

PROJETO DE AUTOMAÇÃO DA LINHA DE CORTE TRANSVERSAL DA EMPRESA SECADOR MACIESKI E ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS GERADOS COM A SUA IMPLANTAÇÃO

Mateus Orben¹

Prof. Me. Reinaldo Fernandes²

Resumo: Este artigo descreve os procedimentos empregados para desenvolver e implantar um sistema de automação da linha de corte transversal da empresa metalúrgica Secador Macieski, utilizando sistema embarcado, com o objetivo de analisar a viabilidade técnica e econômica e os benefícios gerados com a implantação do projeto desenvolvido. Para tanto, o método de pesquisa utilizado, de forma preponderante, foi o estudo de caso. Após a execução do projeto e análise comparativa dos tempos de corte e da precisão das medições das chapas de aço cortadas pelo método antigo e pelo automático, ficou evidenciado no estudo que a implantação do projeto é viável técnica e economicamente e ofereceu muitos benefícios à empresa detentora do equipamento, pois aumentou a capacidade de produção com a redução do tempo de corte, gerando economia de tempo e de mão-de-obra e aumento do lucro. Além disso, a automação da linha de corte transversal possibilitou uma maior uniformização da produção e, conseqüentemente, melhora na qualidade das chapas de aço e redução do retrabalho e dos prejuízos até então sofridos com perdas e refugos. Os trabalhadores da empresa também foram beneficiados, pois a instalação do novo painel elétrico eliminou o risco à integridade física do operador da linha de corte transversal provocado pela necessidade de medição manual e de proximidade com a guilhotina. Por fim, constatou-se que o custo para implantação do projeto é baixo quando comparado aos benefícios proporcionados.

Palavras-chaves: Linha de corte transversal. Microcontrolador. Encoder incremental. Arduino Mega. Automação industrial.

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que o uso da automação, quando implantada adequadamente, pode trazer benefícios às indústrias, tais como aumento da produtividade, qualidade dos produtos, da segurança e da lucratividade.

Tendo em vista que o setor de corte e dobra da Secador Macieski, empresa metalúrgica localizada no município de Braço do Norte, Santa Catarina, não conta

Graduando em Engenharia Elétrica. E-mail: mateusorben@hotmail.com

² Prof. Me. Reinaldo Fernandes. E-mail: reinaldo.fernandes@satc.edu.br

com automação em sua linha de corte transversal, que é bastante antiga, ineficiente e oferece riscos à integridade física dos operadores, projetou-se um sistema de automação dessa linha com a utilização do sistema embarcado.

Dessa forma, se o projeto de automação da linha de corte transversal desenvolvido é técnica e economicamente viável e trará benefícios a essa empresa metalúrgica, é a principal questão que este trabalho buscará responder.

A escolha do assunto estudado decorre de um anseio pela efetivação e concretização de um projeto de automação com baixo custo, pois os principais fabricantes de linha de corte transversal utilizam equipamentos de custo elevado, como CLP (Controlador Lógico Programável), computador para controle e servo motor nos rolos alimentadores.

Em razão disso, as pequenas empresas, como a Secador Macieski, que não dispõem de recursos financeiros para aquisição desses equipamentos, são privadas dos benefícios que a automação industrial oferece e impossibilitadas de aumentar a eficiência e a qualidade do seu processo de produção.

Além da importância para as empresas que utilizam linha de corte transversal, os resultados obtidos no trabalho terão aplicabilidade prática para os engenheiros eletricitas, pois o estudo trata de elementos de grande utilização no cotidiano desses profissionais e atuará como uma ferramenta de consulta e possibilitará uma melhor compreensão a respeito dos problemas analisados e de suas possíveis soluções.

O estudo também possui relevância teórica e científica, pois como os autores lidos no estudo bibliográfico não realizaram a mesma abordagem, com a finalidade do projeto desenvolvido, os resultados obtidos com o trabalho serão mais uma oportunidade de conhecimento no meio acadêmico.

Em síntese, na busca para tornar mais efetivo um equipamento de grande aplicação no meio industrial, evidenciados estão os benefícios a serem gerados pelo trabalho.

O objetivo geral do estudo é projetar um sistema de automação da linha de corte transversal de chapas de aço da empresa Secador Macieski, utilizando sistema embarcado, e analisar os benefícios gerados com a sua implantação.

Os objetivos específicos consistem em: construir um novo painel elétrico para a linha de corte transversal; programar o Arduino Mega 2560 para controlar o equipamento; instalar os dispositivos necessários para a implantação do projeto;

descrever as atividades realizadas, os materiais empregados e o custo para a implantação do projeto desenvolvido e constatar os benefícios gerados com a sua concretização, por meio da análise comparativa dos tempos de corte e da precisão das medições das chapas de aço pelo método antigo e pelo automático.

O método de pesquisa utilizado para a realização do trabalho, de forma preponderante, foi o estudo de caso.

As seções subsequentes trazem conceitos teóricos a respeito do assunto estudado, descrevem os procedimentos empregados, a metodologia e equipamentos utilizados para concretização do projeto, os resultados obtidos com a sua implantação e as considerações finais acerca do trabalho realizado.

2 CONCEITUAÇÃO TÉCNICA DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

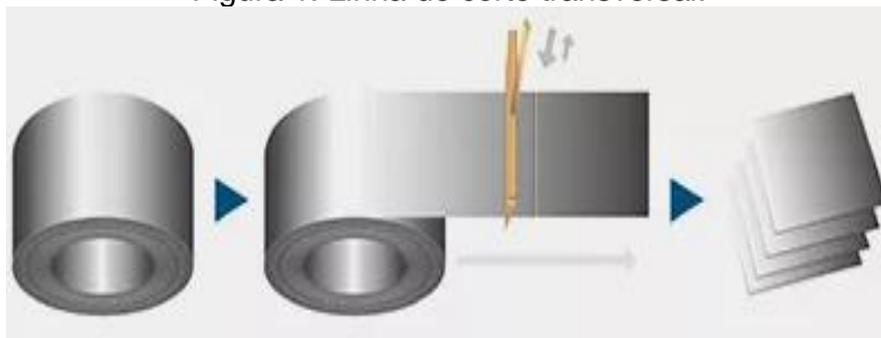
Esta seção decorre de uma revisão bibliográfica que objetiva esclarecer conceitos técnicos e teóricos acerca dos equipamentos utilizados no projeto, para possibilitar que o leitor obtenha uma melhor compreensão do trabalho.

2.1 LINHA DE CORTE TRANSVERSAL

A linha de corte transversal é um equipamento desenvolvido para o processamento de bobinas de chapas, que, a partir de uma bobina mãe, corta formatos retangulares de chapas em diferentes tamanhos [1].

A Fig. 1 apresenta um desenho representativo de uma linha de corte transversal.

Figura 1: Linha de corte transversal.



Fonte: Adaptado de [2]

A linha de corte transversal escolhida para o projeto de automação operava de forma manual, o que a tornava ineficiente, pois o tempo para realização dos trabalhos era muito elevado.

2.2 ARDUINO MEGA

O Arduino Mega é uma placa eletrônica que possui um microcontrolador ATMEGA 2560, 54 pinos de entradas/saídas digitais, 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas seriais de *hardware*), 256 KB de memória flash para armazenamento de código, 8 KB de SRAM e 4 KB de EEPROM, um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB usada para carregar o *firmware*, uma entrada de alimentação e um botão de *reset* [3].

A Fig. 2 apresenta o Arduino Mega 2560.

Figura 2: Arduino Mega 2560.



Fonte: Adaptado de [3]

O Arduino Mega 2560 foi escolhido para o projeto devido ao número de pinos que possui, pois serão necessários muitos deles para instalação de display LCD, botões, fins de curso, relés e encoder no novo equipamento,

Além disso, o *software* de programação Arduino IDE livre e a facilidade de carregamento do *firmware* são fatores que contribuíram para a sua escolha.

2.3 LCD 16X2

O LCD (*Liquid Crystal Display*) é um display de cristal líquido que torna mais interativo e de fácil operação os equipamentos eletrônicos, pois consegue gerar letras, números e caracteres especiais [4].

O LCD 16x2 possui memória RAM e duas linhas com 16 caracteres cada [4]. A Fig. 3 apresenta o display LCD 16x2.

Figura 3: Display LCD 16x2.



Fonte: Adaptado de [5]

O LCD utiliza um controlador embutido para facilitar o interfaceamento do display com outros dispositivos, mas é o Arduino Mega que controla e envia todos os caracteres necessários para que os dados se mantenham atualizados [5].

O LCD utilizado no projeto tem a função de mostrar as variáveis e os *setpoints* de comprimento e quantidade.

2.4 BOTÕES

Os botões são dispositivos de acionamento manual que possuem a função de interromper, iniciar ou comandar um processo de automação por pulso elétrico de baixa corrente [6].

Os botões utilizados no trabalho são do tipo *pushbutton*, funcionam por pressão e são responsáveis em ligar e desligar o equipamento, modificar variáveis do processo e controlar a linha de corte transversal no modo manual.

2.5 RELÉ

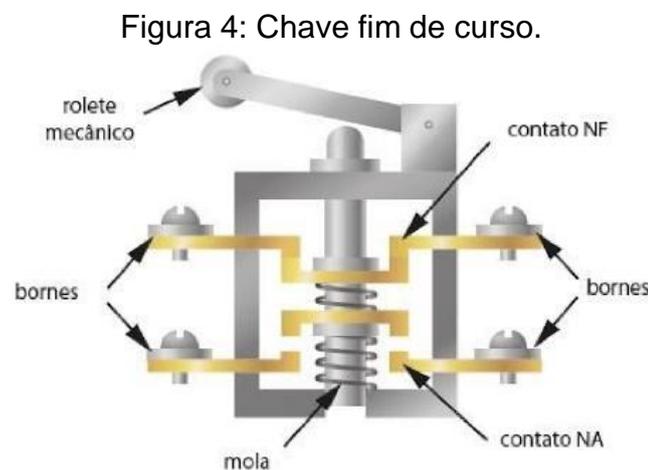
O relé é um dispositivo comutador eletromecânico que possui um eletroímã posicionado próximo a uma armadura móvel de metal ferroso, que tem por finalidade controlar um jogo de contatos. Quando a bobina é percorrida por uma corrente elétrica, um campo magnético é criado e atua sobre a armadura causando sua atração e o fechamento do contato [7].

Controlados pelo Arduino Mega, os relés são utilizados no projeto para acionar a guilhotina e as entradas digitais do inversor de frequência.

2.6 CHAVE FIM DE CURSO

As chaves fim de curso são projetadas para operar apenas quando um limite predeterminado é alcançado e costumam ser acionadas pelo contato com um objeto, como um ressalto. Elas tomam o lugar dos operadores humanos nos circuitos de acionamento de processos de máquinas [8].

Conforme demonstra a Fig. 4, as chaves fim de curso são constituídas de duas partes principais: o corpo e a cabeça do operador (também chamada de atuador). No corpo da chave, estão embutidos os contatos, que são abertos ou fechados em resposta ao movimento do atuador [8].



Fonte: Adaptado de [9]

Por serem dispositivos robustos, as chaves fim de curso podem ser utilizadas em ambientes industriais e até mesmo para garantir a segurança das máquinas [9].

2.7 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Utilizado para controlar a velocidade dos motores de indução, o inversor de frequência possui um acionamento flexível com entrada monofásica ou trifásica e saída composta por um conjunto trifásico de tensão com frequência variável pelo uso de técnicas de modulação de largura de pulso [10].

Fig.5 apresenta o inversor de frequência utilizado no projeto.

Figura 5: Inversor de frequência CFW 100.



Fonte: Adaptado de [11]

A frequência de saída do acionamento pode ser controlada de forma manual no próprio gabinete do inversor ou de modo remoto por um sinal externo. A capacidade de ajuste da frequência do acionamento em resposta a algum sinal externo é muito importante, porque permite que um computador ou um controlador de processo externo possa controlar a velocidade do motor de acordo com as necessidades da planta em que ele está instalado [10].

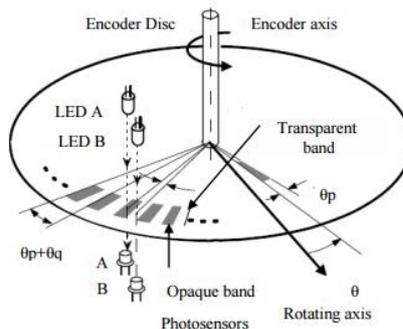
Além disso, o inversor de frequência possui ajuste de rampa de aceleração e desaceleração independente e proteção do motor que ele controla, o que permite a detecção de anormalidades como corrente excessiva, sobretensão ou subtensão [10].

2.8 ENCODER INCREMENTAL

O encoder incremental é o transdutor de trem de pulso mais simples, tem como saída uma série de pulsos quadrados gerados por um disco de código consistente em linhas radiais escuras, transparentes e espaçadas que se movem diante de uma fonte de luz [12].

O encoder incremental converte a rotação do eixo em pulsos elétricos. Conectado ao eixo, há um disco rotativo de zonas transparentes e opacas que pode modular o feixe de luz emitido por uma fonte de luz, como pode ser visualizado na Fig.6 [12].

Figura 6: Princípio de construção do codificador óptico incremental.



Fonte: Adaptado de [12]

O feixe de luz modulado pode ser processado por um circuito eletrônico de sensores opto-eletrônicos e os sinais gerados pelo codificador podem ser caracterizados por dois parâmetros de pulso: a largura do pulso e o número de pulsos [12].

O encoder incremental é capaz de fornecer parâmetros como distância, direção e velocidade e pode ser utilizado como *feedback* no controle do processo de máquinas [12].

3 ANÁLISE DOS DADOS

Esta seção analisará os dados coletados para viabilizar a conclusão do trabalho realizado.

3.1 SECADOR MACIESKI

A metalúrgica Secador Macieski, localizada no município de Braço do Norte, Santa Catarina, produz equipamentos destinados ao atendimento do mercado agrícola [13].

A empresa produz e distribui equipamentos robustos e de boa qualidade para clientes em todo o território nacional e exporta para os países do Mercosul [13].

O produto principal dessa metalúrgica é o secador de grãos, criado a partir de um protótipo desenvolvido pela própria empresa para secagem de milho e feijão e que também obteve grande aceitação no mercado de café [13].

No processo de produção dos equipamentos que comercializa, a metalúrgica necessita utilizar pedaços retangulares de chapas de aço de diferentes tamanhos e com tolerância de 5 mm de comprimento.

Para obter essas chapas, a empresa adquire bobinas de aço com espessura de 0.5 mm a 0.7 mm, largura de 600 a 1200 mm e peso que pode chegar a oito toneladas, as quais são cortadas em pedaços retangulares por uma linha de corte transversal que se encontra instalada no setor de corte e dobra.

3.2 FORMA DE OPERAÇÃO DA LINHA DE CORTE TRANSVERSAL DA EMPRESA SECADOR MACIESKI ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO PROJETO DESENVOLVIDO

A linha de corte transversal da empresa Secador Macieski possui uma desbobinadeira, um guia linear, dois rolos de alimentação, uma guilhotina mecânica e um painel elétrico.

A desbobinadeira possui um eixo móvel com rolamentos e funciona como base para desenrolar a bobina.

O guia linear direciona a bobina em um alimentador formado por dois rolos emborrachados acoplados a um redutor de 1/60 com um motor de 2 cv e 4 polos. Esse motor é controlado pelo inversor de frequência CFW 100 da WEG.

A Fig. 7 apresenta a linha de corte transversal da empresa Secador Macieski.

Figura 7: Linha de corte transversal da empresa Secador Macieski.



Fonte: Do autor (2018)

Antes da melhoria realizada, para ligar, desligar e escolher o sentido de giro do motor dessa linha de corte transversal, o operador da máquina utilizava os dois botões do painel elétrico ligados nas entradas digitais do inversor e, com uma trena, realizava as medições até conseguir colocar a chapa de aço no lugar desejado, para, em seguida, acionar o pedal da guilhotina mecânica e cortar a chapa.

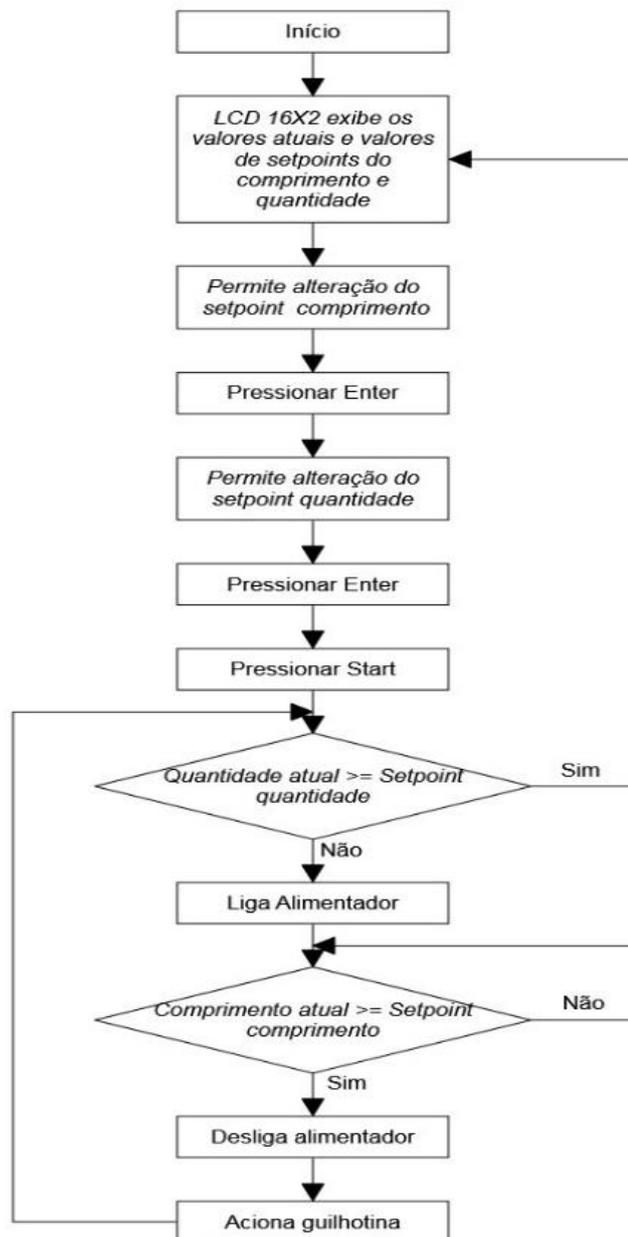
Esse processo manual demandava muito tempo, pois eram necessárias várias manobras ligando, desligando e invertendo o sentido de giro do motor até conseguir ajustar o tamanho ideal para o corte.

3.3 DISPOSITIVO PROJETADO

Por meio deste estudo, elaborou-se um painel elétrico para substituir o utilizado na linha de corte transversal da Secador Macieski, a fim de que o operador desta máquina não necessite permanecer ajustando o tamanho da chapa de aço com os botões e a trena e não precise acionar a guilhotina de forma manual, pois o equipamento realizará esse processo automaticamente.

O diagrama do funcionamento da máquina é apresentado na Fig. 8.

Figura 8: Diagrama do funcionamento da máquina.



Fonte: Do autor (2018)

Dessa forma, com a melhoria realizada, o operador necessita apenas programar o tamanho e a quantidade de chapas de aço a serem cortadas.

A Fig. 9 apresenta o painel elétrico projetado.

Figura 9: Painel elétrico projetado.



Fonte: Do autor (2018)

O painel elétrico construído tem um sistema embarcado controlado por um microcontrolador Atmega 2560 e possui duas interfaces do utilizador: um teclado e um display LCD 16x2.

3.4 PROCEDIMENTOS EMPREGADOS E EQUIPAMENTOS INSTALADOS PARA CONCRETIZAÇÃO DO PROJETO

Dispositivos como fins de curso, encoder e relés fazem parte do sistema embarcado e foram implementados para criar um equipamento com nível de automação capaz de melhorar a qualidade das chapas, diminuir o tempo de corte e aumentar a segurança do equipamento, conforme será detalhadamente descrito a seguir.

3.4.1 *Hardware* do painel elétrico

O *hardware* do painel elétrico é controlado por um Arduino Mega e foi programado em C++ com utilização do *software* Arduino Versão 1.8.2.

Para a interface do utilizador, o sistema possui um display LCD 16x2 que mostra os *setpoints* de tamanho e quantidade das chapas de aço a serem cortadas. A tela do equipamento também exibe a quantidade de chapas de aço concluídas e informa o aumento do comprimento da chapa a ser cortada.

O sistema instalado possui nove botões com as funções de: ligar a máquina no modo automático (start); desligar o equipamento (stop); zerar as variáveis de comprimento e quantidade atual (zera); incrementar os *setpoints* de comprimento e quantidade (mais); decrementar os *setpoints* de comprimento e quantidade (menos); gravar os *setpoints* de comprimento e quantidade (enter); acionar a guilhotina (faca manual); ligar o alimentador no sentido horário (giro horário); ligar o alimentador no sentido anti-horário (giro anti-horário).

A Fig. 10 apresenta a placa eletrônica fabricada:

Figura 10: Placa eletrônica.



Fonte: Do autor (2018)

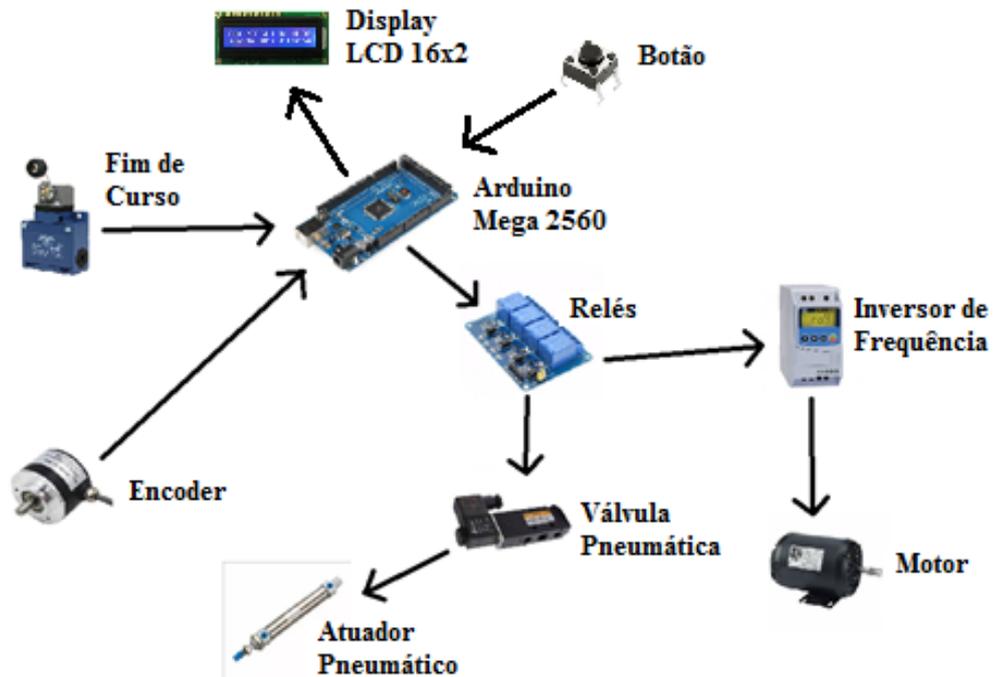
Os relés da placa eletrônica controlados pelo microcontrolador comandam o inversor de frequência e a válvula pneumática.

Foram instalados dois fins de curso na guilhotina: um para evitar conflitos entre o alimentador e a guilhotina e outro para incrementar a variável quantidade de chapas, zerar a variável tamanho e indicar que a chapa foi cortada.

O encoder incremental é responsável em verificar o tamanho da chapa, pois os seus sinais em quadratura são enviados ao microcontrolador que os transforma em comprimento.

A Fig. 11 apresenta os dispositivos do sistema.

Figura 11: Dispositivos do sistema.



Fonte: Do autor (2018)

O inversor controla o motor de 2 cv e a válvula o atuador pneumático responsável pelo acionamento da guilhotina.

3.4.2 Novo acionamento do alimentador

O redutor, o motor e o inversor foram mantidos, mas a programação do inversor foi alterada, porque o parâmetro referência de velocidade foi modificado para *multispeed*, o qual permite a programação de oito níveis de velocidade por meio da combinação de três entradas digitais.

Para realizar as três combinações, foram utilizados três relés controlados pelo microcontrolador. A primeira combinação é referente à frequência de 30 Hz, utilizada no modo automático e no pulso manual com sentido horário; a segunda é a frequência de 3 Hz, utilizada para diminuir a velocidade do motor quando a chapa aproxima-se do ponto de corte e a terceira é a frequência de -30 Hz, utilizada no pulso manual com sentido anti-horário.

De acordo com o comando dado pelo operador por meio dos botões do painel ou no modo automático, o microcontrolador controlará o motor que gira os rolos de alimentação da máquina.

3.4.3 Automação da guilhotina

Quando a chapa alcança o ponto de corte, o microcontrolador desliga o alimentador e liga o relé da válvula direcional de cinco vias e duas posições com retorno por mola.

A válvula, quando energizada, aciona o atuador pneumático responsável em acionar o pedal da guilhotina.

A guilhotina, por sua vez, corta a chapa em um só movimento.

Após a chapa ser cortada, o relé será imediatamente desligado para evitar golpes desnecessários da guilhotina.

A Fig. 12 apresenta a válvula direcional e o atuador instalados na linha de corte transversal.

Figura 12: Válvula e atuador pneumático.



Fonte: Do autor (2018)

3.4.4 Instalação dos fins de curso

Dois fins de curso do tipo NA (normalmente aberto) também foram instalados: um na parte superior da guilhotina, para garantir que ela e o alimentador

não sejam acionadas ao mesmo tempo e outro na parte inferior, para ser acionado no momento do corte e incrementar a variável quantidade de chapas cortadas, zerar o tamanho atual da chapa e garantir que a guilhotina não seja acionada mais de uma vez.

3.4.5 Instalação do encoder incremental

Para realizar a medição do tamanho da chapa de aço, instalou-se o encoder LPD3806 de 400 pulsos de dois canais e um disco emborrachado de diâmetro de 107,25 mm acoplado ao seu eixo, que podem ser visualizados na Fig.13.

Figura 13: Encoder instalado no equipamento.



Fonte: Do autor (2018)

Conforme demonstra a Fig. 13, instalou-se o disco na parte superior da chapa, logo após os rolos de alimentação. Com o movimento da chapa, o disco se move e envia sinais em quadratura para o microcontrolador, o qual interpreta os sinais, transformando-os em comprimento.

Além disso, para que nenhum sinal do encoder seja perdido no momento da medição da chapa, a rotina de interrupção externa do microcontrolador é acionada sempre que o pino acoplado ao canal A do encoder muda de estado.

Com uma volta completa, os canais do encoder mudam de estado 800 vezes e cada mudança equivale a 0,4201 mm. O incremento ou decremento da variável comprimento depende do sentido de giro do motor.

Por uma lógica de comparação realizada no *software* entre o canal A e o canal B, que possuem o sinal defasado entre si em 90 graus, o microcontrolador identifica o sentido de giro do alimentador.

Quando o equipamento está ligado no modo automático, a variável comprimento é incrementada e constantemente comparada ao *setpoint* comprimento.

Se a variável comprimento se tornar igual ou maior que o valor de *setpoint*, o motor do alimentador é desligado para dar sequência ao corte da chapa.

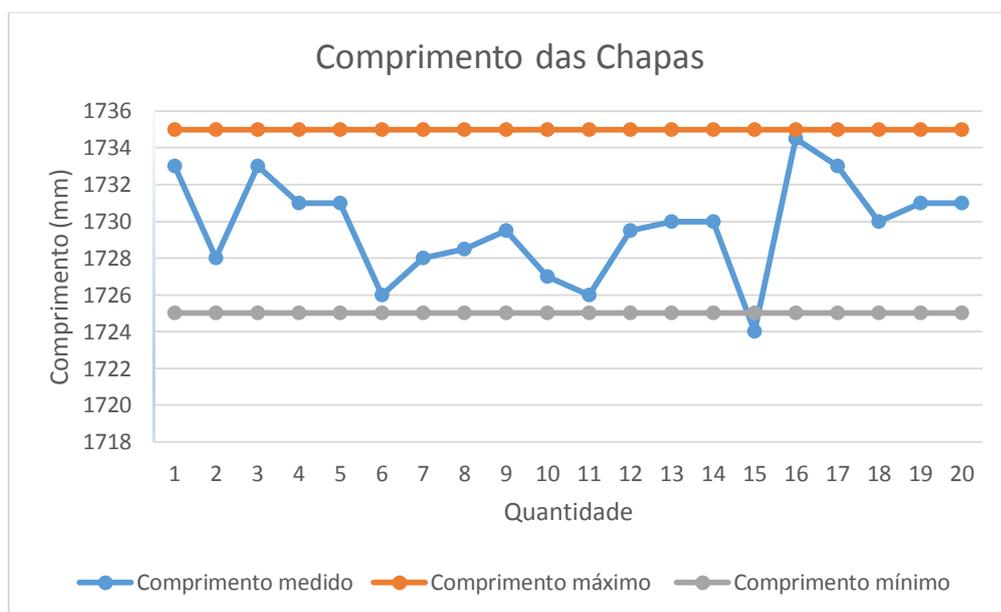
3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS COM A IMPLANTAÇÃO DO PROJETO

3.5.1 Precisão de medidas

A fim de verificar a precisão do equipamento em relação à medição das chapas de aço, comparou-se a variação das medidas encontradas em vinte chapas cortadas pelo método antigo (manual) e no mesmo número delas cortadas com o novo sistema instalado.

A Fig. 14 demonstra a variação de medidas encontradas em vinte chapas cortadas pelo método antigo (manual).

Figura 14: Gráfico com as medidas das chapas cortadas com o equipamento sem o sistema embarcado.

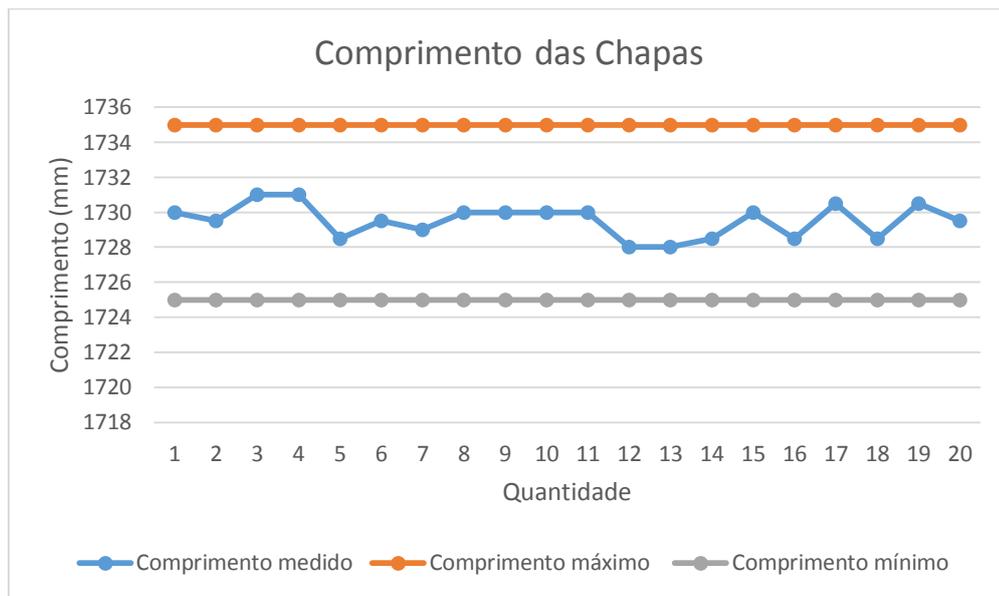


Fonte: Do autor (2018)

Conforme se verifica pela análise da Fig. 17, a variação das medidas das vinte chapas de aço cortadas pelo método antigo foi de 10 mm.

Já a variação das medidas das vinte chapas de aço cortadas após a instalação do sistema embarcado, consoante demonstra a Fig. 15, foi de apenas 3 mm.

Figura 15: Gráfico das chapas cortadas com o sistema embarcado instalado.



Fonte: Do autor (2018)

Dessa forma, constatou-se que a variação do comprimento das chapas de aço cortadas pelo método antigo é significativamente maior do que a apresentada após a instalação do equipamento projetado.

Além disso, a análise da Fig. 15 permite concluir que o encoder apresentou uma resolução bem adequada, pois as chapas cortadas no modo automático ficaram dentro da tolerância permitida.

Sabe-se que as chapas cortadas com comprimento superior ao limite de tolerância são encaminhadas novamente para a linha de corte para correção e que aquelas que apresentam comprimento inferior ao devido não poderão mais ser utilizadas para a finalidade a que se destinavam e têm que ser cortadas novamente em tamanhos menores.

Portanto, quanto mais falhas ocorrem na medição das chapas de aço, mais retalhos do material são descartados, mais retrabalho é exigido do operador

responsável e, conseqüentemente, mais custos e prejuízos são arcados pela empresa.

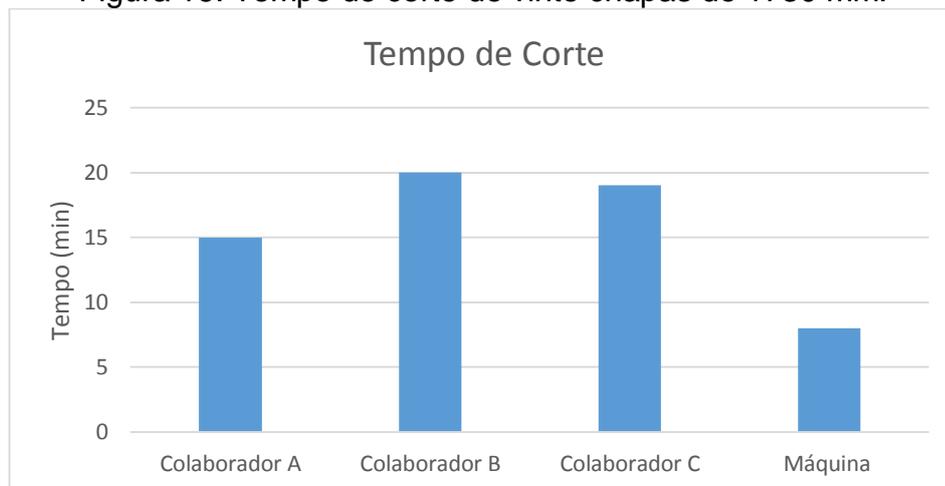
Assim, constatou-se que a precisão das medidas obtida com a implantação do projeto trouxe benefícios econômicos à empresa.

3.5.2 Produtividade

Além da precisão no momento de medir as chapas de aço, comparou-se o tempo demandado para o corte delas pelo modo manual de trabalho e pelo automático.

O gráfico apresentado na Fig. 16 representa o tempo aproximado que três colaboradores levavam para cortar vinte chapas de 1730 mm de forma manual e o tempo que a máquina leva para cortar o mesmo número delas automaticamente.

Figura 16: Tempo de corte de vinte chapas de 1730 mm.



Fonte: Do autor (2018)

Consoante demonstra a Fig. 16, o colaborador mais eficiente precisou de quinze minutos para cortar as vinte chapas pelo modo antigo, enquanto o equipamento automatizado realizou esse mesmo trabalho em apenas oito minutos.

Dessa forma, em um dia de trabalho com jornada de 9 horas, o operador mais experiente da empresa consegue cortar 720 chapas de 1730mm, enquanto a máquina no modo automático consegue cortar 1350 chapas do mesmo comprimento.

Portanto, verificou-se que a instalação do novo equipamento reduziu em, pelo menos, 46,66% o tempo de corte das chapas, gerando economia de tempo e de mão-de-obra e, conseqüentemente, aumento de lucro para a empresa.

3.5.3 Segurança

Verificou-se, também, que a instalação do equipamento trouxe mais segurança aos funcionários da empresa Secador Macieski, pois, antes da melhoria, o operador da linha de corte transversal precisava colocar as mãos próximas aos rolos de alimentação para medir as chapas de aço, o que deixava o equipamento muito perigoso.

Com o novo painel elétrico, esse risco à integridade física do operador deixou de existir, pois não é mais necessária a medição manual, já que o processo passou a ser automático.

Além disso, o colaborador também não necessita mais ficar próximo da guilhotina, pois a guilhotina é automática e no modo manual o acionamento é realizado por um botão instalado no painel elétrico.

3.5.4 Custo dos materiais utilizados para implantação do projeto

A Tab. 1 demonstra a lista dos materiais utilizados no trabalho, o valor de cada um deles e o custo total da implantação do projeto.

Tabela 1: Custo da implantação do projeto.

Produtos	Quantidade	Valor
Arduino Mega	1	R\$ 54,90
Módulo 4 relés	1	R\$ 21,90
Display LCD 16x2	1	R\$ 22,90
Fim de curso	2	R\$ 16,00
Encoder LPD3806	1	R\$ 129,00
Placa eletrônica	1	R\$ 60,00
Atuador pneumático	1	R\$ 102,00
Válvula pneumática	1	R\$ 52,00
Fonte 12 DC 35 Watts	1	R\$ 17,00
Total		R\$ 475,70

Fonte: Do autor (2018)

Conforme valores especificados na Tab. 1, para a implantação das melhorias descritas, foram gastos R\$ 475,70 (quatrocentos e setenta e cinco reais e setenta centavos) ou seja, o custo da implantação do projeto revelou-se baixo quando comparado aos benefícios proporcionados.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista que a automação dos processos de fabricação nas indústrias pode gerar aumento da produtividade, da qualidade dos produtos, da segurança e da lucratividade, mas exige um investimento financeiro no início da implementação, os engenheiros eletricitas necessitam esforçar-se para criar sistemas de automação que garantam que os benefícios obtidos pelas empresas a médio e longo prazo compensem o capital inicialmente aplicado.

O projeto de automação da linha de corte transversal com utilização do sistema embarcado desenvolvido neste estudo mostrou-se viável e foi implantado na empresa Secador Macieski com sucesso.

Ao reduzir o tempo de corte das chapas de aço, o sistema de automação implantado aumentou a capacidade de produção, gerou economia de tempo e de mão-de-obra e, conseqüentemente, aumentou o lucro dessa empresa.

A automação da linha de corte transversal também possibilitou uma maior uniformização da produção e melhorou a qualidade das chapas de aço produzidas, diminuindo o retrabalho e os prejuízos sofridos com perdas e refugos.

Além disso, o sistema desenvolvido trouxe benefícios aos trabalhadores da empresa, pois a instalação do novo painel elétrico eliminou o risco à integridade física do operador da linha de corte transversal provocado pela necessidade de medição manual e de proximidade com a guilhotina.

Por fim, constatou-se que o custo da implantação do projeto é baixo quando comparado aos benefícios proporcionados à empresa.

Dessa forma, conclui-se que, além de ter proporcionado todos os benefícios citados à empresa Secador Macieski e aos seus funcionários, o projeto do sistema de automação da linha de corte transversal com utilização do sistema embarcado, desenvolvido neste estudo, demonstrou-se técnica e economicamente viável.

Para trabalhos e estudos futuros, sugere-se a adequação do equipamento conforme NR-12 e NR-10 e a implementação do *Watchdog* na programação do Arduino, para tornar a máquina mais segura; bem como a instalação de um controlador PID (Proporcional Integral Derivativo), para aumentar a precisão no momento da medição das chapas.

Para trabalhos e estudos futuros, sugere-se a adequação do equipamento conforme NR-12 e NR-10 e a implementação do Watchdog na programação do Arduino, para tornar a máquina mais segura; bem como a instalação de um controlador PID (Proporcional Integral Derivativo), para aumentar a precisão no momento da medição das chapas.

REFERÊNCIAS

- [1] FAGOR - **Linha de corte transversal** - 2013. Disponível em: <<http://www.fagorarrasate.com/br/produto/10/linhas-de-corte-transversal.aspx>> Acesso em: 10 set. 2018.
- [2] ARCELOR MITTAL - **LCT Linha de corte transversal** - 2016 Disponível em: <<https://i1.wp.com/arcelormittalgonvarri.com.br/wp-content/uploads/2016/07/corte-transversal.png?fit=400%2C120>> Acesso em: 05 set. 2018.
- [3] ARDUINO MEGA 2560, 2018. Disponível em <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>> Acesso em: 01 set. 2018.
- [4] BECHER, Daina; DOTTO, Karina Rosana - **Desenvolvimento de um Controle de Acesso Microcontrolado com Código de Barras** - 56f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Medianeira, 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1378/1/MD_COMIN_2012_2_02.pdf> Acesso em: 03 set. 2018.
- [5] SILVA, Renato A. - **Programando microcontroladores PIC : Linguagem “C”** – São Paulo: Ensino Profissional, 2006. 172p.
- [6] FRANCHI, Claiton Moro – **Acionamentos Elétricos** – São Paulo. Editora Érica. 4ª Edição, 2008. 250p.
- [7] BRAGA. Newton. C – **Relés Circuitos e Aplicações** - 1ª edição - INSTITUTO NEWTON C. BRAGA, 2012. 150p.
- [8] PETRUZELLA, Frank D - **Motores elétricos e acionamento [recursos eletrônicos]** - Porto Alegre: AMGH, 2013.
- [9] SENAI. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – **Sistema eletroeletrônicos industriais – Instalação** – São Paulo: SENAI-SP Editora, 2014. 268 p.

[10] CHAPMAN, Stephen J. - **Fundamentos de máquinas elétricas [recurso eletrônico]** – 5. Ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre: AMGH, 2013.

[11] CATÁLOGO: CFW 100 inversor de frequência: edição 11/2016. Jaraguá do Sul, SC. WEG, 2016. 15p.

[12] NAVEENA, Johnson; JISS, Mohan K; ELIAS, Janson K; JEMTI Jose - **Optimization of Incremental Optical Encoder Pulse Processing** - 2013 IEEE Artigo p. 769 – 773.

[13] MACIESKI. Secador. 2017. Disponível em: <<http://www.secadormacieski.com.br/>> Acesso em: 23 set. 2018.