



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PMC-581 Projeto Mecânico II

Relatório Final:

Automação do Processo de Dobramento de Chapa

Prof. Orientador: Marcelo A. L. Alves

Prof. Coordenador: Edson Gomes

Fábio Tazinazo

Omar Gasparini Orra

nºUSP : 2235486

nºUSP : 2235847

Índice

1 – Introdução.....	3
2 – Detalhamento das fases do processo de dobramento.....	5
2.1 – Alimentação da chapa no dispositivo de dobrar.....	5
2.2 – Dobramento.....	5
2.3 – Retirada da chapa dobrada do dispositivo.....	6
2.4 – Retorno do dispositivo à configuração inicial.....	7
2.5 – Colocação da chapa dobrada num suporte.....	7
2.6 – Esquema do mecanismo final.....	7
3 – Cálculos.....	8
4 – Esquema pneumático.....	12
5 – Construção da máquina.....	13
6 – Software.....	15
7 – Bibliografia.....	26

Acompanha
1 fita VHS

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600005987

1 – Introdução

O projeto mecânico que está sendo feito pelo grupo é o de automação de um processo de dobramento de uma chapa. Esta chapa é parte integrante de um suporte para *réchauds*. *Réchauds* são uma espécie de panela, comuns em restaurantes e hotéis, que utilizam banho-maria para esquentar os alimentos. Um exemplo de *réchaud* e do suporte em questão pode ser visto na figura 1.

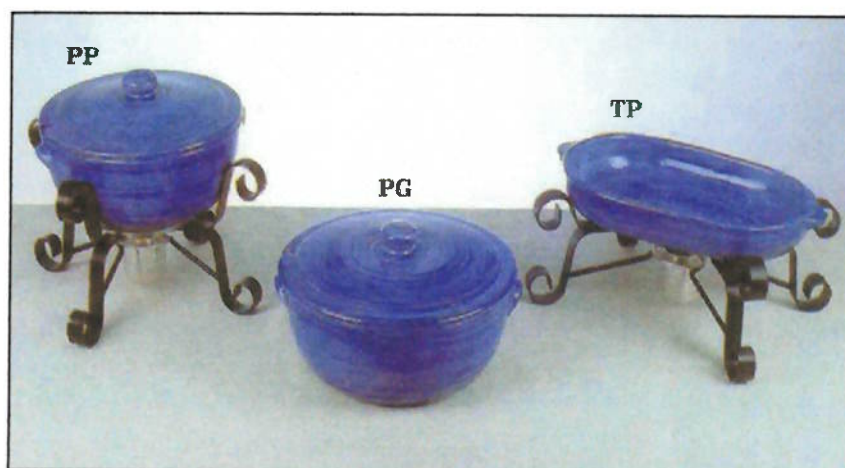


Figura 1: Exemplo de suporte de réchauds

A chapa a ser estudada está indicada na figura 2.

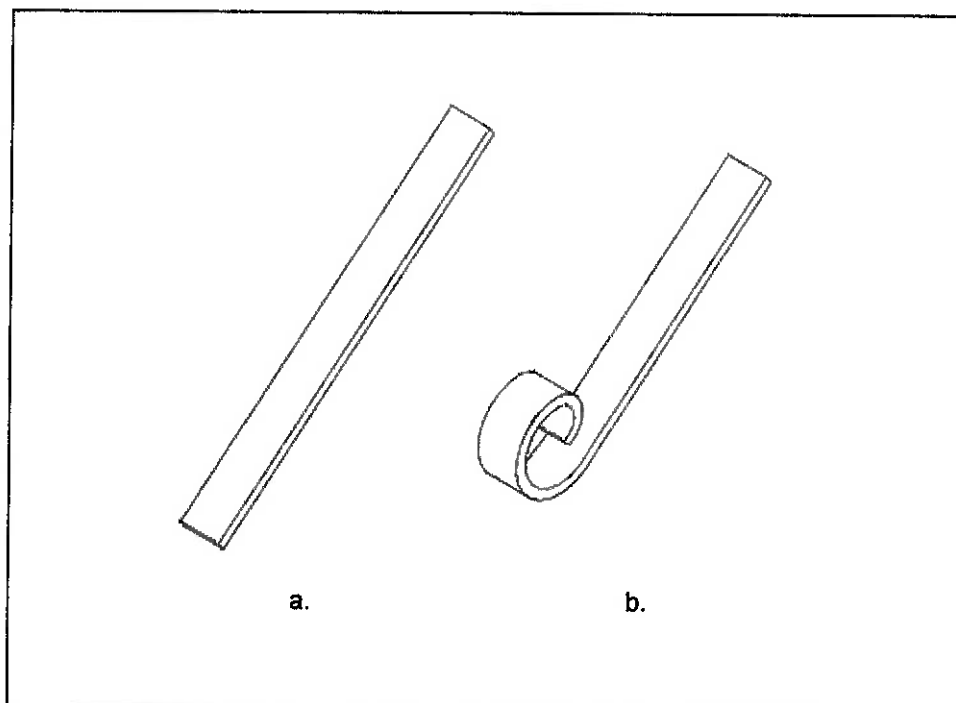


Figura 2: a. Chapa antes do processo

b. Chapa depois do processo (já dobrada)

O processo de dobramento ilustrado acima é constituído por 5 fases :

- Alimentação da chapa no dispositivo de dobrar;
- Dobramento;
- Retirada da chapa dobrada do dispositivo;
- Retorno do dispositivo à configuração inicial;
- Colocação da chapa dobrada num suporte;

Para tanto, está sendo feito um estudo dividido em partes com enfoques diferentes no processo.

2 - Detalhamento das fases do processo de dobramento

Para se fazer um estudo dos componentes da máquina, primeiro deve-se entender as fases que envolvem esse processo.

2.1 - Alimentação da chapa no dispositivo de dobrar

O dobramento da chapa feito no dispositivo será feito com uma chapa por vez, e a chapa já deverá estar no comprimento certo. Portanto a alimentação do dispositivo deve ser feita com a chapa já cortada neste comprimento. Isso ocorre em outra processo, não relevante para este trabalho.

Esta alimentação será feita por outro mecanismo que andarà num trilho comandado por um motor. O trilho será um sem-fim, onde o motor estará acoplado numa de suas extremidades. O mecanismo será composto de dois pistões pneumáticos, um para acionar a abertura e o fechamento de uma garra, e outro para avançar e retraindo essa garra. Chamaremos de pistão de obtenção o pistão que abre e fecha a garra, e de pistão de deslocamento o pistão que avança e retrai a garra.

Portanto, nesta fase, a garra estará aberta e posicionada sobre a chapa. Então o pistão de deslocamento avança na direção da chapa e o pistão de obtenção fecha a garra, prendendo a chapa. Logo após, o pistão de deslocamento se retrai, levantando a chapa presa na garra, e leva-a ao mecanismo de dobramento através do acionamento do sistema motor-trilho.

Neste momento, o pistão de deslocamento avança na direção do dispositivo e então o pistão de obtenção abre a garra e solta a chapa no dispositivo que irá dobrar a chapa.

2.2 - Dobramento

A fase de dobramento da chapa terá início após estar completa a fase de alimentação. Será acionado um terceiro pistão que estará ligado a uma corrente,

que por sua vez estará engatada numa coroa dentada, e na outra extremidade estará presa a uma mola. A coroa dentada estará presa à peça que fará o dobramento da chapa. Assim, ao acionar o pistão, este faz com que a coroa gire e faça o dobramento. Isto pode ser visto na figura 3.

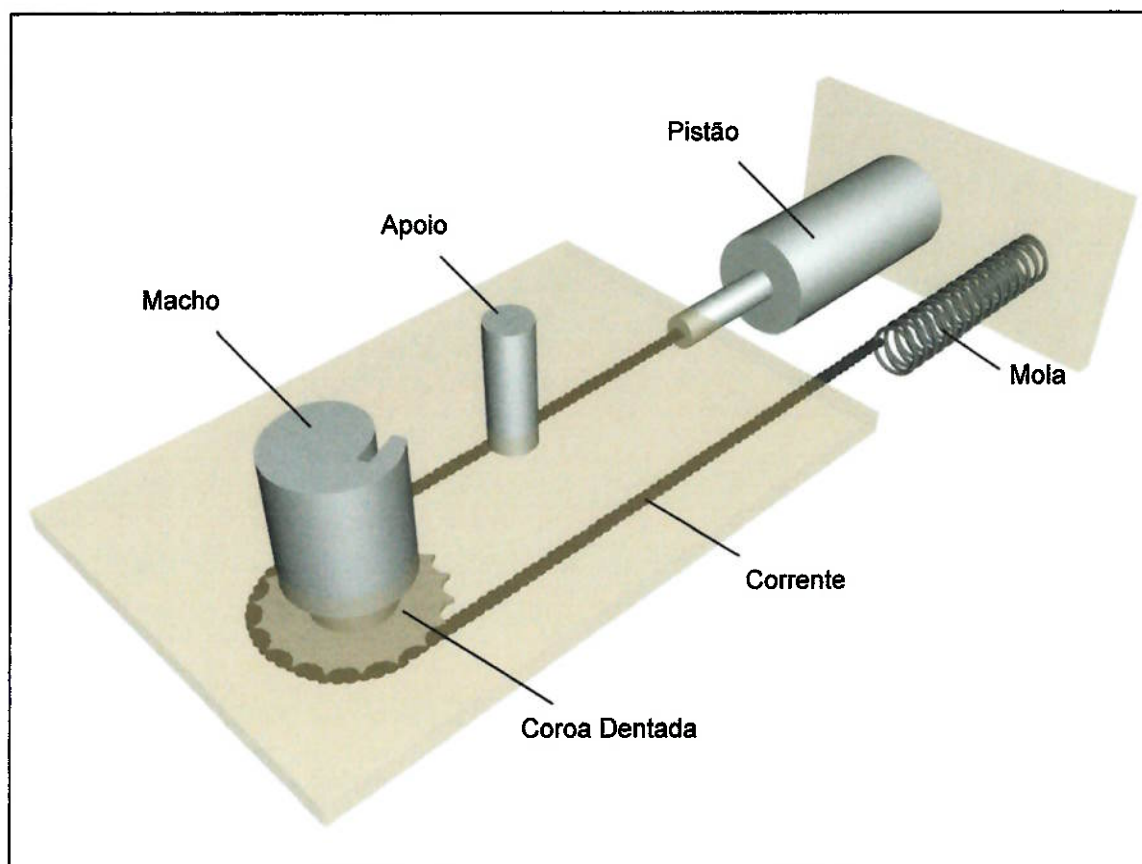


Figura 3: Mecanismo de dobramento

2.3 - Retirada da chapa dobrada do dispositivo

Depois do dobramento o pistão de obtenção fecha a garra e o pistão de deslocamento retrai, tirando a chapa do dispositivo.

2.4 - Retorno do dispositivo à configuração inicial

Após a retirada da chapa do dispositivo, o pistão é despressurizado e consequentemente a mola que está ligada à corrente irá se contrair, girando a coroa e fazendo com que a ferramenta volte à posição inicial da dobra.

2.5 - Colocação da chapa dobrada num suporte

Finalmente, na última fase desse processo, o mecanismo irá se deslocar pelo trilho através do motor até a posição de despejo da chapa dobrada sobre um rack. No despejo da peça, basta o pistão de obtenção abrir a garra, e pela ação da gravidade a chapa cairá sobre o rack, onde um operador irá retirar as chapas dobradas, e o processo irá começar novamente, com o mecanismo de transporte sobre o trilho voltando para a posição inicial.

2.6 – Esquema do mecanismo final

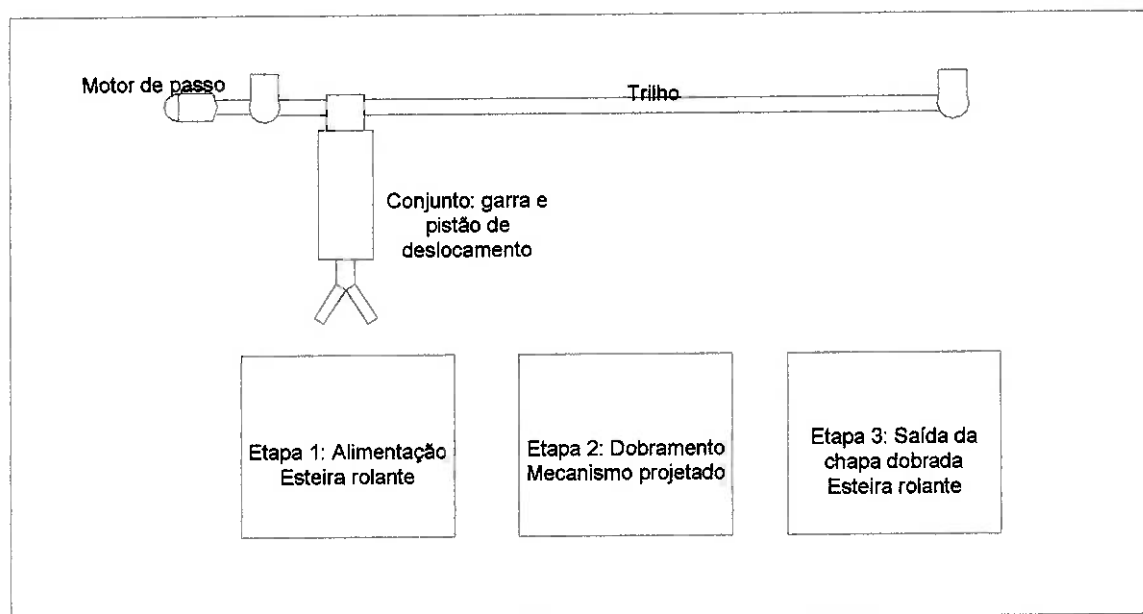


Figura 4 : as três etapas do processo

3 – Cálculos

No processo de dobramento é necessário calcular a força requerida para a dobra, pois ela será utilizada no dimensionamento do pistão (visto na fig. 3).

Esquemáticamente:

$$\sigma_{esc} \leq \frac{M}{W} \leq \sigma_{rup} \Rightarrow \sigma_{esc} \leq \frac{P * L}{\frac{b * h^2}{6}} \leq \sigma_{rup}$$

Sendo :

M: Momento necessário para se dobrar a chapa

W: Momento de inércia da chapa

σ_{esc} : Tensão de escoamento do material (ABNT 1020)

σ_{rup} : Tensão de ruptura do material (ABNT 1020)

L: A distância L fica clara na figura 4:

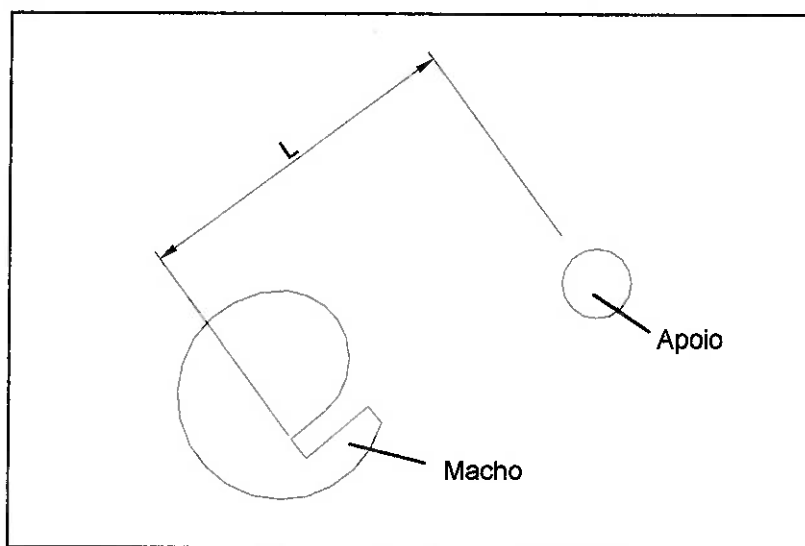


Figura 5: Distância L

Portanto, a força para se fazer a dobra :

$$\frac{\sigma_{esc} * b * h^2}{6 * L} \leq P \leq \frac{\sigma_{rup} * b * h^2}{6 * L} \Rightarrow \boxed{136 N \leq P \leq 211 N}$$

onde :

$$\sigma_{esc} = 220 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{rup} = 341 \text{ MPa}$$

$$b = 25,4 \text{ mm}$$

$$h = 3,2 \text{ mm}$$

$$L = 70 \text{ mm}$$

Dimensionamento do pistão

Para se fazer o dimensionamento do pistão, adotou-se uma pressão na linha constante igual a 8 kgf/cm². Logo:

$$P.r = F_{Pistão} . R_{Coroa}$$

Onde: $P = 18 \text{ kgf}$

$$r = 20 \text{ mm}$$

$$R_{Coroa} = 25 \text{ mm}$$

Portanto:

$$\boxed{F_{Pistão} = 14,4 \text{ kgf}}$$

As dimensões do pistão serão dadas por:

$$A = \frac{F_{Pistão}}{p} = \pi(R_c - R_h)$$

Onde: A : área do cilindro menos a área da haste
 p : pressão na rede
 R_c : raio do cilindro
 R_h : raio da haste (adotou-se igual a 10 mm)

Portanto: $R_c = 12,5 \text{ mm}$

Para o cálculo do curso do pistão, foi medido o ângulo efetuado pelo macho na dobra de uma peça:

$$c = \frac{2\pi R_{Coroa} \alpha}{360}$$

Onde: $\alpha = 245^\circ$

Portanto: $c = 105 \text{ mm}$

Dimensionamento da mola

Para o dimensionamento da mola que faz a volta do pistão, adotou-se uma força de 1 kgf. Logo:

$$k = \frac{F}{\Delta x}$$

Onde: $F = 1 \text{ kgf}$
 $\Delta x = 107 \text{ mm}$

Portanto: $k = 93,5 \text{ N/m}$

Utilizando as equações abaixo, pode-se obter os valores da tabela 1:

$$\tau = \frac{8FD}{\pi d^3} + \frac{4F}{\pi d^2} \quad \text{e} \quad N = \frac{Gd^4}{8D^3k} + 2$$

Onde: $\tau = 200 \text{ MPa (SAE 1020)}$

$D = \text{diâmetro da mola}$

$d = \text{diâmetro do arame}$

$G = 79000 \text{ MPa}$

$N = \text{número de espiras}$

Portanto:

$D = 26 \text{ mm}$

$d = 1,5 \text{ mm}$

$N = 33 \text{ espiras}$

4 – Esquema pneumático

O pistão que faz a dobra será acionado por um botão que acionará uma válvula, conforme o esquema abaixo:

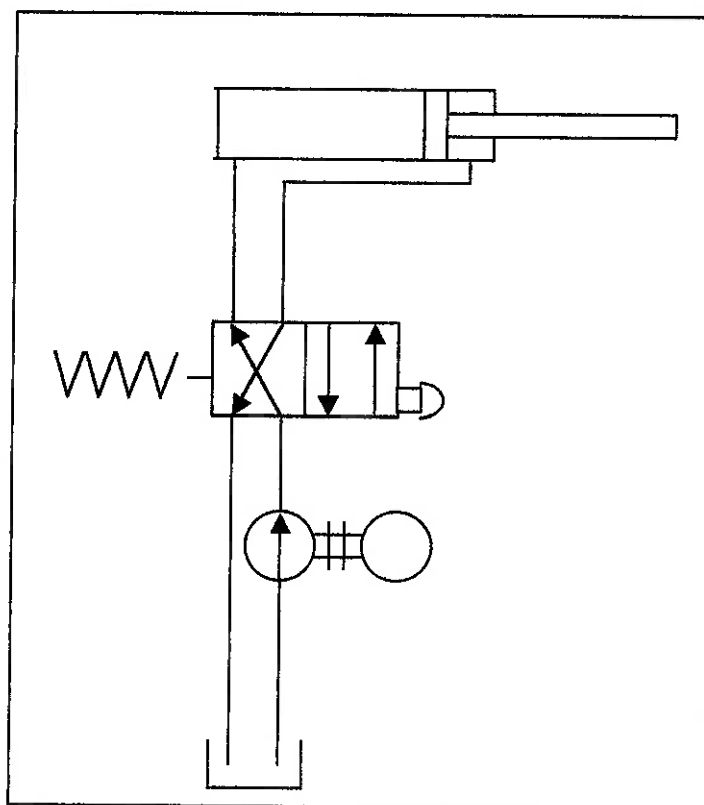


Figura 6 : esquema pneumático

Na figura acima, o botão comanda a válvula, que faz com que o pistão recue, dobrando a chapa.

5 – Construção da máquina

Para a construção da máquina, dividiu-se o projeto em 4 partes distintas para obter os equipamentos necessários:

- Parte pneumática;
- Dispositivo de dobra;
- Motor e carrinho da garra;
- Acionamento dos comandos dos pistões e do motor;

O dispositivo de dobra foi feito conectando-se um pistão pneumático através de uma corrente numa catraca ligada à ferramenta que faz a dobra da chapa (figura 7).

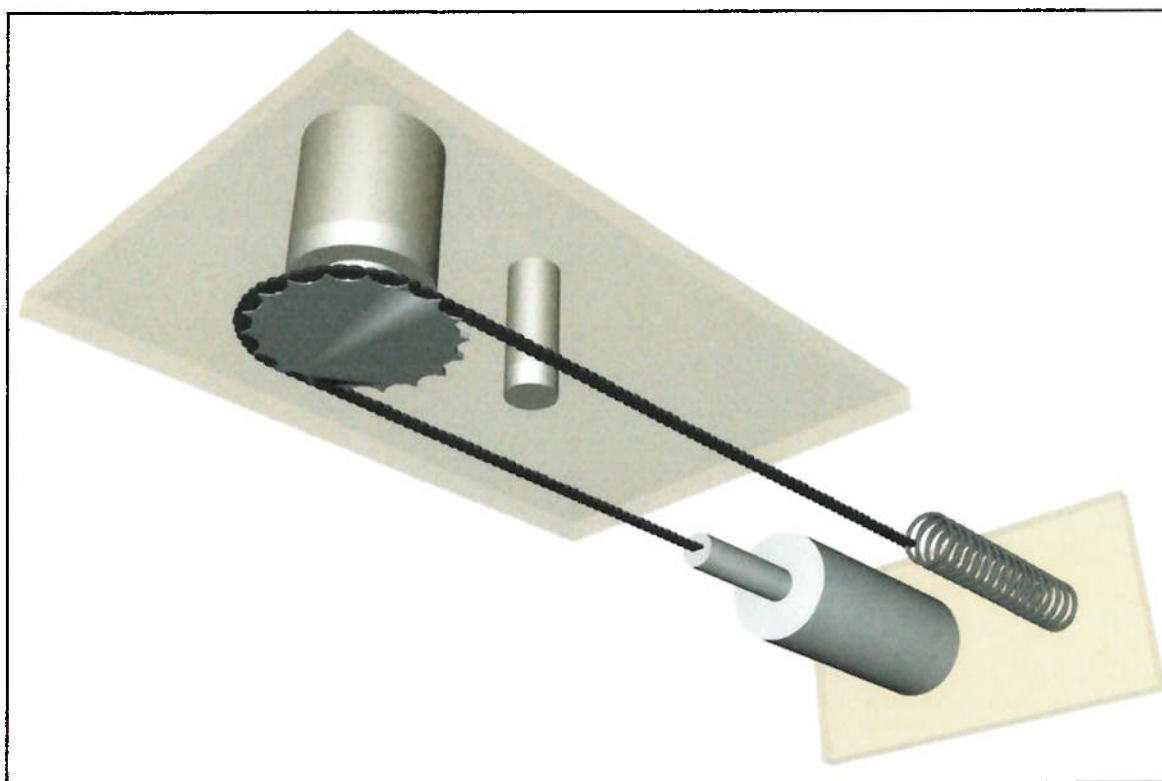


Figura 7 :conexão do pistão no dispositivo de dobra

A garra foi feita através de um sistema pneumático com dois pistões e duas válvulas.

Para o motor e o carrinho da garra utilizou-se o equipamento do laboratório de microprocessadores encontrado na sala TS-02 do departamento de engenharia mecânica da USP.

A princípio, foi pensado em utilizar uma unidade PLC para comandar o processo inteiro. Foi feita uma visita à companhia FESTO, para conseguir emprestado alguns equipamentos necessários, como o PLC, porém após várias tentativas não houve um acordo, e não foi possível a utilização de nenhum equipamento da companhia. Um contato com a empresa alemã Siemens foi feito na tentativa de se emprestar uma unidade PLC, porém sem sucesso. Também foi feita uma visita ao ITBA (Instituto de Tecnologia Brasil-Alemanha), para o empréstimo de uma unidade de PLC, porém sob a condição de que o equipamento só poderia ser utilizado dentro das instalações do instituto. Como o equipamento utilizado do Laboratório de Microprocessadores também não pode ser utilizado fora de sua sala, não pôde ser utilizado esse equipamento gentilmente oferecido pelo ITBA.

Então, como não foi possível a utilização de um PLC para o controle do processo inteiro, o acionamento das válvulas pneumáticas e do motor do carrinho da garra, ficou sendo manual.

6 – Software

O programa comandará o carrinho da garra por todo o processo, desde a alimentação até a saída da chapa dobrada. O programa foi implementado na linguagem C, tendo como base o equipamento utilizado na disciplina PMC-417(Laboratório de Microprocessadores), ministrada no curso de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Segue abaixo a listagem do programa:

```
#include "c:\mc85\8085io.h"
#include "c:\mc85\8085int.h"

int tec1;      /* tecla */
int m;         /* modo */
int s;         /* sensor */

/*****
/***** LE TECLA DO DISPLAY *****/
/*****/

int Tecla()
{
    int valor;
    valor = in(0xe8);
    return valor;
}
```



```

/*****/
/***** VERIFICA DISPLAY *****/
/*****/

ver()
{ while ( in(0xe1) & 0x80 ); }

/*****/
/***** INICIALIZA DISPLAY *****/
/*****/

ini_D()
{
    ver();
    out(0xe0,0x01);
    ver();
    out(0xe0,0x02);
    ver();
    out(0xe0,0x0f);
    ver();
    out(0xe0,0x3f);
}

/*****/
/***** INICIALIZA SENSOR *****/
/*****/

ini_S()
{ out(0xc3,0x90); }
```

```
/*  
*****  
***** CONVERTE DADO DO SENSOR *****  
*****
```

```
Dado_sensor()  
{ s = in(0xc0) % 16; }
```

```
/*  
*****  
***** ESCREVE NO DISPLAY *****  
*****
```

```
char_D(char c)  
{ out(0xe2,c); }
```

```
/*  
*****  
***** ESCREVE PALAVRA NO DISPLAY *****  
*****
```

```
escrev_disp(char string[])  
{  
    int i;  
    for(i = 0; string[i] != '0'; i++)  
    {  
        ver();  
        char_D(string[i]);  
    }  
}
```

```
/*  
*****  
***** VERIFICA TIMER *****  
*****
```

```
int ver_T()
{
    int k, j;
    disable();
    out(0xd7,0x80);
    k = in(0xd6); /* menos significativos */
    k = in(0xd6); /* mais significativos */
    enable();
    if ( !(k == 0 && j == 0) && !(k <= 0xff && k >= 0xaa && j == 0xff))
        return(0);
    else
        return(1);
}

/*****
/***** INICIALIZA MOTOR *****/
/*****/

ini_M()
{
    out(0xd0,0x06);      /* palavra de controle */
    out(0xd7,0x36);      /* timer 0 */
    out(0xd7,0x76);      /* timer 1 */
    out(0xd7,0xba);      /* timer 2 */

    out(0xd4,0x80);
    out(0xd4,0x06);
}
```

```
/*  
***** VELOCIDADE DO MOTOR *****  
*/
```

```
V_M(int ma,int me)  
{  
    out(0xd5,me);  
    out(0xd5,ma);  
}
```

```
/*  
***** PASSOS DO MOTOR *****  
*/
```

```
Passo_M(int ma, int me)  
{  
    out(0xd6,me);  
    out(0xd6,ma);  
}
```

```
/*  
***** MOVIMENTA MOTOR *****  
*/
```

```
Mov_M(int vma, int vme, int ini, int sent)  
{  
    V_M(vma,vme);  
    out(0xd0,ini);  
    out(0xd0,sent);  
}
```

```

/*****
/***** INICIALIZA INTERRUPTAO *****/
*****/

void Ini_Inter()
{
    disable();
    asm                      /*codigo assembler*/
    {
        mvi A,$0D
        sim
    }

    out(0xc7,0x36);

    out(0xc4,0x00);    /* modo 2 */
    out(0xc4,0x0c);
    out(0xc7,0x74);

    out(0xc5,0x64);    /* modo 3 */
    out(0xc5,0x00);

    enable();
}

/*****
/***** INTERRUPTAO *****/
*****/

INTERRUPT(32820) Interrupcao65()
{

```

```
int i;
tec1 = Tecla();
if(tec1 == 0x08 || tec1 == 0x10 || tec1 == 0x80 || tec1==0x01 )
m = tec1;
Dado_sensor();
for(i = 0; i < 300; i++);
}

/*****
/***** MODO OPERACIONAL *****/
/*****/

Auto()
{

ini_D();
disable();
escrev_disp("Maquina operando    0");
out(0xe0,0xc0);

ini_M();
ini_S();

/*comando de acionamento da garra*/

while (s != 0xb)
{
Mov_M(0x00,0x06,0x16,0x1e);
Dado_sensor();
}
```

```
/* comando de acionamento da garra e do dispositivo para fazer a dobra*/
```

```
while (m!=0x01){  
    disable();  
    escrev_disp("Tecle D0 p/ continuar    0");  
}  
while (s != 0xd)  
{  
    Dado_sensor();  
    Mov_M(0x00,0x06,0x16,0x1e);  
}
```

```
/*comando de acionamento da garra*/
```

```
while (m!=0x01){  
    disable();  
    escrev_disp("Tecle D0 p/ continuar    0");  
}
```

```
out(0xd0,0x12);
```

```
out(0xe0,0xc0);
```

```
while (s != 0x7)
```

```
{  
    Dado_sensor();  
    Mov_M(0x00,0x06,0x96,0x9e);  
}
```

```
out(0xd0,0x12);
```

```
}
```

```

/*****/
/***** POSICIONAR *****/
/*****/

Posicionar()
{
    m=0;
    ini_D();
    disable();
    escrev_disp("posicionando 0");
    enable();
    ini_M();
    V_M(0x00,0x08);
    Passo_M(0x4e,0x20);
    while(m != 0x80)
    {

        disable();
        while (s != 0x7)
        {
            Dado_sensor();
            Mov_M(0x00,0x06,0x96,0x9e);
        }
        /*comando de acionamento da garra*/
    }
}

/*****/
/***** FUNCAO PRINCIPAL *****/
/*****/
```



```
main()
{
    s=0; /*inicializa variavel global que armazena estado dos sensores.*/
    tec1=0; /*inicializa variavel global que armazena tecla pressionada.*/
    m=0; /*inicializa variavel global que armazena modo de op. atual.*/
    ini_S();          /*Inicializa sensor.*/
    ini_D();          /*Inicializa display alfanumerico.*/

    printf("\n PMC 580 - Projeto Mecânico I");
    printf("\n Fábio Tazinazo");
    printf("\n Omar Gasparini Orra\n");
    printf("\n*****DOBRAMENTO DA CHAPA*****\n");
    printf("\n Modo Operacional : D4");
    printf("\n Modo Manual : D3");
    printf("\n Desligar Máquina : D7");
    printf("\n Ir para próximo passo da operação : D0");
    printf("\n");

    Ini_Inter();

    while(tec1 != 0x80)
    {
        enable();
        while(m == 0);
        switch(m)
        {
            case 0x10:
            {
                disable();
                escrev_disp("Maquina operando    0");
                enable();
            }
        }
    }
}
```

```
        Auto();
        m = 0;
    } break;

    case 0x08:
    {
        disable();
        enable();
        Posicionar();
        m = 0;
    }break;
    }
    ini_D();
}

escrev_disp("Máquina desligada  0") ;
disable() ;
ini_D();
}
```

7 – Bibliografia

Shigley, Joseph Edward, Mischke, Charles R., Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill, 5ª edição