa. A pressão inicial da punçoneira será regulada para força de corte em chapa de 1.0 mm. A avaliação dos resultados dos ensaios tem como fator principal este monitoramento nas espessuras de chapas e sua importância como solução na aplicação da automação.

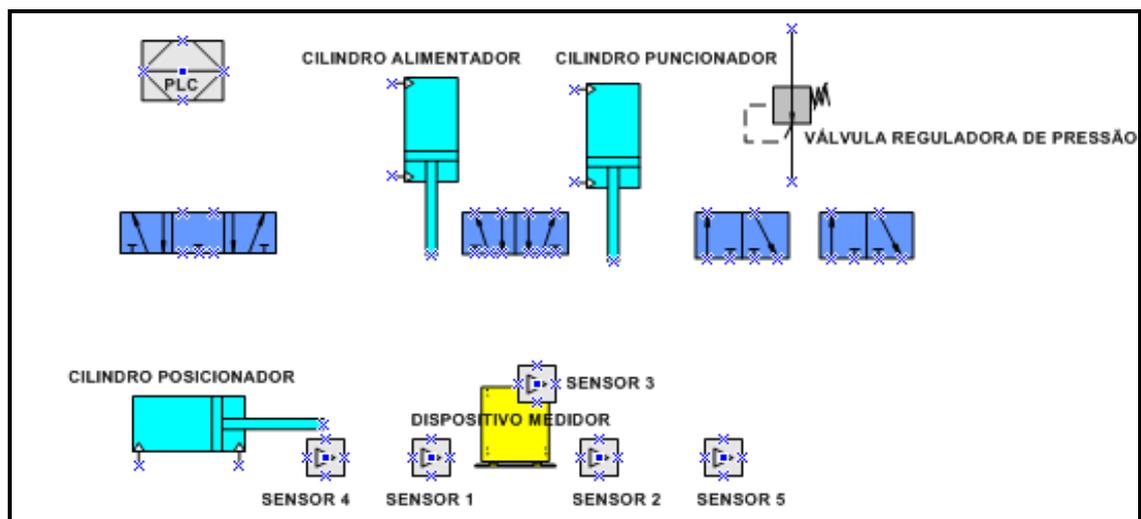


Figura 1.1: Croqui da bancada de ensaio

1.4 Revisão de literatura

Para a elaboração desta dissertação foram consultadas várias obras supra mencionadas:

KACZMAREK (1954) apresentou diversos desenvolvimentos de cálculos de dimensionamento de estampagem e cortes, tais como comprimento do punção, forças de cortes, dimensões de ferramentas.

ROSSI (1964) descreveu os principais conceitos de operações de estamparia como as de corte em chapas através de punção em máquinas prensas, suas principais características técnicas e aplicações em processos.

MURATA et al (1995) desenvolveram um processo de execução de furos circulares sem punção, em chapas metálicas de espessuras finas, utilizando um gás altamente pressurizado em um circuito pneumático previamente ensaiado. Nesta pesquisa é proposta a substituição do tradicional método de matriz e punção por uma furação de chapas de pequenas espessuras com gás altamente pressurizado.

BRITO (1999) descreveu sobre o dimensionamento do estampo de corte, os esforços, seus componentes e suas aplicações técnicas.

YASUHIRO et al (1999) realizaram um ensaio de execução de furos circulares em chapas metálicas, a partir de um protótipo de alumínio utilizando-se do impulso obtido da pressão hidráulica.

SORLI et al (1999) realizaram uma análise dinâmica dos atuadores de dupla ação, ambos lineares e rotatórios. Numa modelagem mecânica do circuito pneumático composto de um atuador de dupla ação e uma válvula digital, dois comportamentos são avaliados, o termodinâmico e a equação de energia. São apresentadas as modelagens matemáticas, seus ciclos e o diagrama em blocos.

SORLI et PASTORELLI (1999) estudaram a avaliação de desempenho de um servo sistema de controle de força em um atuador pneumático, em particular, a variação da atuação da força desejada, que é controlada.

WANG et al (1999) descreveram sobre um controle de atuadores pneumáticos de dupla ação, empregando a aceleração da alimentação, ao invés da pressão de alimentação na construção de um sistema de atuação pneumática.

NAZEER et al (2000) analisaram o comportamento elástico das chapas finas sendo perfuradas com punção circular, propondo um modelo matemático nas fases da deformação durante a aplicação da força na chapa e o início da indentação; a fase de pré

furação da chapa, já ocasionando a leve ruptura do material; a fase da perfuração origina uma flexão no material da chapa e a análise do esforço aplicado ao longo da superfície do furo executado, criando, desta forma, um modelo matemático aplicado às chapas finas de alumínio de diferentes espessuras.

GUÉGUEN et al (2000) apresentaram um novo mecanismo que propõe especificar duas extensões de uso do GRAFCET, em soluções de sistemas complexos com semântica lógica definida, criando o uso de um método definido como *enclosing steps* e o segundo como *stored actions*.

ELKINS et al (2001) desenvolveram um sensor para efetuar a medição do ângulo de dobra de chapas em prensas com base na medição de espessura de chapas e da característica do material.

WATARI et al (2002) desenvolveram um método de furar chapas finas com o uso de um punção à base de uretano que permite aplicar em diversas dimensões e formas de furos circulares, com uma ferramenta mais elástica, propiciando um resultado de furo com mais qualidade.

OHO (2003) pesquisou e ensaiou uma técnica de precisão para a execução de furos circulares em chapas finas. Mesmo após o término da operação, estas chapas já com furos, devem passar por processos de retrabalho para garantir a qualidade, tais como o limar, lixar, a fim de se remover as rebarbas provenientes do mesmo. Para contornar tais procedimentos, foi proposta uma técnica denominada de CVJ (constant velocity joint), sendo atribuído três princípios básicos em furos circulares de chapas finas: (a) supressão da deformação do trabalho realizado; (b) a redução da tolerância entre o punção e a matriz e (c) a aplicação de forças de compressão na área de trabalho controlada, capaz de atender as condições acima descritas. Com esta técnica, ocorre como resultado o efeito de otimizar o diâmetro da matriz para resultar numa precisão do punção ao longo de seu corte.

BIENKOWSKI et al (2004) apresentaram a construção de sensores magnetoelásticos para medição de tensão e força, levando em consideração as propriedades e o efeito magnetoelástico Villari, quando a energia total livre de um material magnético resultante da influência de uma tensão ocasionada por força externa, sendo desenvolvido um método específico de força de compressão sobre o centro do elemento sensor, de maneira a distribuir uniformemente a tensão aplicada e o elemento magnetoelástico a atuar.

FIALHO (2003) descreveu sobre a automação pneumática e eletropneumática com desenvolvimento de projetos, dimensionamento e análise de circuitos, enfocando com objetividade os principais elementos que atuam nos circuitos.

SHIMIZU et TAYA (2004) desenvolveram um sistema de furação de chapas finas de alta velocidade usando um par de peças circulares rotacionais entre si (semelhantes a uma engrenagem) influenciando a velocidade de execução da operação, garantindo a qualidade e a produtividade do processo analisado. Aplicando os ensaios de execução de furos circulares em chapas finas, este processo propõe a substituição da tradicional técnica de estampo com matriz e o martelo ou punção, por um sistema de matriz macho-fêmea circular, uma engrenagem superior como macho e uma inferior como fêmea, a chapa fina que passa entre os dois rolos matrizes onde, então, o furo circular é efetuado.

ROMANO E GUIMARÃES (1999) apresentaram um projeto de alimentador pneumático para automação de processo de alimentação de chapas em prensas, no qual a tecnologia de comando baseia-se essencialmente na lógica binária associada à álgebra de BOOLE. A tecnologia operativa adotada é a pneumática, por caracterizar-se também como um sistema binário.

Neste trabalho ainda é proposto um diagrama de função seqüencial em GRAFCET.

CAPÍTULO 2: O PROJETO MECÂNICO

2.1 O processo de corte

A palavra corte, em seu sentido mais geral, significa uma operação que separa de lado a lado, em linha reta, uma tira, uma chapa, ou uma barra. Especialmente, o corte por punção é uma operação mecânica na qual se consegue separar uma parte metálica de outra por intermédio de ferramentas especiais, obtendo-se instantaneamente uma figura determinada.

Uma chapa é cortada entre um punção e uma matriz. O punção tem o mesmo formato da matriz, sendo que é ligeiramente menor que a abertura da matriz. Este espaço é chamado de **vão de quebra**. O punção, ao descer, empurra o material para dentro da abertura da matriz. A máxima tensão que o material sofre situa-se na borda do punção e da abertura da matriz e, neste trecho, inicia-se a ruptura. Se o vão de quebra for correto, a trinca de ruptura superior e inferior se encontrará, tendo a quebra da peça.

À medida que o punção adentra-se no metal, a força exercida por este aumenta. Se o vão de quebra estiver dimensionado corretamente, o material se romperá repentinamente, isto quando o punção atingir uma penetração definida.

2.2 Os esforços de corte e a carga de flambagem

Segundo Brito (1999), a força necessária para o corte depende de muitos fatores do material, entre os quais: espessura do material, perímetro a ser cortado, a resistência do material, folga e estado de afiação do punção, da matriz, etc. Denominando Força de Corte (F_c), para o seu desenvolvimento serão utilizados apenas: o perímetro de corte P , a espessura máxima do material (espessura nominal + tolerância), e a tensão de cisalhamento do material τ_c em Kgf/mm^2 . Logo, a Força de corte será pela fórmula (1):

$$F_c = P \cdot e \cdot \tau_c \quad (1.1)$$

Outro fator importante a ser considerado é a carga de flambagem, que é considerada a menor força axial capaz de manter a haste em equilíbrio na posição deformada. A carga que provoca a flambagem é determinada pela fórmula de “EULER”, que é válida para valores onde o índice de esbeltez λ for maior que 100, no

caso de aço em geral, e para este tipo de carga podemos considerar igual à força de corte. Têm-se pelas fórmulas (1.2), (1.3), (1.4):

$$\sigma_f = \pi^2 \cdot E / \lambda^2 \quad (1.2)$$

$$\lambda = L / i \quad (1.3)$$

$$i = \sqrt{J/S} \quad (1.4)$$

Substituindo as equações (1.3) e (1.4) em (1.2), tem-se (1.5):

$$\sigma_f = Fc / S \quad (1.5)$$

Assim, a fórmula do comprimento máximo de cada punção é:

$$L = \sqrt{\pi^2 \cdot E \cdot J / Fc} \quad (1.6)$$

Segundo PFEIL (1976), ressalta-se o uso do coeficiente de segurança, no caso de punção guiado, multiplica-se o termo do divisor da raiz por 2. Assim, tem-se:

$$L = \sqrt{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J / Fc \cdot fs} \quad (1.7)$$

2.3 O Estampo de Corte

O punção e a matriz são duas das partes mais importantes do estampo, uma vez que, para obter-se o produto desejado, necessita-se do funcionamento do conjunto, no qual se destacam os acessórios.

De acordo com a figura. 2.1, tem-se um estampo simples e seus componentes, que são constituídos pelos seguintes: punção, matriz, base, cabeçote, espiga, porta-punção, guia do punção, coluna, suportes da coluna e buchas.

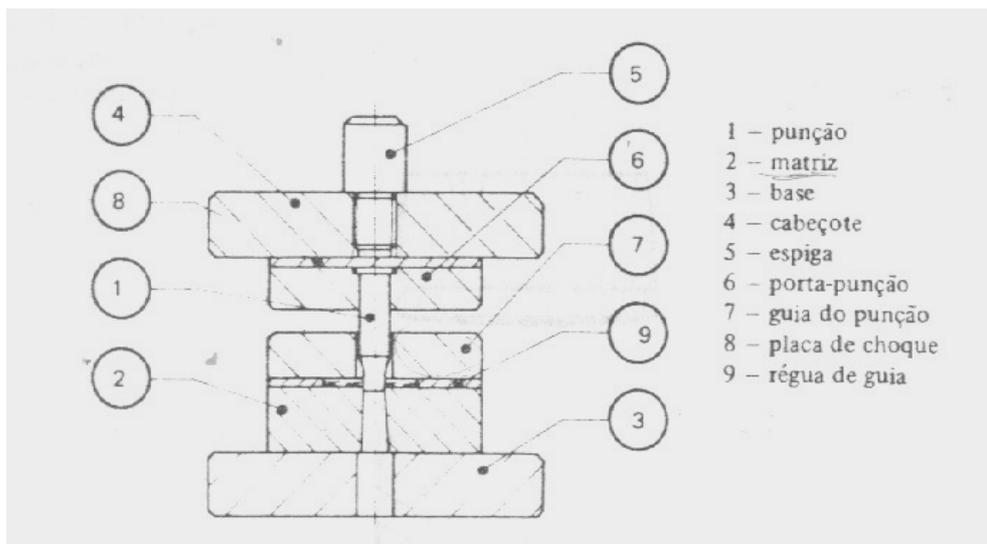


Figura 2.1 – Estampo de corte e suas partes

A base é a parte do estampo que fixa o conjunto à mesa da prensa e também elimina o choque direto entre a matriz e a mesa.

O cabeçote e a espiga sustentam todo o conjunto móvel do estampo, sendo que a espiga, além de ser fixa no martelo da prensa, centraliza todo o conjunto na prensa.

O porta – punção e as suas guias são utilizados conforme indicam suas próprias nomenclaturas.

A coluna é utilizada para que se tenha um perfeito encaixe entre o punção e a matriz. A bucha serve para guiar a coluna. No decorrer do trabalho será apresentado cada componente efetivamente empregado no dimensionamento da máquina.

2.3.1 Características dos materiais

É necessário, no molde de corte, tanto a dureza do punção quanto a da matriz, a fim de se conservar o fio, pois, quanto maior a dureza, maior a série de peças que se tem de produzir. O aço empregado no punção e na matriz deve apresentar uma boa resistência à aplicação de tensões, pois, quanto mais complicada for a peça a ser construída, a condição de deformação do material aumentará. Para a matriz de corte de alto rendimento poderá ser aplicada uma peça de metal duro. O punção de corte é feito de aço que não costuma se deformar e, caso seja de alto rendimento, pode ser feito com a parte cortante postiça e de metal duro, como por exemplo, para o porta - punção, a

guia do punção, os eixos do porta-punção, assim como todas as peças que não sejam muito grandes e não sejam submetidas a esforços especiais.

As bases, contraplacas e outros elementos de sustentação costumam ser feitos de aço doce comum. As colunas de guias devem ser feitas de aço semiduro temperado e retificado. Os componentes de um estampo de corte e seus respectivos materiais podem ser especificados conforme tabela abaixo, segundo PROVENZA (1984).

Tabela 2.1 – Características dos materiais de um estampo de corte

| DENOMINAÇÃO | MATERIAL | FUNÇÃO |
|---------------------------|---|--|
| ESPIGA | AÇO 1010 cementado AÇO 1020/ 40 | Fixar o cabeçote ao martelo da prensa. |
| CABEÇOTE OU BASE SUPERIOR | Ferro fundido Aço laminado 1010/20 Aço Villares VFC | Suportar toda a parte superior do estampo Espessura : $\geq 20mm$. |
| PLACA DE CHOQUE | Aço 1040/50 | Distribuir a pressão dos punções, evitando a penetração dos mesmos no cabeçote. Espessura : $\geq 5 mm$. |
| PORTA- PUNÇÕES | Aço 1040/50 | Fixar os punções no cabeçote |
| PUNÇÕES | Aço 1040/50 VC 131-VC130 Ve 130 VPCW | Elementos fundamentais que, junto com a matriz, confirmam a chapa plana em <i>produtos</i> . $\phi_{punção} \geq e_{chapa}$ |
| BUCHAS | Aço VM40 Aço 1020 temp,cem e ret. Bronze ou ferro fundido | Favorecer o deslizamento do cabeçote sobre as colunas. |
| PARAFUSO DE FIXAÇÃO | Aço liga | Unir os vários elementos entre si e com as bases. |
| PINOS | Aço prata | Elementos de fixação |
| MATRIZ | Mesmo material dos punções | Peça importante que, juntamente com o punção, conforma o produto. |
| BASE INFERIOR | Aço 1010 /1020 | Servir de apoio à matriz Espessura $\geq 25mm$ |

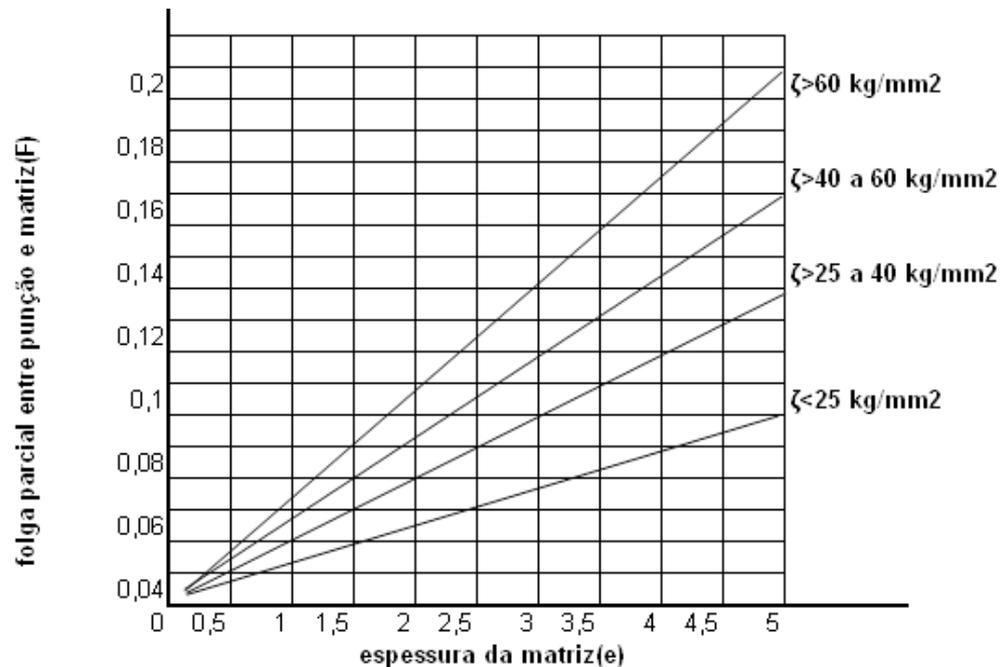
2.4 – Folga entre punção e matriz

O motivo de se construir o punção e a matriz com uma determinada folga entre si decorrem da necessidade de:

- 1º) Reduzir a força de corte.
- 2º) Aumentar a durabilidade do estampo.
- 3º) Produzir peças com relativas tolerâncias.

A folga entre a matriz e o punção proporciona uma redução significativa na força de corte. Para além desta condição, a força de corte aumenta consideravelmente, e o corte do contorno sairá defeituoso, podendo até mesmo ocasionar a ruptura.

Outro fator é a espessura do material que varia em uma faixa de 2% a 7%, assim, quanto maior a espessura, maior a folga. O tipo de material também exerce influência nesta questão. Mediante o diagrama abaixo, na figura 2.2, é possível estabelecer a folga entre punção e matriz relacionando a espessura do material com a tensão de cisalhamento.



Fonte: Estampos de Corte. Osmar de Brito

Figura 2.2 – Gráfico de folga do punção e da matriz

2.5 – O Desenvolvimento mecânico da puncionadeira

O desenvolvimento mecânico da puncionadeira consiste no cálculo dos esforços de corte e, das dimensões dos componentes do equipamento, tais como: a matriz, o punção, porta-punção, as bases etc. Os itens a seguir demonstram tais cálculos.

2.5.1 – O cálculo dos esforços de corte nas chapas escolhidas

O primeiro passo foi definir os esforços de cortes com base nas dimensões adotadas nas chapas finas escolhidas, sendo considerada duas situações, uma para chapas de espessuras de 1 mm e, a segunda, para chapas de 3 mm, ambas de mesmas dimensões (100mm x 100 mm), para um diâmetro de furo de 2.5 mm. Adotando-se como resistência ao cisalhamento, para chapas de aço com teor de 0,2% C, o valor de tensão de cisalhamento, de acordo com BRITO (1999), é de 32 kgf/mm². Aplicando a fórmula de corte (1.1), obtêm-se os seguintes resultados:

Situação 1) espessura de chapa de 1 mm:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot r = 2 \cdot \pi \cdot 1,25 = 7,85 \text{ mm.}$$

$$\tau_C = 32 \text{ kgf/mm}^2.$$

$$F_C = 7,85 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 32 \text{ kgf/mm}^2 = \mathbf{251,2 \text{ Kgf} = 2461,7 \text{ N}}$$

Situação 2) espessura de chapa de 3 mm:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot r = 2 \cdot \pi \cdot 1,25 = 7,85 \text{ mm.}$$

$$\tau_C = 32 \text{ kgf/mm}^2.$$

$$F_C = 7,85 \text{ mm} \cdot 3 \cdot 32 \text{ kgf/mm}^2 = \mathbf{753,6 \text{ kgf} = 7385,28 \text{ N}}$$

2.5.2 – O dimensionamento dos componentes mecânicos

2.5.2.1 - O punção

Após o cálculo dos esforços de cortes, foram dimensionados os respectivos componentes da máquina, iniciando pelo punção de corte, que, pela fórmula (1.7), obtêm-se o comprimento máximo para o punção seguindo a força de corte aplicada, e adotando-se como módulo de elasticidade $2,06 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$, sendo que a maior força de corte é a de maior espessura, logo se obtém o seguinte valor para o comprimento do punção:

$$E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$D = 2.5 \text{ mm}$$

$$J = (\pi \cdot D^4) / 64 = 1,916 \text{ mm}^4$$

$$F_C = 7385 \text{ N}$$

$$L = \sqrt{(\pi^2 \cdot 2,06 \cdot 10^5 \cdot 1,916) / (7385)} = \mathbf{22,95 \text{ mm.}}$$

A partir deste resultado, dimensionou-se o punção conforme ilustração abaixo, com material aço Vilares VC 131:

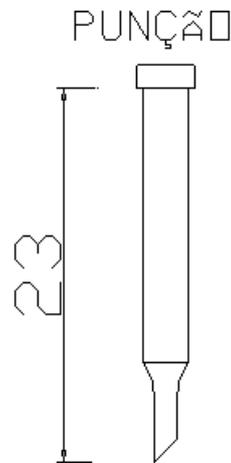


Figura 2.3 – O punção em detalhe

2.5.2.2- A Matriz

Para a matriz inferior, deve ser considerado o cálculo para sua espessura, e de acordo com BRITO (1999), são apresentados sete casos distintos de espessuras de matriz: totalmente apoiada; em balanço; apoiada nos extremos e o punção atuando no centro; apoiada nos extremos e o punção atuando descentrado; circular; quadrada e retangular.

Sendo de relevância saber que a espessura mínima das matrizes não deve ser inferior a 14 mm, e para matrizes temperadas com perímetro de corte superior a 50 mm, é aconselhável uma espessura mínima de 18 mm em qualquer dos sete casos citados.

No projeto, foi adotada a matriz do tipo circular cuja expressão de cálculo de espessura pode ser obtida segundo BRITO (1999):

$$H = \sqrt{(2,5 \cdot F_c / \sigma_f) \cdot (1 - 2 \cdot d / 3 \cdot D)} \quad (1.8)$$

Para o maior esforço de corte, a espessura terá o seguinte valor:

$$F_c = 7385 \text{ N}$$

$$\sigma_f = 92 \text{ N / mm}^2, \text{ segundo PFEIL (1976)}$$

$$d = 2.5 \text{ mm}$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

Substituindo-se os valores acima na equação (1.8), tem-se :

$$H = \sqrt{(2,5.7385/92).(1 - 2.5/3.80)} = \mathbf{14 \text{ mm}} .$$

Adotou-se um valor mais acima por questões de segurança, no caso, de 15 mm, conforme desenho abaixo, bem como o material aço VC 131.

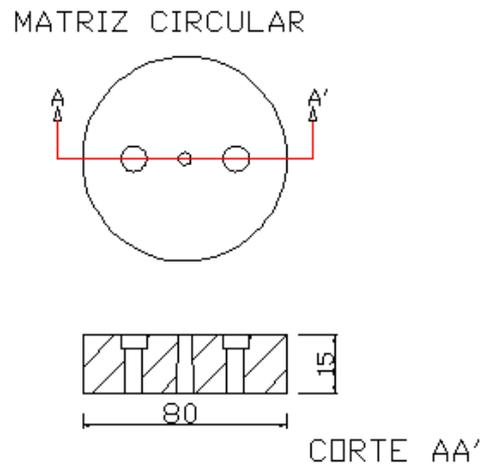


Figura 2.4 – A matriz circular em detalhe

Outro fator importante é a consideração entre a folga existente do punção e a matriz dimensionada, que é obtido a partir do gráfico a seguir, que relaciona a tensão de cisalhamento com a espessura do material, utilizando-se da chapa de 3 mm de espessura e tensão de cisalhamento de 392 N/mm^2 , obtendo-se uma folga de 0,08mm entre punção e matriz no furo de 5mm de diâmetro.

2.5.2.3 - Base e Estampo Superior

Para o dimensionamento da base do estampo superior foi considerado como espessura do estampo superior um valor igual ou superior a 20 mm e, para a base inferior, o valor igual ou superior a 25 mm, segundo PROVENZA (1984), ambas com o mesmo material, aço SAE 1020.

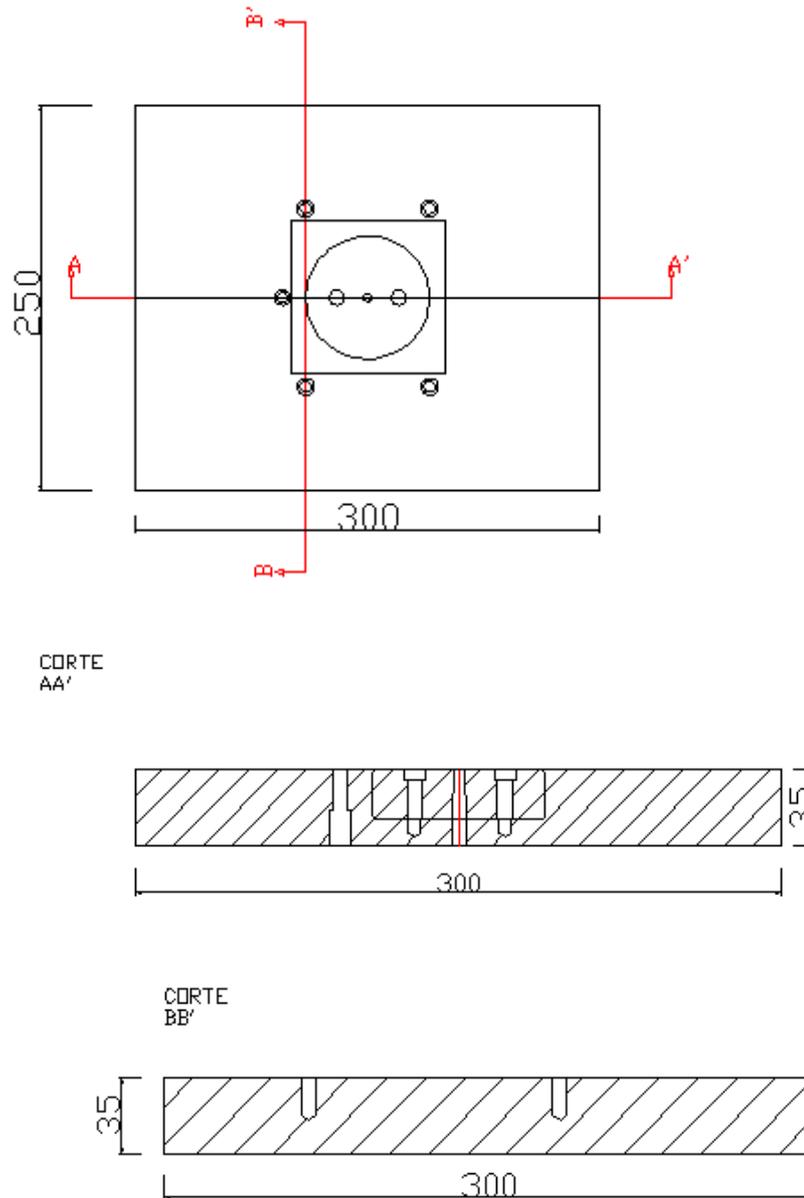


Figura 2.5 – Base e estampo em detalhe

2.5.2.4 – Porta – punção e colunas - guias

A fixação do punção junto ao estampo superior é realizada mediante o porta – punção de material aço ABNT 1020. A espessura do porta-punção é fator primordial e podemos considerá-la, no mínimo 0,25 do comprimento do punção.

Quanto à coluna e à guia da coluna, garantem a movimentação do estampo e a linearidade da operação de estampo. São feitas de aço 1020 cementado e fixas no estampo superior. Para se determinar o diâmetro da coluna não existe uma regra prática, para esse cálculo deve ser utilizado o bom senso. Os diâmetros mais aplicados são os de

30, 40, 50, 63, 80 e 100 mm, dependendo do tamanho do estampo. No projeto foi adotada a medida de 30 mm. Suas dimensões podem ser designadas conforme figura 2.6 abaixo.

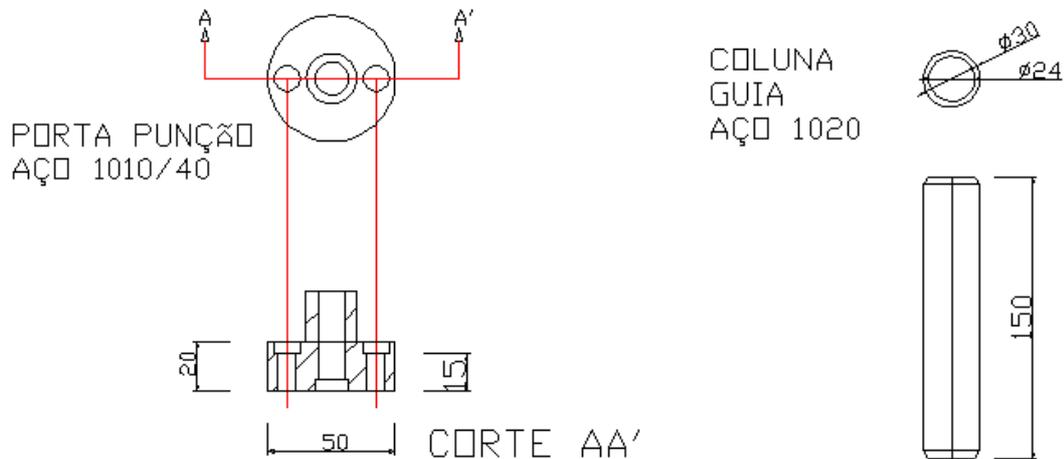


Figura 2.6 – Porta-punção e coluna-guia em detalhe

2.5.2.5 – Prensa - chapas, buchas de guias, topes, pés das mesas, suportes de coluna, guia - chapas, painel do cilindro e fixadores

Os demais componentes mecânicos da puncionadeira representam a base para a conclusão do conjunto. O prensa – chapas têm como finalidade evitar, após o retorno do punção, que a chapa não se fixe no mesmo, de forma a não perder a linearidade do processo. No equipamento foi proposta uma solução simples de duas tiras retangulares, acopladas em dois topes laterais que serviram de encosto para a chapa no centro da matriz, além de outras duas guias para acompanhar o trajeto das chapas finas durante o seu posicionamento, onde um sensor de presença atua garantindo a boa posição para o punção atuar. Ambas confeccionadas com aço ABNT 1020.

As buchas de guias são fundamentais para se obter uma maior precisão e facilitar a ajustagem quando da montagem ou da manutenção. Para sua confecção foi usado o aço ABNT 1020. Além do guia - chapas, topes, pino piloto para fixar a posição da chapa ao centro no momento de sua chegada à posição de operação, com acionamento pneumático, feitos de aço ABNT 1010.

As peças que compõem os pés das mesas são tubos quadrados de dimensões 60, 60.3 mm e que apresentam 970 mm de altura, para serem soldadas às bases das mesas em sua montagem de base.

Os parafusos, cavilhas etc são constituídos de aço doce, caso não estejam submetidos a esforços especiais, porém, caso estejam normalizados, o ideal é adquiri-los em casas do ramo. Como os parafusos mais comuns adotados na montagem dos estampos são os do tipo ALLEN (DIN 912), estes foram adotados para a montagem dos elementos de fixação em geral.

Algumas considerações quanto aos critérios de escolhas e aplicações dos materiais devem ser observadas, tais como: a) peça que deve elaborar e, portanto, o tipo de trabalho que o molde ou estampo terá de realizar; b) o material da própria peça que se tem de moldar; c) a temperatura em que se há de trabalhar (a frio ou a quente); d) as dimensões da ferramenta e o tipo de molde escolhido.

No painel do cilindro pneumático que executará o movimento do estampo de corte, é aplicada uma base retangular com material ABNT 1020.

2.5.3 – O sistema mecânico para interpretação das espessuras de chapas

Para que as espessuras possam ser devidamente especificadas, um sistema mecânico com base em um braço de alavanca será desenvolvido, cuja extremidade estará em contato direto com a chapa a ser alimentada, além de uma mola e um suporte para garantir o balanço da haste e sua linearidade.

O comportamento previsto para o movimento mecânico da haste, conforme varia a espessura da chapa, será o de ocasionar o deslocamento no sentido vertical, assim, a extremidade livre se movimenta para cima quando a espessura de chapa for inferior, ou para baixo quando a espessura da chapa for superior.

O braço de alavanca é composto de uma haste de 110 mm, um suporte com mola situado a 15 mm da extremidade de contato com a chapa, e um sistema do tipo balanço para garantir a linearidade do movimento da haste como um todo. A detecção de espessura para um tipo de chapa, no caso a de espessura maior (3 mm), é obtida mediante um sensor do tipo indutivo, localizado no dispositivo mecânico que atua quando há a detecção de presença, quando a haste se movimenta, servindo de sinal de entrada ao PLC e resposta de saída à válvula solenóide, dosando a pressão maior no atuador.

2.5.4 – A montagem da máquina e seu esboço tridimensional

Após a usinagem dos componentes, foi realizada a montagem final do equipamento, acoplando os componentes e totalizando o conjunto final da puncionadeira. Para ilustrar a máquina no seu perfil tridimensional, pode ser visto abaixo o esboço gráfico que a representa. O detalhe de montagem e o tridimensional podem ser observados nas figuras abaixo:

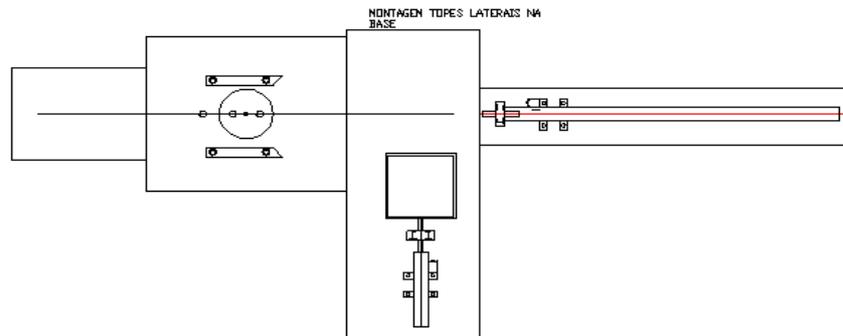


Figura 2.7 – Vista superior da montagem das bases

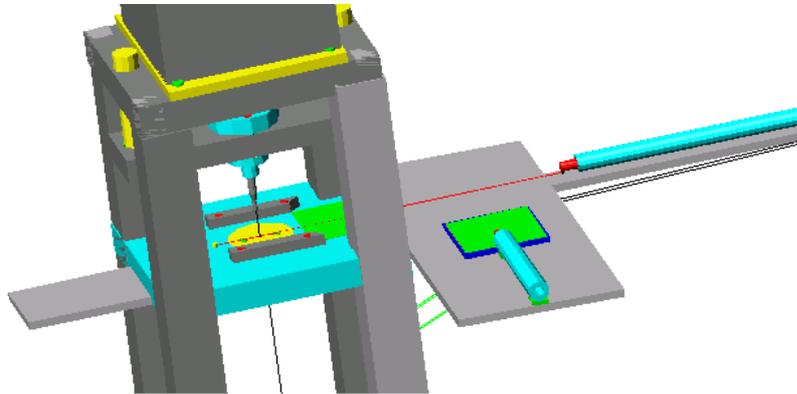


Figura 2.8 – Vista tridimensional da puncionadeira

CAPÍTULO 03: O CIRCUITO ELETROPNEUMÁTICO

No desenvolvimento do circuito eletropneumático, os elementos que o compõem são detalhados com suas respectivas especificações e suas funções, de forma a garantir o funcionamento do sistema.

Para melhor distribuição ao longo do capítulo serão apresentados os seguintes subitens:

- os atuadores pneumáticos e seu dimensionamento;
- os elementos sensores;
- a válvula reguladora de pressão;
- o desenvolvimento do leitor de espessura de chapas;
- a formulação verbal do problema;
- o esquema do circuito eletropneumático e demais componentes;
- funcionamento do circuito;

Assim, o circuito será definido a partir de 3 atuadores pneumáticos, sendo um atuador para fins de execução da operação findo, ou seja, o corte de punção na chapa. Os outros dois atuadores servem para alimentar e movimentar as chapas finas que serão utilizadas para o corte. Os mesmos serão detalhados nos itens adiante.

O elemento sensor será do tipo indutivo, sendo necessariamente aplicado para o monitoramento dos seguintes passos do circuito: para efetuar o reconhecimento da espessura de chapa a ser trabalhada; para o posicionamento centralizado da chapa na matriz de corte; e para garantir o retorno final do ciclo.

No que diz respeito ao reconhecimento da espessura da chapa, será necessário o uso de uma válvula reguladora de pressão para quando o sinal do sensor atuar após o reconhecimento da espessura da chapa metálica, a mesma regule a pressão no cilindro pneumático. O uso de um controlador lógico programável (CLP) será apresentado e sua respectiva programação para atuar no leitor de chapas.

Além do sistema de alimentação de ar comprimido ao sistema composto pelo compressor, um conjunto LUBRIFIL será usado uma linha de alimentação até a bancada.

Nos itens posteriores serão detalhadas as etapas de elaboração do circuito eletropneumático e suas características.

3.1. Os atuadores pneumáticos e seu dimensionamento

Segundo Fialho (2003), os atuadores pneumáticos são elementos mecânicos que, por meio de movimentos lineares ou rotativos, transformam a energia mecânica cinética gerada pelo ar pressurizado em trabalho produzido.

Conhecidos como cilindros pneumáticos, são elementos constituídos por um tubo cilíndrico, tendo uma de suas extremidades fechada por uma tampa, a qual contém uma conexão para admissão e exaustão do ar, e na outra extremidade, outra tampa com igual característica, porém dotada de um furo central pelo qual se movimenta uma haste que, na extremidade interna do cilindro, possui um êmbolo com vedação, o qual pela ação do ar expande-se no interior do tubo cilíndrico e possibilita o movimento de expansão ou retração desta haste.

Os atuadores escolhidos são do tipo linear de duplo efeito no cilindro, os quais executam a operação de furação da chapa, e dois outros, que servem para a alimentação do sistema. Para dimensionar o cilindro de atuação no corte de chapa é calculada a força necessária à execução da operação; quanto aos diâmetros de haste e pistão, foi utilizado o padrão comercial tabelado.

Assim, no princípio de movimento, além da força necessária à aplicação desejada, há a força de atrito estático, e durante o movimento há a força de atrito cinético, que não age apenas externamente, mas também internamente no atuador. Para se obter a força de avanço do cilindro, deve-se multiplicar por um fator de correção ϕ , conforme a aplicação da carga, a natureza dos materiais, a velocidade de deslocamento da haste do atuador e seu acabamento, conforme tabela seguinte:

Tabela 3.1 – Fator de correção em atuadores pneumáticos

| Velocidade de deslocamento da haste do atuador | Exemplo | Fator de correção ϕ |
|--|-------------------------------|--|
| Lenta e carga aplicada somente no fim de curso | Operação de rebitagem | 1,25 |
| Lenta e carga aplicada em todo o desenvolvimento | Talha pneumática | 1,35 |
| Rápida com carga aplicada somente no fim do curso | Operação de estampagem | 1,35 |
| Rápida com carga aplicada em todo o desenvolvimento | Deslocamento de mesas | 1,50 |

Conforme descrito anteriormente, foram selecionados 3 atuadores pneumáticos, mas apenas um para fins de atuação de operação de corte em chapas; neste caso, foi utilizado um método de seleção conforme padrão de catálogo de fabricante.

Baseado na tabela de correção de carga, determina-se o esforço que o cilindro de corte deve atuar sobre a questão do corte circular nas chapas finas de 1 a 3 mm de espessura. Como a operação a ser executada é a de estampagem, conforme apresentado acima, tem-se o valor de correção de carga em 1,35. Isto significa que, para a força de corte atuar, é necessário multiplicar por este fator.

O cilindro adotado é do catálogo de fabricante, o qual apresenta as características necessárias para atender a exigência do esforço. Há também a possibilidade de um segundo tipo de cilindro para esta finalidade em condições de esforços menores. Os esforços para ambos os tipos são apresentados na tabela abaixo, e a diferença entre o primeiro e o segundo é que não se considera o fator de correção de carga.

Assim, tem-se a seguinte planilha de cálculo de esforço, segundo a fórmula de corte: $F_C = P \cdot e \cdot \tau_C$, não se esquecendo de aplicar o fator de correção ϕ anteriormente apresentado. Dessa forma, obtêm-se os seguintes valores para cada espessura a ser cortada:

Tabela 3.2 – Especificação dos atuadores pneumáticos

| Cilindro modelo I | | | | Cilindro modelo II | |
|-------------------|-----------------------------|----------|-------------|--------------------|----------------------|
| d(mm) | τ (N/mm ²) | e (mm) | Fc(N) | *fator de correção | Força do cilindro(N) |
| 5 | 392,4 | 0,5 | 1231 | 1,35 | 1662 |
| | | 1 | 2462 | | 3323 |
| | | 1,5 | 3693 | | 4985 |
| | | 2 | 4924 | | 6647 |
| | | 2,5 | 6155 | | 8309 |
| | | 3 | 7386 | | 9971 |

Conclui-se que, para a espessura de chapa de 1 mm, será necessário o cilindro com fator de carga 1,35 atuar com um esforço de **3323 N** e, para a espessura de 3 mm,

atuar um esforço com **9971 N**, com base no dimensionamento do cilindro tipo II, além do curso a ser desenvolvido até o centro de mesa, com a ordem de 200 mm .

Quanto aos outros dois atuadores, foi analisado o curso menor, pois a finalidade de ambos é de garantir o abastecimento das chapas e a saída da chapa após a operação. O cilindro adotado foi o de modelo I, pois ambas as pressões estão no valor máximo de 10 bar, previsto para ser aplicado no sistema. Assim, a pressão para 1 mm fica expressa em 3 bar e para 3 mm expressa em até 9 bar. Para o equipamento deste trabalho, estes dois atuadores irão movimentar a alimentação de chapas, sendo o primeiro cilindro denominado “alimentador”, responsável pela movimentação inicial da chapa, até o ponto de alinhamento com o centro da puncionadeira, onde, então, o segundo cilindro de posicionamento passará a atuar até empurrar a chapa ao centro de operação e, após a execução do furo pelo cilindro puncionador, o atuador de posicionamento irá retirar a chapa do centro de mesa até o término da operação. Conforme pode ser visto na figura ilustrativa abaixo:

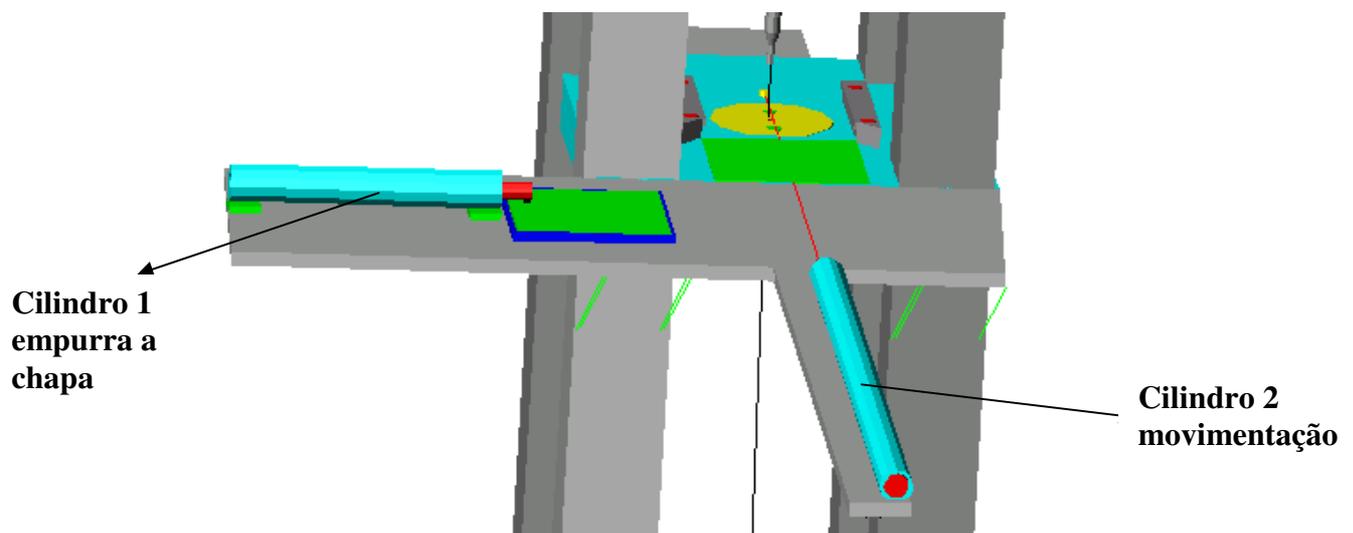


Figura 3.1 – Vista tridimensional dos atuadores alimentadores

3.2 Os elementos sensores

Para que a interpretação da espessura de chapas ocorra, bem como a determinação da presença ou não das chapas durante a execução do processo, foram escolhidos dois elementos sensores do tipo indutivo.

O sensor de proximidade indutivo é formado por um oscilador ligado a uma bobina situada na extremidade frontal, criando assim um campo magnético de alta frequência, que se projeta sobre a superfície externa do sensor de proximidade indutivo.

Conforme Castrucci (2001), o funcionamento dos sensores indutivos é baseado no conceito físico de indução, ou seja, variação de campo magnético, composto das seguintes partes: oscilador, bobina e amplificador. O oscilador gera, em conjunto com uma bobina com ferrite, um campo magnético alternado de alta frequência, que emerge na superfície externa, formando uma região ativa. Com a introdução nesse campo de um corpo de material de condução elétrica (metal, por exemplo), será provocada uma tensão indutiva indesejada. A corrente parasita retirará a energia do circuito oscilante L-C (bobina – condensador).

A carga do circuito oscilante do oscilador provoca uma redução da amplitude de oscilação. A redução de amplitude é transformada em um sinal elétrico através de um circuito eletrônico. Dessa forma, ocorre uma comutação do sensor de proximidade.

Caso se retire o material de condução elétrica do campo alternado, a amplitude de oscilação aumenta novamente e, através do sistema eletrônico, o sensor volta à sua posição original. O oscilador não está atenuado.

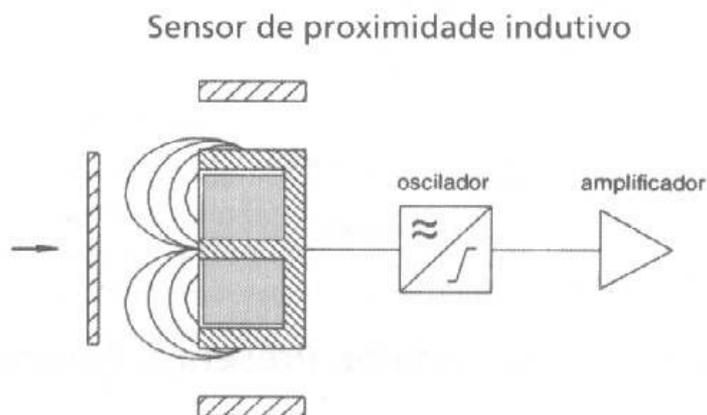


Figura 3.2 – Esquema sensor indutivo

Devido à aplicação para detectar a movimentação da haste, o sensor está posicionado em sua extremidade, com uma sensibilidade de atuação até 3 mm, capaz de atuar quando a chapa de maior espessura passa no dispositivo, e não atuando quando a chapa for de menor espessura.

3.3 - A válvula proporcional reguladora de pressão

Este é um dos componentes - chave para a execução do circuito, principalmente para ocasionar a variação de pressão pretendida com o reconhecimento do leitor da espessura de chapas.

Segundo Fialho (2003), é um elemento destinado a comandos de precisão, em que a pressão de trabalho é regulada por meio de sinais analógicos proporcionais. Ou seja, a pressão de saída é proporcional ao sinal analógico de entrada.

A válvula encontrada foi de um fabricante, e possui um sistema de controle eletrônico integrado, que controla a pressão de saída proporcionalmente a um sinal de controle analógico ou digital, seja através de tensão ou corrente.

Possui uma alimentação de tensão de 24 V e disponibiliza duas opções de sinal de controle: tensão (0 a 10V) e corrente (4 a 20 mA). A válvula proporcional utiliza duas válvulas solenóides, as quais modulam a pressão de saída, pressurizando ou despressurizando a servo- câmara. A alimentação de pressão é feita pela via “P”. A válvula solenóide de pressurização aciona a servo-câmara, enviando um sinal pneumático à utilização (via “U”); já a válvula solenóide de despressurização conecta a via “E”. Um sensor de pressão mede a pressão modulada continuamente, e fornece um sinal ao amplificador. Qualquer diferença entre o sinal de controle e o de sensor, o amplificador emite um sinal a uma das duas bobinas das válvulas solenóides para correção. A válvula proporcional modula a pressão proporcionalmente ao sinal de controle. Assim, por exemplo, para um sinal de controle de 3V tem-se os 3 bar na utilização da válvula, e para o controle de sinal de 12 mA, tem-se 5 bar de pressão modulada.

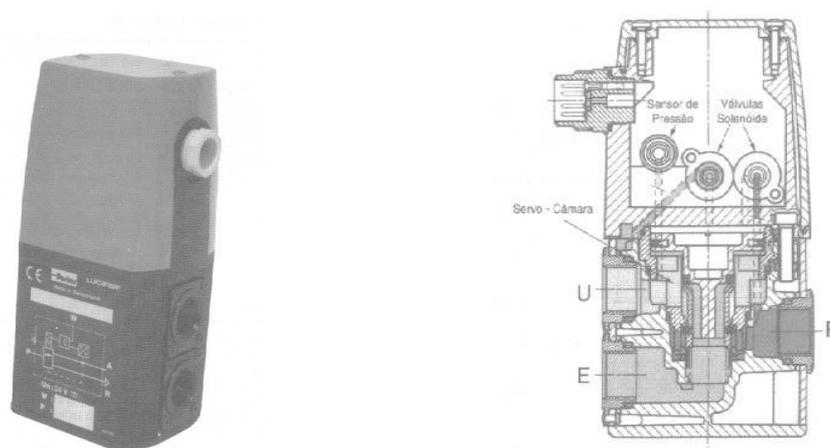


Figura 3.3 – válvula proporcional reguladora de pressão.

3.4 O detector de espessura de chapas

Com o intuito de atender ao reconhecimento da espessura da chapa a ser furada, foi desenvolvido um dispositivo conforme ilustra a figura 3.4. O mesmo é composto das seguintes partes: estrutura e suporte de fixação, haste articulada com mola, sensor e suporte do sensor.

O seu princípio de funcionamento consiste no sensor reconhecer ou não a presença da haste articulada que se movimenta na passagem da chapa. Quando a chapa passa, ocorre um contato direto com a extremidade inferior da haste; esta se encontra fixa no dispositivo e é articulada pela mola. A haste opera da seguinte forma, o movimento da extremidade superior próxima do sensor é proveniente do contato da chapa com a extremidade inferior, ocasionando dessa maneira o acionamento do sensor, se estiver na distância de sensibilidade do mesmo, no caso de 2 mm.

Assim quando a chapa de maior espessura, no caso de 3 mm, passa pela haste, ocorre o seu deslocamento que resulta no acionamento do sensor por estar na faixa de sensibilidade e o que ocasiona a liberação da válvula solenóide de pressão mais alta; no caso da chapa de 1mm quando passa pela haste faz com que esta se movimente, porém como não se atinge a área de sensibilidade do sensor que se encontra no encaixe superior, o sensor não acusa presença, isto faz com que a válvula solenóide de pressão mais baixa atue. Todo o sinal de entrada que vem do sensor é enviado para o CLP e deste para as saídas dos solenóides, fazendo o reconhecimento da espessura da chapa a partir do sinal proveniente do sensor, controlando a força de corte na chapa em função da menor ou maior pressão a ser liberado no atuador pneumático.

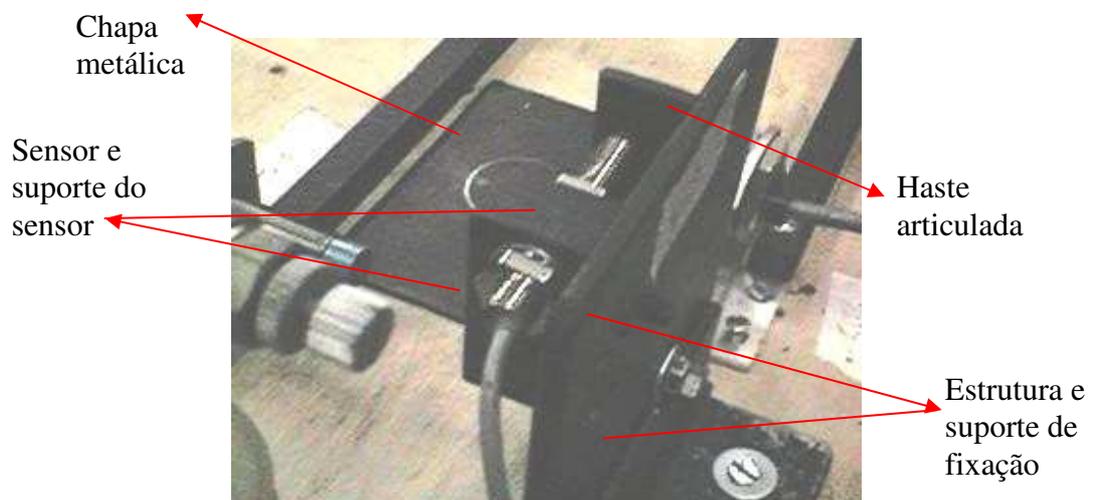


Figura 3.4 – Detector de espessura de chapas

3.5 - A descrição dos movimentos dos cilindros

O atuador pneumático A, denominado cilindro alimentador, deve avançar com a chapa que se encontra no alimentador de chapas, por meio de uma peça mecânica adaptado em sua extremidade, e no estado avançado o cilindro A conduz a chapa até a entrada da prensa, posicionando a mesma no ponto de movimento do cilindro, assim, o atuador A retorna ao seu ponto inicial acionando então o atuador pneumático B, denominado cilindro posicionador, que tem como função levar a chapa até o centro da prensa.

Porém, antes ocorre o reconhecimento da espessura da chapa a ser furada, sendo realizado pelo leitor de espessura de chapas, como descrito no item anterior. Assim, o sensor indutivo do dispositivo leitor de espessura, quando acusar presença, deve acionar a solenóide do terceiro cilindro, mas, antes que a pressão final chegue neste, há uma válvula proporcional reguladora de pressão, capaz de operar quando a tensão ou corrente utilizadas modulam a pressão de saída, operando proporcionalmente ao sinal que recebe. Desse modo, quando a espessura maior for devidamente reconhecida, o sinal é percebido a partir do sensor, que gera a saída na válvula, resultando na maior pressão por se tratar do maior sinal. No caso da espessura menor, ocorre uma menor pressão no cilindro, em função do sinal menos intenso recebido na válvula.

Após a espessura ser medida, o atuador C, denominado puncionador, avança e retorna logo em seguida, simulando desta maneira a atuação do punção, de acordo com a pressão recebida; logo após o término, o cilindro posicionador deve avançar novamente para retirar a chapa após furada, retornando logo em seguida para o fim de ciclo. A figura 3.5 abaixo demonstra a disposição dos cilindros.

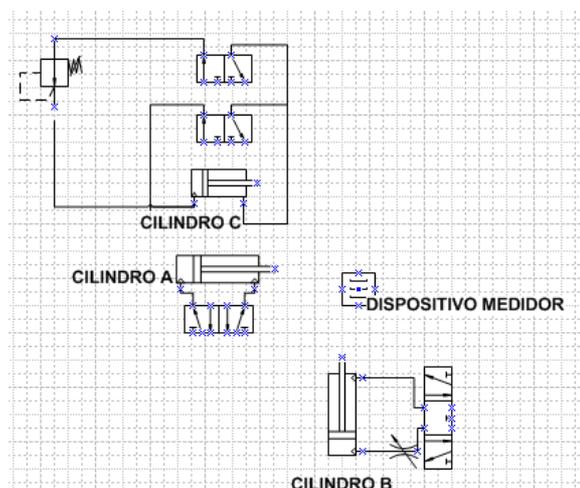


Figura 3.5 – Croqui da disposição dos atuadores

3.6 - O esquema do circuito eletropneumático e demais componentes

Após a definição dos movimentos do cilindro, deve-se partir para a elaboração do circuito eletro pneumático, que, para seu desenvolvimento, conta com uma análise preliminar da seqüência a ser utilizada, número de setores empregados e relés auxiliares, além dos sensores, solenóides. É também feito o diagrama trajeto – passo do circuito e uma tabela seqüenciadora dos movimentos ou ações. No caso há duas opções para o circuito movimentar com os relés ou com o uso do CLP.

3.6.1 – O circuito aplicado com relés

No primeiro momento é descrito o circuito com o emprego de relés, depois é abordado no CLP. Ao iniciar o ciclo, o botão de partida S0 energiza o circuito, acionando o avanço do cilindro A; logo em seguida, o elemento sensor S2 aciona o seu retorno. Dando seguimento a movimentação, o elemento sensor S1 dispara o primeiro avanço de B, até o ponto que antecede o leitor de espessura de chapas identificar a espessura de trabalho; no passo seguinte, o elemento sensor S4 determina o avanço do cilindro C que efetua o furo na chapa; o elemento sensor de fim de curso S7 garante o recuo do cilindro C; então o elemento sensor S6 determina o segundo avanço do cilindro B, retirando a chapa já furada do centro de mesa; o sensor S5 recua o atuador B, até o sensor S3, que reinicia o ciclo. Tanto o quadro de movimentação resumindo o descrito anteriormente e o circuito eletropneumático são definidos como segue abaixo.

Tabela 3.3 – etapas de movimentação dos atuadores

| Passo | Comando | Acionamento | Setor |
|-------|---------------------|-------------------------|-------|
| 1º | botão de partida S0 | avanço do cilindro A | K1 |
| 2º | sensor S2 | retorno do cilindro A | K2 |
| 3º | sensor S1 | 1º avanço do cilindro B | K3 |
| 4º | sensor S4 | avanço do cilindro C | K4 |
| 5º | sensor S7 | retorno do cilindro C | K5 |
| 6º | sensor S6 | 2º avanço cilindro B | K6 |
| 7º | sensor S5 | retorno do cilindro B | K7 |
| 8º | sensor S3 | reinício do ciclo | K8 |

O esquema eletropneumático é apresentado a seguir.

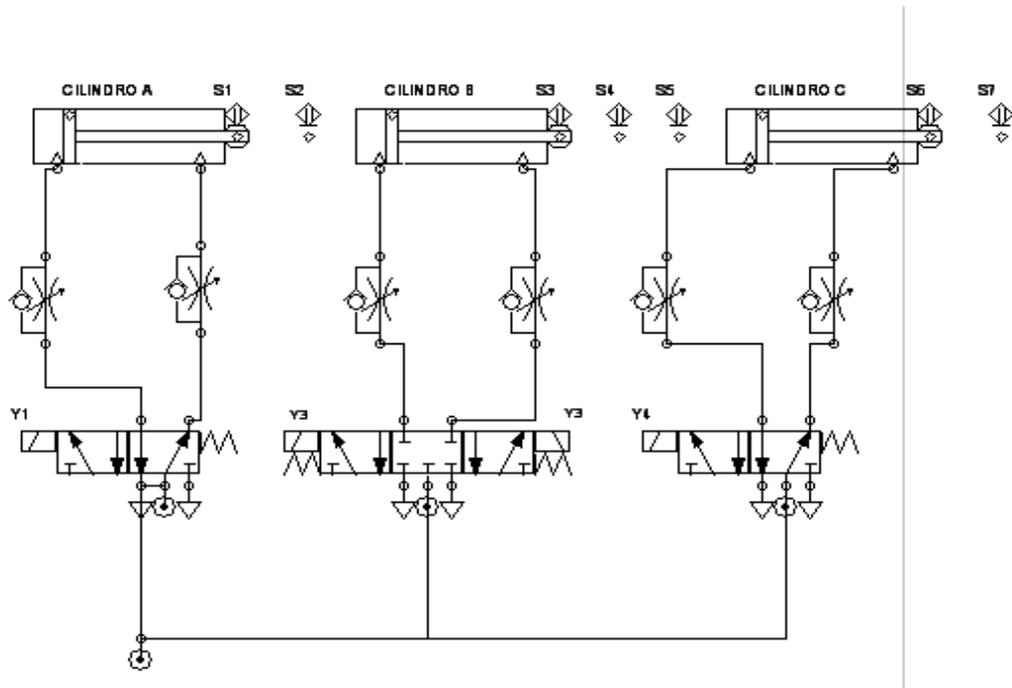


Figura 3.6 – O esquema pneumático dos atuadores

Quanto à composição dos elementos que constituem o circuito, destacam-se as válvulas direcionais, sendo duas de 5 vias e 2 posições e uma de 5 vias e 3 posições, ambas de solenóides com retorno por mola, além dos elementos sensores que se aplicam como fins de curso e as válvulas reguladoras de fluxo.

Quanto ao esquema elétrico e seus principais elementos, foram aplicados os relés. Por definição, relé é um dispositivo formado basicamente por uma bobina e por seu conjunto de contatos. Ao ser energizada a bobina K será feita a conexão ao terminal C com os outros contatos NA, enquanto a bobina permanecer energizada (efeito memória). Os contatos permanecerão nessa posição, como relata Fialho(2003).

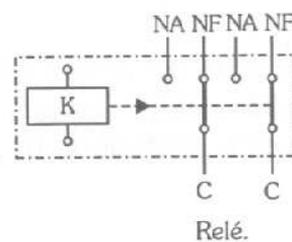


Figura 3.7 – o relé e seus contatos

Também há válvulas solenóides, que basicamente têm a função de efetuar o acionamento por meio de bobina CA ou CC, com as válvulas de comando elétrico.

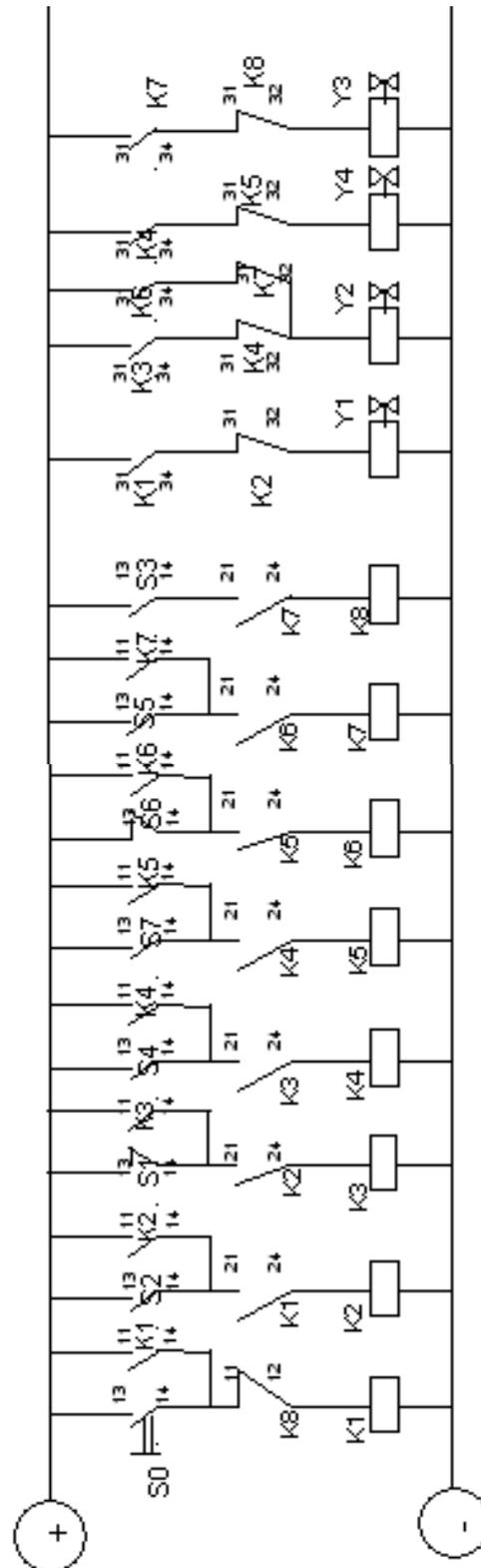


Figura 3.8 – O esquema elétrico

A movimentação dos cilindros acontece a partir do relé que é energizado quando a botoeira é acionada, assim, o seu contato aberto 13/14 fecha e ocorre a ligação em série com o relé K8, que permite a passagem de corrente elétrica, indo energizar o relé K1; seu contato 11/14 fecha, efetuando sua auto-retenção. O contato aberto 21/24 de K1, fecha e passa a habilitar o próximo relé, K2. O contato aberto 31/34 de K1 fecha e permite a passagem da corrente elétrica que atravessa o contato fechado 31/32 de K2, ligado em série, e liga dessa maneira o solenóide Y1 da válvula direcional que comanda o avanço do cilindro A. Quando o cilindro A chega ao fim do seu curso de avanço, o sensor de proximidade S2, seu contato aberto 13/14 fecha e permite a passagem da corrente elétrica, que atravessa o contato 21/24 de K1, ligando o relé K2, assim, seu contato aberto 11/14 fecha, efetuando a auto - retenção de K2. Ao avançar, o sensor S1 é desacionado, desta maneira o relé K2 deixa de passar corrente, desenergizando o solenóide Y1, efetuando o recuo do cilindro A, até que o elemento sensor S1 seja novamente acionado efetuando o contato que religa K2 em série, alimentando o relé K3.

Desse modo, o contato 11/14 de K3 fecha, executando a auto – retenção de K3, o seu contato 21/24 fecha e permite o relé K4 se energizar. O contato 31/34 fecha e permite a corrente passar em série com o relé K4, possibilitando a sua auto - retenção, energizando o solenóide Y2; com isso, o cilindro B avança até o sensor S4, que é acionado fechando o contato 13/14, ativando em série com K3, energizando o relé K4, que por sua vez fecha o seu contato 11/14, permitindo que seu contato 21/24 feche e ligando o relé K5, o qual efetua sua auto-retenção. Com K4 acionado, a ligação em série com K5 energiza o solenóide Y4, disparando o cilindro atuador C.

Ao avançar, o cilindro C deve desacionar o seu sensor S6, que não permite passagem de corrente ao relé K6; ao encontrar o sensor S7, este é acionado e permite o contato com K5 ser efetuado, porém, o contato 31/ 32 do mesmo se abre, desenergizando a solenóide, possibilitando o retorno do cilindro C até o sensor S6, que é reativado e garante a passagem de corrente elétrica pelo relé K6, indo o mesmo fechar seu contato 31/34, permitindo energizar o solenóide Y2. O cilindro B efetua o seu segundo avanço, indo até o sensor fim de curso S5, fechando seu contato 13/14, permitindo passar a corrente elétrica em série com K6 e energizando K7, que por sua vez fecha seu contato 31/34 alimentando o solenóide Y3, fazendo o retorno do cilindro B, que por sua vez ao retornar alimenta o elemento S3, deixando passar corrente em série com K7, energizando o relé K8, que reinicia o ciclo ao fechar seu contato com o relé K1 desenergizado.

3.6.2 – O circuito eletropneumático com o CLP

Com o uso do CLP tem-se a mudança de configuração do sistema com relação a montagem a relés, tendo em vista a utilização dos sinais de entradas a partir dos sensores e as respectivas saídas a partir das válvulas solenóides no circuito, tornando mais adequadas às condições propostas.

O intuito é demonstrar a configuração inicial para a montagem pneumática e elétrica, sendo o exposto do CLP apresentado mais adiante. Dessa maneira, os elementos atuadores de respostas passam a ser os seguintes:

Tabela 3.4 – etapas de movimentação dos atuadores e sensores:

| Passo | Comando | Acionamento | Setor |
|-------|---------------------|----------------------------------|-------|
| 1º | botão de partida S0 | início de ciclo | S0 |
| 2º | sensor 01 | retorno do cilindro A | S1 |
| 3º | sensor 02 | 1º avanço do cilindro B | S2 |
| 4º | sensor 03 | medidor de espessura | S3 |
| 5º | sensor 04 | retorno do cilindro C | S4 |
| 6º | sensor 05 | retorno cilindro B após 2 avanço | S5 |
| 8º | chave fim de curso | fim de ciclo | S6 |

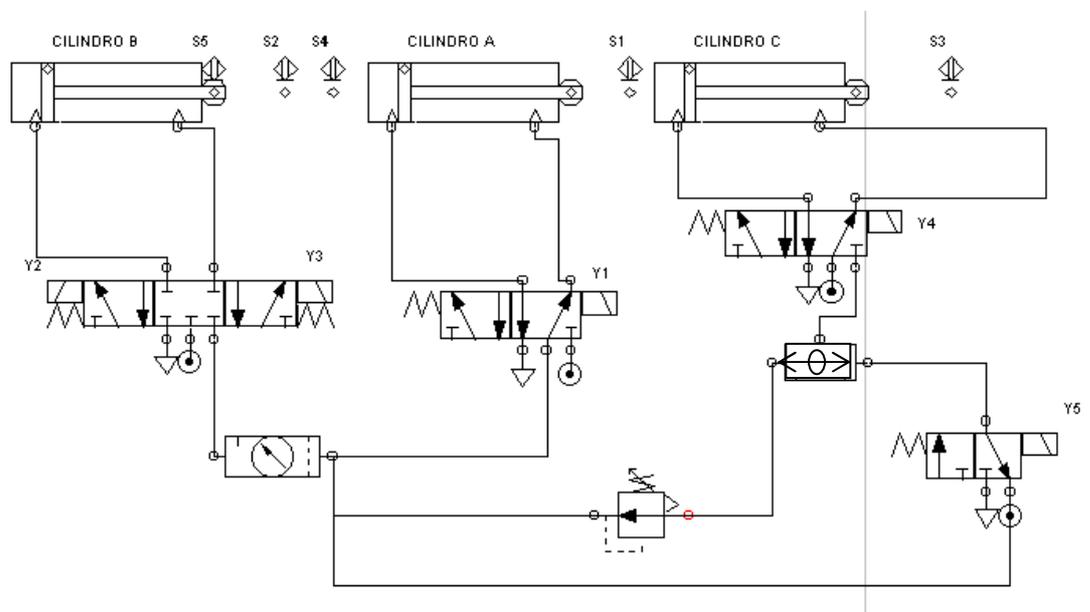


Figura 3.9 – O esquema pneumático dos atuadores

De acordo com este novo esquema, é apresentado o controle da pressão com o uso de duas válvulas direcionais, sendo uma de 3/2 vias e 5/2 vias, com simples solenóide e retorno por mola.

Para que a troca de pressões ocorra, é proposto o seguinte: devido à aplicação de duas pressões diferenciadas e que são destinadas a operar sob um mesmo atuador, é adotado P1 para a pressão menor e P2 a pressão maior, que é a própria da linha primária. Pelo circuito apresentado na figura 3.10, é utilizada uma válvula de elemento OU para realizar a seleção das pressões; quando for maior, no caso a pressão da própria linha de ar comprimido, esta deve passar pela válvula 3/2 simples solenóide, e logo em seguida pela válvula OU até ser devidamente aplicada na válvula 5/2 simples solenóide, até atuar sob o cilindro C(puncionador) . No caso da alimentação a pressão menor, antes da seletora, há uma válvula reguladora de pressão que, ao ser reduzida a pressão aplicada, deve então passar pela OU e logo em seguida para a 5/2 do atuador final, resultando na pressão mais baixa. Portanto, a saída da seletora deve alimentar a válvula direcional 5/2 simples solenóide, funcionando como a controladora das pressões.

Dessa maneira quando a solenóide Y4 atuar sozinha, estará acusando a aplicação da pressão proveniente da válvula reguladora de pressão. No caso da maior, para que haja a passagem da pressão neste ponto é preciso que as solenóides Y4 e Y5 atuem juntas. Quando for pressão menor, a solenóide Y5 deve estar desativada e somente a Y4 atuando, garantindo assim a seleção de pressão prevista no projeto.

Quanto ao esquema elétrico que alimenta as entradas e saídas do CLP, fica conforme figura 3.11, que demonstra as entradas dos sensores e as respectivas saídas das solenóides.

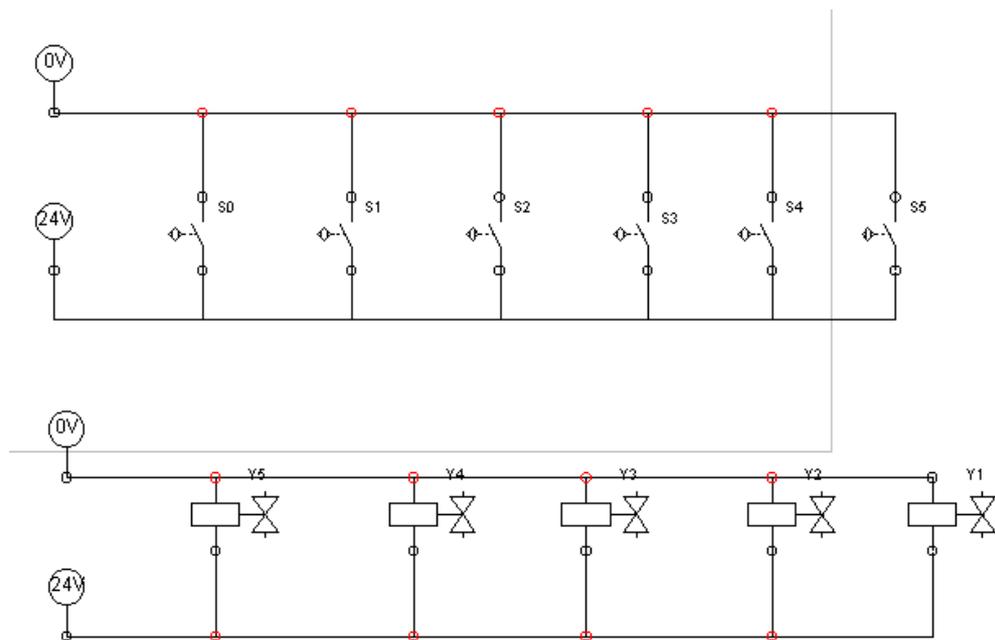


Figura 3.10 – O esquema elétrico das entradas e saídas

CAPÍTULO 4 – O DIAGRAMA SEQUENCIAL

4.1 – O diagrama funcional do circuito

Sua origem data da década de 70, onde pesquisadores e gerentes industriais franceses, envolvidos em complexos sistemas de controle discreto, reuniram-se para comparar e avaliar os métodos para construção de sistemas de controle seqüencial, daí surgiu o GRAFCET, como apresenta GEORGINI (2001).

Um GRAFCET segundo SILVEIRA e SANTOS (1999), é um modelo de representação gráfica do comportamento da parte de comando de um sistema automatizado. Ele é constituído por uma simbologia gráfica com arcos orientados que interligam etapas e transições por uma interpretação de variáveis de entrada e saída da parte de comando caracterizada como receptividades e ações, e por regras de evolução que definem formalmente o comportamento dinâmico dos elementos comandados.

Tem como base em sua composição os passos, as transições, arcos, ações qualificadas e expressões booleanas, sendo desenhada verticalmente. O passo representa um estado particular do sistema que está sendo descrito e se desenha com um retângulo, como definido por CASTRUCCI (2001). Os seus elementos básicos são as etapas e transições. As etapas são usadas para descrever a situação do sistema seqüencial e são representadas por quadrados; as transições são os elementos indicadores, uma possível evolução da atividade entre várias etapas.

Segundo GEORGINI (2003), o diagrama funcional seqüencial denominado SFC(Sequential Function Chart), aplicado neste trabalho, tem seus elementos caracterizados abaixo:

- etapas – às quais são associadas as ações;
- transições – às quais são associadas as condições;
- ligações orientadas – que conectam as etapas às transições e estas as etapas.

A combinação destes elementos proporciona uma representação estática do Sistema Automatizado.

Romano e Guimarães (1999) apresentam um projeto de automação em GRAFCET para alimentador de prensas, e apresentam como definição um diagrama de função seqüencial com uma representação básica de um conjunto de retângulos que representam cada etapa de um comando seqüencial. Estes são interligados por meio de setas indicando as transições entre as etapas, além do GRAFCET descritivo, que

permite uma facilidade na intercomunicação indicando os elementos de comando e sensores com suas lógicas sequenciais.

Existem também as ações que podem ser qualificadas, cuja simbologia pode ser feita com um retângulo que descreve a ação associada à etapa, sendo caracterizada ou qualificada como ação mantida ou continuada (S); ação atrasada (D)após decorrido o tempo especificado; ação limitada (L) ; ação condicional (C).

Para determinar o sequenciamento do processo automatizado da puncionadeira, é adotado na teoria o diagrama funcional com as etapas e transições de forma descritiva e lógica, considerando a movimentação dos atuadores e o monitoramento de espessura de chapas. A seguir, pode ser visto o diagrama completo e suas principais etapas funcionais.

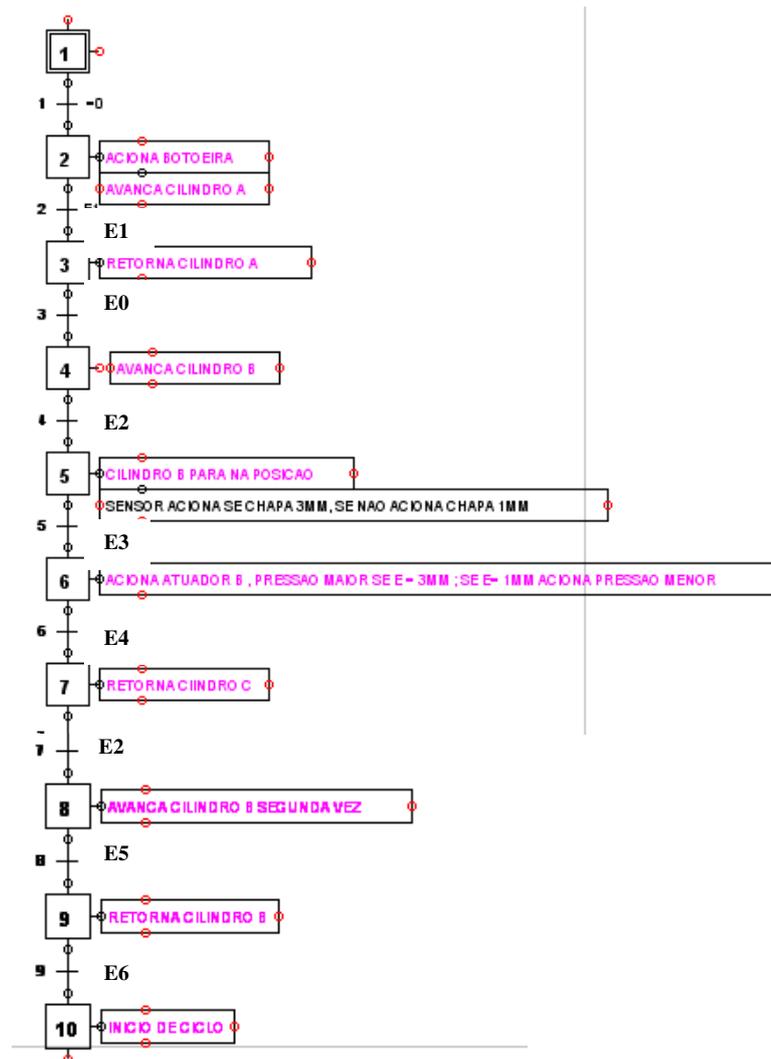


Figura 4.1 – O diagrama sequencial da puncionadeira

No projeto foi adotado o GRAFCET do tipo descritivo, na qual para cada etapa é especificado sua respectiva ação e elemento lógico associado e caracterizado diretamente pelos seus elementos sensores que compõem a lógica do sistema.

O seu funcionamento se dá quando a botoeira devidamente acionada inicia o circuito, fazendo com que a etapa seguinte possa ser efetuada.

Assim, no primeiro movimento que está representado na etapa 02, pode ser observado que o cilindro A realiza o seu primeiro avanço conduzindo a chapa até o elemento sensor E1.

Na etapa 03, após o elemento sensor E1 ter sido acionado, fazendo com que a chapa seja corretamente posicionada, ocorrendo o recuo do cilindro A até o elemento sensor E0.

Na etapa 04, após o sensor E0 ativar, o atuador B avança buscando a chapa e a conduzindo até o elemento sensor E2, onde o movimento do cilindro B é interrompido, mas posicionando a chapa ao centro de atuação do cilindro puncionador.

Para as etapas 05 e 06 serem concretizadas, antes é necessário que o sensor E3 entre em ação para que a chapa seja reconhecida em sua espessura, isto por meio do dispositivo mecânico acionado por mola, reconhecedor de espessura com o sensor E3 em sua extremidade, fazendo com que a válvula reguladora de pressão possa controlar a pressão específica no atuador C, ocasionando o avanço do mesmo conforme a pressão estabelecida para a espessura de chapa. Na etapa 07, o sensor E4 garante o recuo do atuador C após a operação de furação.

Inicia-se a oitava, nona e décima etapas, quando o atuador B efetua o seu segundo avanço até a retirada da chapa já furada, até o seu recuo ao início de seu curso, garantindo o reinício do ciclo.

Portanto, podem ser observadas as ações e suas respectivas lógicas com seus elementos fins de curso definindo os momentos de atuação e execução das atividades.

Outra etapa é definir a combinação seqüencial por meio de comandos combinatórios e seqüenciais, que, por Romano e Guimarães (1999), compõem o diagrama lógico do sistema, sendo que, para os comandos seqüenciais, associa-se a cada etapa um modo lógico correspondente, sendo o método passo a passo adotado para associar a uma memória do tipo Set-Reset..

Os comandos seqüenciais são comandos de sistemas que produzem uma seqüência predeterminada de ações, cuja passagem de uma para a outra se dá em função

do cumprimento de condições de prosseguimento, sendo originados por sinais de entradas E e internas I, segundo a programação.

$$S = f(E,I) \quad (4.1)$$

Para melhor divisão, são representados no quadro abaixo os elementos de entrada e saída :

TABELA 4.1 – ELEMENTOS DE ENTRADA E SAÍDA DO CIRCUITO

| ELEMENTOS DE ENTRADA | ELEMENTOS DE SAÍDA |
|----------------------|-------------------------------|
| SENSOR E0 | ATUADOR PNEUMÁTICO A |
| SENSOR E1 | |
| SENSOR E2 | ATUADOR PNEUMÁTICO B |
| SENSOR E6 | |
| SENSOR E5 | |
| SENSOR E3 | ATUADOR PNEUMÁTICO C |
| SENSOR E4 | |
| SENSOR E3 | VÁLVULA REGULADORA DE PRESSÃO |

Com esta divisão, é mais fácil visualizar o diagrama lógico que é apresentado na seqüência de execução.

Cada passo do comando seqüencial é representado por um módulo lógico de memória RS intertravada seqüencialmente com os módulos de memórias de passos anterior e posterior, ressaltando que, no uso de saídas Mn dos módulos de memória RS, podem-se acionar os atuadores externos, como os relés amplificadores , bem como os próprios CLP's como representantes de elementos de saída.

Os passos combinacionais refletem diretamente a lógica empregada, assim como no caso do diagrama logo a seguir, e sua representação fica assim resumida:

Passo 01: aciona o atuador A para avançar;

Passo 02: aciona o recuo do atuador A;

Passo 03: aciona o atuador B para avançar a ponto intermediário e atua o sensor leitor de chapas;

Passo 04: após a atuação da válvula reguladora de pressão , o atuador C avança;

Passo 05: cilindro C recua;

Passo 06: cilindro B efetua segundo avanço e após retorno;

Pode ser observada a elaboração do diagrama lógico que compõe as fases de atuação dos atuadores pneumáticos em suas respectivas etapas.

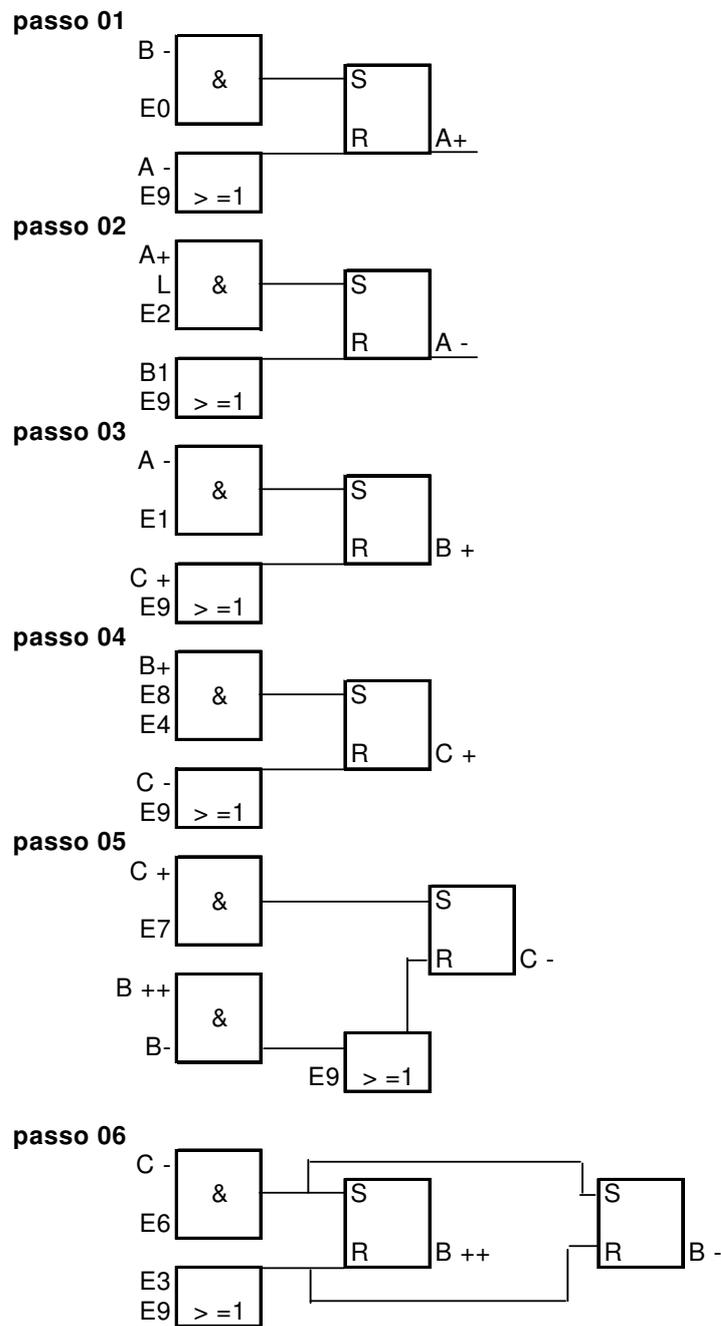


Figura 4.2 – Diagrama lógico seqüencial.

O elemento que aparece E9 é a emergência para ser acionado quando necessário.

4.2 - O Controlador Lógico Programável

Com o objetivo de realizar o reconhecimento de sinal a partir do sensor, regular a força de corte quando diferentes espessuras são aplicadas, será necessário o uso de um

CLP- Controlador Lógico Programável que, segundo Georgini, pode ser definido como um dispositivo de estado sólido – um computador industrial , capaz de armazenar instruções para implementação de funções de controle(seqüência lógica, temporização e contagem, por exemplo), além de realizar operações lógicas e aritméticas, manipulação de dados e comunicação em rede, sendo utilizado no controle de sistemas automatizados.

De acordo com Fialho (2003), os CLPs são ideais para controlar máquinas e processos discretos e independentes, e muitas aplicações controladas ou acionadas a relés estão migrando para estes. Dentre suas características operacionais destacam-se: a confiabilidade, a flexibilidade, as funções avançadas, além da comunicação a outros para efeitos de monitoramento de processo, a velocidade de processamento e o diagnóstico. Conforme Castrucci, um CLP é constituído basicamente de :

- fonte de alimentação;
- unidade Central de Processamento(UCP);
- memórias dos tipos fixo e volátil;
- dispositivos de entrada e saída;
- terminal de programação;

Para a sua programação, utiliza-se a linguagem Ladder, que representa um diagrama de contatos, sendo uma das formas mais claras de se apresentar uma lógica de controle. Tal linguagem evoluiu dos diagramas elétricos, com a corrente elétrica que circula pelos dispositivos de forma a completar um circuito elétrico. A programação em Ladder do trabalho é demonstrada na descrição da montagem da bancada.

Tendo como base o GrafCet e o diagrama lógico seqüencial desenvolvido anteriormente, são geradas as linhas de comando Ladder capazes de possibilitar a interpretação das dosagens de pressão no cilindro em função das espessuras de chapas, e os movimentos do cilindro em termos de uma solução pneumática com o uso do CLP.

CAPÍTULO 05 – A MONTAGEM DO CIRCUITO EM BANCADA

5.1 – A composição do circuito

Com a finalidade de efetuar a etapa prática apresentada neste trabalho, foi escolhido o circuito aplicado numa bancada para fins de constatação dos resultados.

A construção mecânica efetiva deste equipamento é apresentada somente para fins de dimensionamento, mas na prática se optou pela construção da mesma, por questões de investimento e prazo de execução.

Desta maneira, optou-se por montar o circuito eletropneumático, com o elemento sensor leitor de espessura de chapas e a válvula reguladora de pressão, mas sem a execução física do furo sobre as chapas, e para fins de simulação da operação, a pressão de corte é apenas medida no manômetro, comprovando a alteração da mesma quando da variação de espessura de chapas.

Esta bancada conta com os seguintes componentes para sua realização:

- 01 mesa retangular em madeira do tipo bancada;
- 02 atuadores pneumáticos lineares de curso até 300 mm, para fins de alimentação da chapa no circuito;
- 01 atuador pneumático de alta pressão que trabalha com a execução do furo na chapa;
- 01 dispositivo mecânico com haste móvel acionada por molas para a detecção da espessura de chapas durante o seu movimento, com um sensor indutivo em sua extremidade;
- conjunto de sensores fins de curso para a execução dos atuadores pneumáticos;
- 04 válvulas eletropneumáticas direcionais;
- 01 válvula reguladora de pressão;
- 01 botoeira de acionamento do circuito;
- 01 manômetro para medir a variação de pressão no atuador pneumático de furo;
- 04 chapas de ensaio com 2 espessuras (02 de 01 mm e 02 de 03 mm);
- 01 dispositivo empurrador de chapas adaptado na extremidade do cilindro e uma porta-chapa.

As alimentações são feitas por ar comprimido, a partir de um compressor e, ainda, há a alimentação elétrica.

5.2 – O esquema de montagem da bancada e a disposição dos elementos

Para efeito de ilustração o diagrama simplificado abaixo apresenta o esquema de organização da bancada e seu funcionamento.

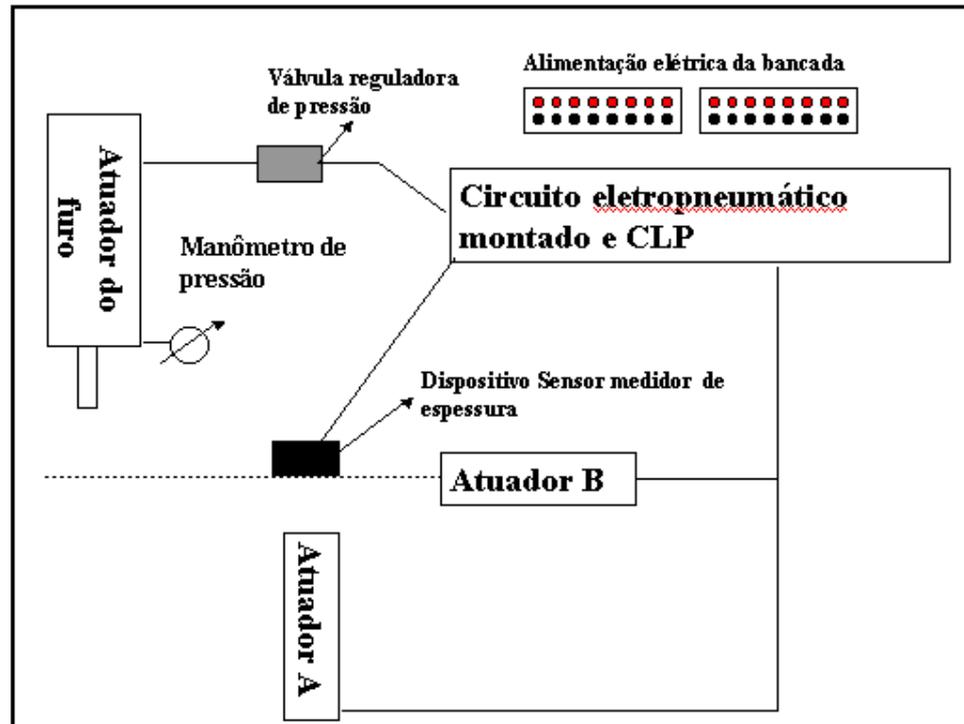


Figura 5.1 – A disposição do circuito em bancada

De acordo com o diagrama de blocos apresentado no capítulo anterior, a ilustração acima demonstra a montagem física do circuito na bancada, seguindo o mesmo princípio de funcionamento.

Os atuadores A e B são utilizados na alimentação de chapas, onde o atuador A, através de um dispositivo, empurra a chapa situada em sua base, avança até a posição do cilindro B; o sensor medidor de espessura atua antes do avanço do atuador em B; efetuando a escolha da pressão a partir da abertura dos solenóides de maior ou menor pressão, além da válvula reguladora de pressão, fazendo dessa maneira a regulação da pressão de corte.

O atuador C é acionado pela válvula e atua para a execução de furo da chapa; como leitor de pressão, tem-se o manômetro, que traduz permitindo a leitura da pressão aplicada conforme varia a espessura de chapas (1mm ou 3mm). A pressão deve variar até 4 bar no caso de ser chapa de 1mm e até 10 bar no caso de 3mm.

O circuito eletropneumático é montado e disposto ao longo da bancada e alimentado nas entradas elétricas, os relés e sensores fins de curso e suas respectivas ligações, conforme já demonstrado no capítulo 3 deste trabalho.

O CLP deve então atuar a partir do sensor que regula a pressão, ocasionando o controle da pressão sob a válvula reguladora e a ação no atuador C sob o furo na chapa.

Portanto, pretende-se atingir na execução do experimento a obtenção de resposta a esta situação de controle, confirmando a pressão de regulagem conforme a variação da espessura ocorra na interface sensor e no dispositivo mecânico.

O tipo de atuador C pode vir a influenciar na pressão a ser aplicada, de acordo com os dois modelos propostos de atuador apresentados no capítulo 02, no qual é esboçado o cálculo de esforço de corte de acordo com o tipo do cilindro pneumático adotado, mas também não penaliza de forma alguma a funcionalidade do esquema proposto.

5.3 – As adaptações necessárias

Durante a fase de execução do ensaio foram realizadas, algumas adaptações na proposta original do circuito. A primeira delas é a que se refere à utilização da válvula proporcional de pressão, que apesar de sua praticidade de aplicação e funcionalidade, em termos de variação do sinal de tensão ou corrente, e apresentando uma resposta rápida ao sistema a sua variação, o fator custo foi primordial para sua não aplicabilidade. Por se tratar de uma válvula importada e de alto valor, foi preciso adaptar o sistema a uma outra situação.

Outro fator foi a questão do próprio CLP, a princípio, o número de entradas e saídas do equipamento, ainda não havia sido percebido face ao número de elementos que compõem o sistema, sendo necessário um redimensionamento no número de entradas e saídas do sistema. Por isso, foi adaptado ao sistema de alimentação do tipo mecânico em substituição a uma aplicação de ventosas, tendo em vista que a quantidade de solenóides do sistema com o uso da ventosa não permitiria a programação das saídas, de maneira adequada, extrapolando o limite do CLP, tornando não executável o trabalho. O modelo do CLP empregado disponibiliza 8 entradas e 6 saídas.

Pequenas alterações quanto à mecânica foram feitas, tais como peças miúdas que servem de guias, correção de posicionamento, a montagem completa, conciliando o ajuste mecânico ao esquema de regulagem, no caso do medidor de espessuras, com uma

maneira de ajustar a medição da espessura das chapas, o bom posicionamento dos cilindros, enfim, um conjunto de fatores que compõem todo o sistema para atingir os objetivos propostos.

5.4 – O circuito realizado

Em função das alterações observadas associadas ao diagrama seqüencial, alguns pontos mudam no que se refere à seqüência da operação, tendo em vista atender as limitações do CLP quanto ao número de entradas e saídas. Mas, o objetivo do trabalho permanece o mesmo, sem perder a proposta inicial, que é caracterizar o controle de pressão conforme variam as espessuras de chapas. A seqüência funcional do circuito passa a ser a seguinte:

Tabela 5.1 – Seqüência de operação

| |
|---|
| 1) Início de ciclo com botoeira. |
| 2) Avanço do cilindro alimentador. |
| 3) Posiciona a chapa para o segundo cilindro. |
| 4) Recua o cilindro alimentador. |
| 5) O cilindro posicionador avança até o ponto de medição de espessura. |
| 6) Reconhecimento de espessura |
| 7) Aciona o avanço do cilindro puncionador com a pressão devidamente aplicada. |
| 8) Recua o cilindro puncionador. |
| 9) Cilindro posicionador avança para seu segundo estágio. |
| 10) Retorno do cilindro posicionador. |
| 11) Fim do ciclo. |

A disposição dos elementos tanto sensores quanto os atuadores, é a mesma já apresentada, diferenciando no último cilindro, onde são utilizadas duas válvulas 3/2 vias simples solenóide para atuarem de maneira alternada quando o sensor medidor de espessura de 3mm atuar, enquanto a outra solenóide permanecer desativada, sendo no próprio CLP, ou melhor, se na sua programação atender a um liga – desliga das solenóides conforme a detecção ou não do sensor medidor; o elemento inicial do

circuito que é a botoeira, não sendo o elemento E0 apresentado no diagrama seqüencial anteriormente. O esquema elétrico permanece o mesmo, sendo possível a sua configuração sem demais alterações. O esquema eletropneumático fica representado na ilustração abaixo, que apresenta a figura 5.2 :

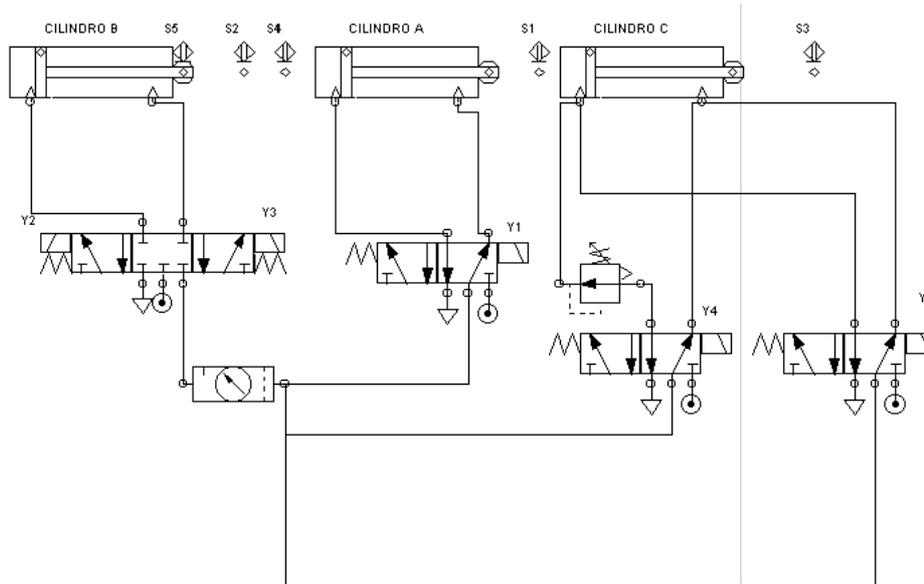


Figura 5.2 – O esquema eletropneumático realizado

Observa-se a mudança na aplicação do cilindro puncionador C que, para poder efetuar o avanço de acordo com as pressões solicitadas, o trabalho com as solenóides alternando suas atuações e, lembrando o uso da válvula reguladora de pressão, na saída do solenóide Y4, que determina a pressão de menor valor, enquanto o solenóide Y5 é acionado somente quando o sensor de medição acusa presença, assim opera com a pressão de linha. Quanto aos demais atuadores pneumáticos, permanecem sob a mesma configuração, ressaltando o número de sensores que se representa de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 5.2 – Sensores e cilindros utilizados

| | |
|---------------------------|---|
| CILINDRO A - ALIMENTADOR | SENSOR S1 |
| CILINDRO B - POSICIONADOR | SENSORES S2, S5 e chave fim de curso S6 |
| CILINDRO C - PUNCIONADOR | SENSOR S4 |
| MEDIDOR DE ESPESSURA | SENSOR S3 |



Figura 5.3 – Bancada experimental

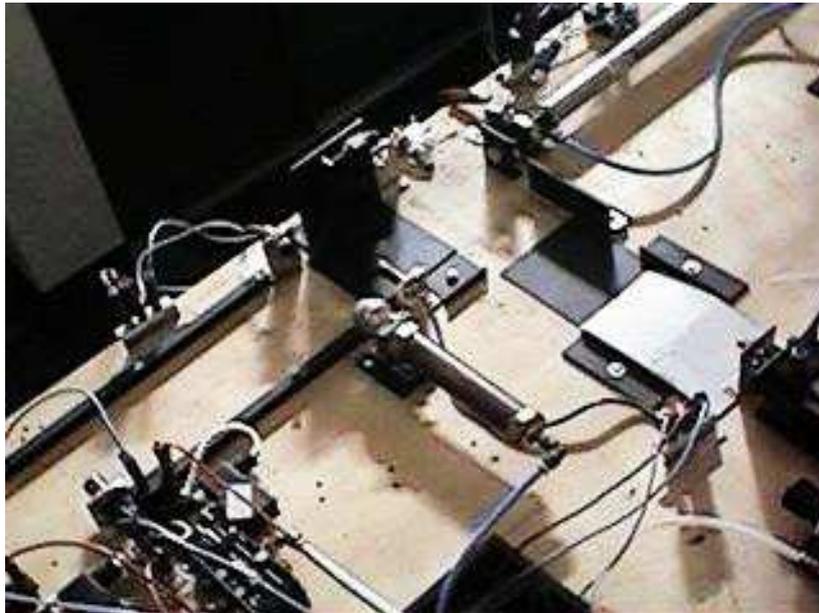


Figura 5.4 – Detalhe do dispositivo medidor e cilindros

As fotos acima retratam a montagem física realizada detalhando os elementos já utilizados para o ensaio de controle de pressão.

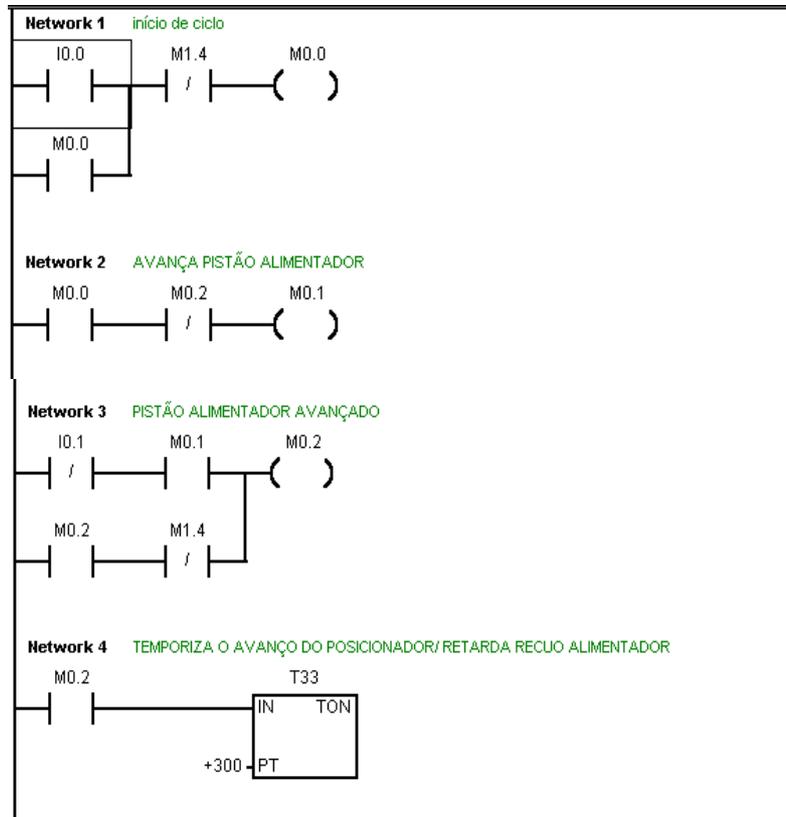
5.5 – O programa utilizado no CLP

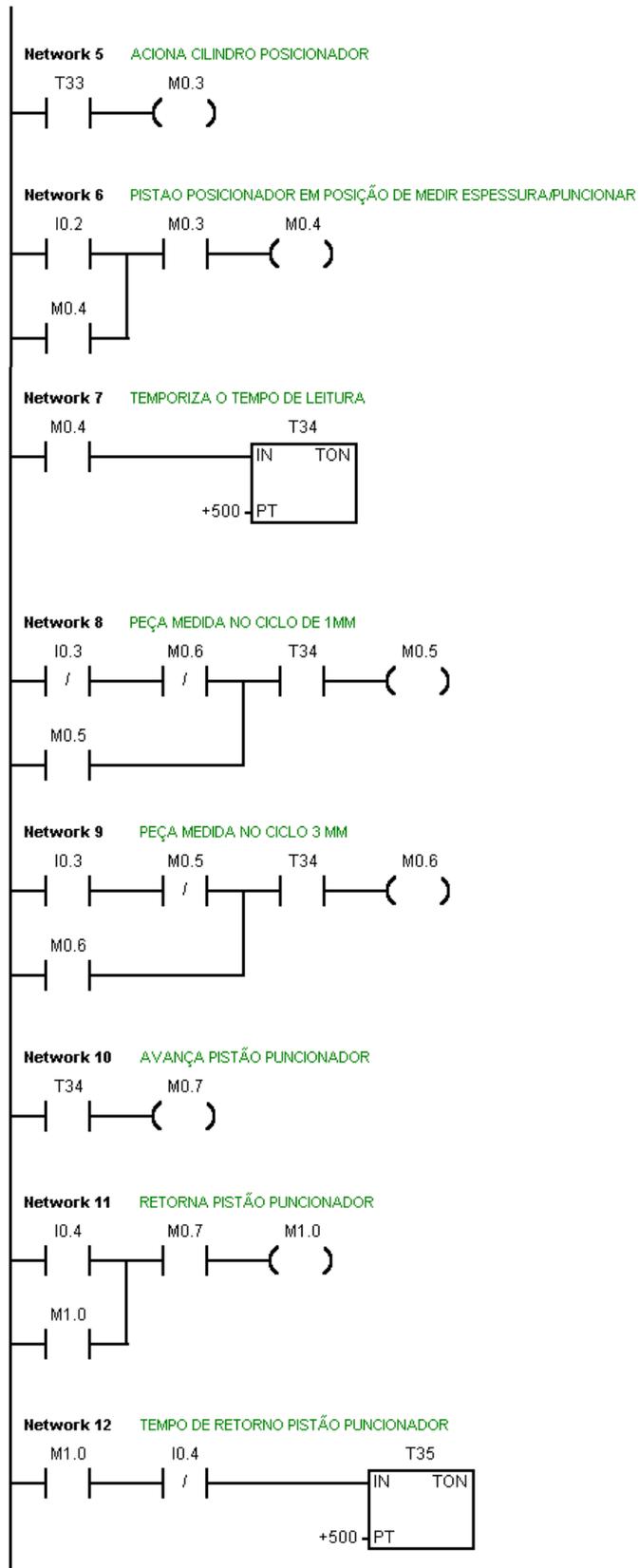
A movimentação do circuito só foi obtida mediante a programação bem executada. Apesar das limitações iniciais no número de entradas e saídas, o processo é adaptável às condições e aos meios disponíveis. Para isto foi realizado o diagrama LADDER do projeto, garantindo os respectivos chaveamentos elétricos das saídas e

mantendo o sincronismo na atuação dos cilindros, de maneira a permitir o controle observado das pressões, o que garantiu o fator principal a partir do dispositivo medidor de espessuras de chapas, quando da passagem da chapa pelo mesmo, até o momento de sua parada.

O sensor, ao atuar para a chapa de 3mm, emite o sinal de tensão para o CLP, que faz a saída para o solenóide da válvula de maior pressão, ocasionando o movimento simulado do punção sob uma pressão em torno de 8 bar, permitindo a demonstração da aplicabilidade do controle.

Já no caso do sensor não acusar presença, o outro solenóide atua, porém, com a válvula reguladora de pressão que efetua uma dosagem de pressão menor no atuador final. Para sua aplicação a válvula reguladora de pressão deve estar em boas condições de uso, para que permita uma regulagem correta, por se tratar de uma forma mecânica de garantir à pressão, sendo esta a substituição da válvula proporcional, que opera diretamente com a tensão, mas garante a chapa de 1 mm à pressão de 3 a 4 bar. O programa é apresentado a seguir:





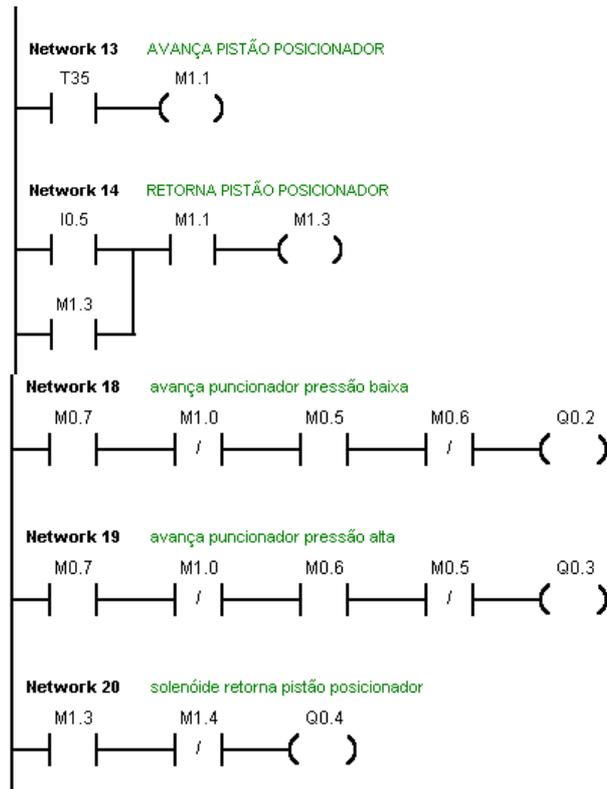


Figura 5.5 – O programa do CLP para a movimentação dos cilindros

Demonstra-se o programa executado para permitir a movimentação dos cilindros atuadores e o sistema de medição das espessuras, ressaltando que ao longo do ajuste do programa muitas variáveis surgem, e são ajustadas à medida que cada elemento que deve atuar é analisado de maneira isolada, corrigindo e acertando os desvios, para que possa ser incorporada ao contexto global do programa, compilando e executando, acompanhando cada passo que o circuito deve executar.

6 – RESULTADOS E CONCLUSÕES

Para que todo o sistema proposto pudesse atingir o resultado que demonstra a aplicação deste tipo de controle, faz-se necessário cumprir as etapas já descritas, priorizar as avaliações para assegurar o bom funcionamento do circuito, o que implica desde os primeiros cálculos de dimensionamento, tais como as pressões, os esforços de corte, no caso das chapas com furos circulares, até desenvolver uma análise segura dos parâmetros envolvidos, tais como a variação de tensão, corrente, pressão.

Dimensionaram-se os esforços de cortes conforme BRITO (1999), que demonstra as relações de cálculos de forças de corte com espessuras em chapas e a

resistência do material. Obtiveram-se os valores das pressões calculadas para as espessuras empregadas respectivamente de 1 mm e 3 mm, nos seguintes resultados: 2,89 bar e 8,7 bar respectivamente.

Construiu-se a bancada experimental empregando os elementos sensores, atuadores, válvulas, o controlador lógico programável e o dispositivo medidor de espessuras das chapas.

Realizaram-se os ensaios da bancada a partir da sua montagem e a programação em Ladder do CLP, levando em consideração o período de ajustes e testes de instrumentações necessárias, no caso dos sensores, das válvulas, dos atuadores.

Observou-se quanto ao fator custo, a substituição da válvula proporcional de pressão pela reguladora de pressão. Fato este que não veio a penalizar o desempenho dos testes. Desenvolveu-se o circuito com foco na otimização de equipamentos e acessórios, no caso de um único atuador poder trabalhar sob duas pressões diferentes, com o uso de duas válvulas solenóides 3/2 vias para atender a variação da pressão das espessuras ensaiadas.

Obtiveram-se os resultados dos ensaios conforme a leitura de pressão no momento da passagem das chapas pelo circuito, respectivamente 1 mm e 3 mm de espessura encontrando os seguintes valores para a pressão no atuador: variando em uma faixa de 3 a 4 bar para a primeira situação; variando em uma faixa de 7 a 9 bar para a segunda situação. Observou-se que ocorreram tais variações distribuídas em faixas de pressões em função de perdas ao longo da distribuição do ar, atribuídas a conexões e tubos plásticos desgastados.

Comparou-se o valor calculado para a montagem experimental com o obtido nos ensaios. No caso da espessura de 1mm foi observado uma variação de pressão acima do calculado, fator de influência é a questão dos ajustes dos instrumentos e o sensor que para esta espessura não atua, o que pode limitar um bom ajuste de pressão; para a espessura de 3mm esta variação fica menor, em função da atuação do sensor, que melhor define o ajuste da pressão.

Este tipo de sistema é possível de ser aplicado em escala maior de um equipamento a nível industrial, de forma a atender a questão de redução do número de equipamentos necessários para ser desenvolvido em uma manufatura de peças estampadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BIENKOWSKI, A., SZEWCZYK, R. *The possibility of utilizing the high permeability magnetic materials in construction of magnetoelastic stress and force sensors*. Sensors and Actuators , 2004, 113, 270-276.
2. BONACORSO, N.G. *Automação Eletropneumática*. 3ª edição. São Paulo: Editora Érica Ltda, 1999, p.13-20.
3. BRITO, O. *Técnicas e aplicações de estampos de corte*. São Paulo:Hemus Editora limitada,1999, p.16–92.
4. CASTRUCCI, P.L.MORAES, C.C. *Engenharia de Automação Industrial*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A , 2001, p.283-289.
5. ELKINS, Kerry L., STURGES, Robert H. *Design of a sensor for on –line measurement of loaded bend angle for pressbrake control*. Robotics and Computer Integrated Manufacturing,, 2001,17, 329-340.
6. FIALHO, A.B. *Automação Pneumática: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos*. São Paulo :Editora Érica Ltda.,2003, p.77 – 144.
7. GEORGINI, M. *Automação Aplicada Descrição e Implementação de Sistemas Seqüenciais com PLCs*. São Paulo. Editora Érica Ltda, 2000, p.21-54.
8. GUÉGUEN, H. BOUTEILLE, N. *Extensions of GrafCet to structure behavioral specification*. Control Engineering Practice, 2001,9, 743-756.
9. KACZMARECK, E. *Estampado: libro para el taller y la oficina con problema y sus soluciones*. Buenos Aires. Librería y Editorial Nigar S.R.L, 1932,p.108-147.
10. MURATA, M., UEDE, Y., SUZUKI, H. *Punch less punching of thin sheet metal by ultrahigh pressure gas for circular hole*. Journal of Materials Processing Technology, 1995, 48, 59 –68.
11. NAKIYAMA, Y., MOCHIHARA, M., FUJITA, M. *Dynamic punching of holes in an aluminum pipe using impulsive hydraulic pressure*. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 85, 204 –208.
12. NAZEER, Malik M., KHAN, M.A., NAEEM, A., HAQ, A.U. *Analysis of conical tool perforation of ductile metal sheets*. International Journal of Mechanical Sciences, 2000, 42,1391-1403.
13. OHO, T. *Precise Punching Technique for spherical work*. Toyota Technical Review, Vol.52, No. 2, Mar 2003.

14. PARKER HANNIFIN IND.COM.LTDA, Catálogo Linha Pneumática 1001-5 BR, Novembro 2003.
15. PARKER HANNIFIN TRAINING, *Tecnologia Eletropneumática Industrial*, Apostila M1002-2 BR, Agosto 2001.
16. PFEIL, W. *Estruturas de Aço*. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1976, 508p.
17. POLACK, A.V. *Manual Prático de Estampagem – breve tratado teórico prático para os mecânicos e profissionais desta especialidade*. Hemus Livraria Editora Limitada.
18. PROVENZA, F, 1984. Apostila de Estampas I, PRO-TEC.
19. RICHARDSON, R. PLUMMER, A.R.BROWN, M.D. *Self-Tuning Control of a Low – Friction Pneumatic Actuator under the Influence of Gravity*. IEEE Transaction on control systems technology, vol.9, no.2, 330-334.
20. ROMANO, V.F., GUIMARÃES P.R. *Projeto de Alimentador Pneumático para Automação de Processo de Alimentação de Chapas em Prensas CNC*. Artigo de dissertação de Mestrado COPPE/ UFRJ, 1999.
21. SHIMIZU, K., TAYA, S. *The development of hi-speed punching system using a couple of rotating bodies*. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 155-156,1157-1163.
22. SORLI, M., PASTORELLI, S. *Performance of a pneumatic force controlling servosystem: Influence of valves conductance*. Robotics and Autonomous Systems, 2000, 30, 283-300.
23. WANG,J., PU, J., MOORE, P, *A practical control strategy for servo-pneumatic actuator systems*. Control Engineering Practice, 1999, 7, 1483 –1488.
24. WATARI, H., ONA, H., YOSHIDA, Y., *Flexible punching method using an elastic tool instead of a metal punch*. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 137, 151-155.
25. WEBB, J.W. *Programmable logic controllers: principles and applications*. Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1999, 439p.
26. XIANG, F., WIKANDERJ. *Block-oriented approximate feedback linearization for control of pneumatic actuator system*. Control Engineering Practice, 2004 , 12 ,387-399.