

Sistema de Aparafusamento Linear em Série Automática de Baixo Custo

Cleiton Mafra de Carvalho¹

Jorge Nazareno Maciel de Medeiros²

Elda Nunes de Carvalho³

20 de Outubro de 2018

Resumo

O presente trabalho pretende mostrar, a implantação de um sistema de parafusamento linear automático na linha de montagem de uma empresa do polo industrial de Manaus (PIM), onde o processo em série, possibilita a aplicação de um recurso utilizado em várias empresas que buscam a alto produtividade, visando a interação das tecnologias que podem ser aplicadas na indústria 4.0 ou em outros setores de produção. Para o referencial teórico desse projeto, foram analisados fundamentos importantes da pneumática, cilindros e atuadores pneumáticos, válvulas pneumáticas, sensores magnéticos, cálculo de força teórica, diâmetro do êmbolo de atuadores, estimativa de vida útil, guias lineares, processos de usinagem, princípios de automação, eletrônica básica, artigos e trabalhos acadêmicos com temática similar (aparafusamento de peças plásticas na produção em série), equações dos fabricantes que especificam modelo e aplicação, sistema computacional 3D (Autodesk Inventor Acadêmico) para produção de design e simulação de montagem. Para isso usa-se uma ferramenta gestão de projetos; onde organiza todo o trabalho em etapas importantes: problemática ou causa raiz, intenção de projeto, concepção do projeto em 3d, projeto detalhado, manufatura, montagem, testes, implantação e aprovação. Contudo, através da implantação desse projeto, das referências bibliográficas e análise de dados coletados, foi possível obter melhorias eficientes do processo de aparafusamento, visando a implantação em futuros postos de trabalho, reduzindo o desperdício, eliminado problemas de ergonomia e aumentando a produtividade.

Palavras-chaves: Aparafusamento, Eficiência, Custo.

¹Graduando de Engenharia Mecânica na Universidade Uninorte - E-mail: cmcmafra@gmail.com

²Graduando de Engenharia Mecânica na Universidade Uninorte - E-mail: jorgemedeiros1@live.com

³Mestrado em Informática na Universidade Federal do Amazonas - E-mail: elda.carvalho@uninorte.com.br

Abstract

The present work intends to show the implementation of an automatic linear screwing system in the assembly line of a company of the industrial pole of Manaus (PIM), where this serial process allows the application of an usual resource used in several companies seeking high productivity, aiming at the interaction of technologies that can be applied in industry 4.0 or in other production sectors. For the theoretical reference of this project, we analyzed important fundamentals law of pneumatics, pneumatic cylinders and actuators, pneumatic valves, magnetic sensors, theoretical force calculation, actuator piston diameter, life expectancy, linear guides, machining processes, principles of automation, basic electronics, articles and academic papers with similar themes (bolting of plastic parts in series production), manufacturers' equations that specify model and application, 3D computer system (Autodesk Inventor Educational) for design development and assembly simulation. For this purpose a project management tool is utilized where it organizes all the work in important stages: problematic or root cause, project intent, 3d design concept, detail design, manufacturing, assembly, testing, deployment and approval. However, through the implementation of this project, the bibliographical references and analysis of data collected, it was possible to obtain efficient improvements of the screwing process, aiming at the implantation in future workstations, reducing waste, eliminating ergonomic problems and increasing productivity.

Keywords: Bolting, Efficiency, Cost.

1 Introdução

Segundo o Sindicato dos Metalúrgicos do Amazonas, os trabalhadores do polo industrial de Manaus (PIM), sofrem lesões ou doenças por esforço repetitivo (LER), hérnia de disco, bursite, tendinite, problemas com o punho e cotovelo, justamente por ocupar postos de trabalhos onde o processo é manual e anti-ergonômico.

Na maioria das vezes, nesses postos são implantados os processos de parafusamento e seguem o ritmo da esteira da linha de produção com o objetivo de atender o plano de produção.

A produção em série exige dos operadores uma atenção dedicada durante toda a jornada de trabalho, consequentemente quando o colaborador não está bem fisicamente ou psicologicamente, problemas de qualidade surgem todos os dias.

Segundo (GROOVER 2011), diante das pressões competitivas do mercado, as empresas sempre precisam introduzir novos produtos em tempo mais curto possível. Então, a maneira mais fácil e econômica de alcançar esse objetivo é projetar um método de trabalho manual que faça uso de uma sequência de estações de trabalho operando de forma independente.

Visando atender a demanda de produção de medidores elétricos e reduzir os

custos de fabricação, considera-se de uma importância a automação do processo de fabricação. Surgi então, a necessidade de criar um projeto que englobasse essa etapa, atendendo à produção e às especificações do produto e processo. O mercado consumidor, adquire o produto e agrega o valor comercial para sua necessidade. Por isso a necessidade de fabricar um produto com valor acessível, está diretamente ligado ao melhoramento de desempenho de cada processo dentro da unidade industrial.

A proposta então é desenvolver um sistema automático de parafusamento e diminuir os impactos causados pelo trabalho manual como a LER e alguns problemas de qualidade.

Para analisar o problema iniciou-se indo ao local de produção e observou-se todo processo, todos os movimentos, todas as dificuldades, verificação do “ciclo time”, quantidade de peças produzidas, quantidade de peças rejeitadas, alimentação de parafusos e outros parâmetros necessários para implantar um novo sistema.

2 Revisão da Literatura

2.1 Estratégia de Migração para a Automação

Para (GROOVER 2011), muitas empresas possuem uma estratégia de migração para a automação, ou seja, um plano formalizado para a evolução dos sistemas de produção utilizados no processo de novos produtos à medida que a demanda aumenta.

As migrações típicas são divididas em três fases:

Fase 1: Produção manual utilizando uma única célula tripulada que opera de forma independente. É utilizada na introdução de um novo produto e que podem ser feitas rapidamente e a um baixo custo.

Fase 2: Produção automatizada utilizando uma única célula automatizada que opera de forma independente. À medida que aumenta a demanda pelo produto e fica claro que a automação se justifica reduzindo a mão de obra e aumentando a produção. As peças ainda são movidas manualmente entre as estações de trabalho.

Fase 3: Produção automatizada integrada utilizando um sistema automatizado multiestação com operações em série e transferência automatizada das unidades de trabalho entre as estações. Tendo certeza que o produto será produzido em massa, a interação das células reduzirá mão de obra e aumentará a taxa de produção.

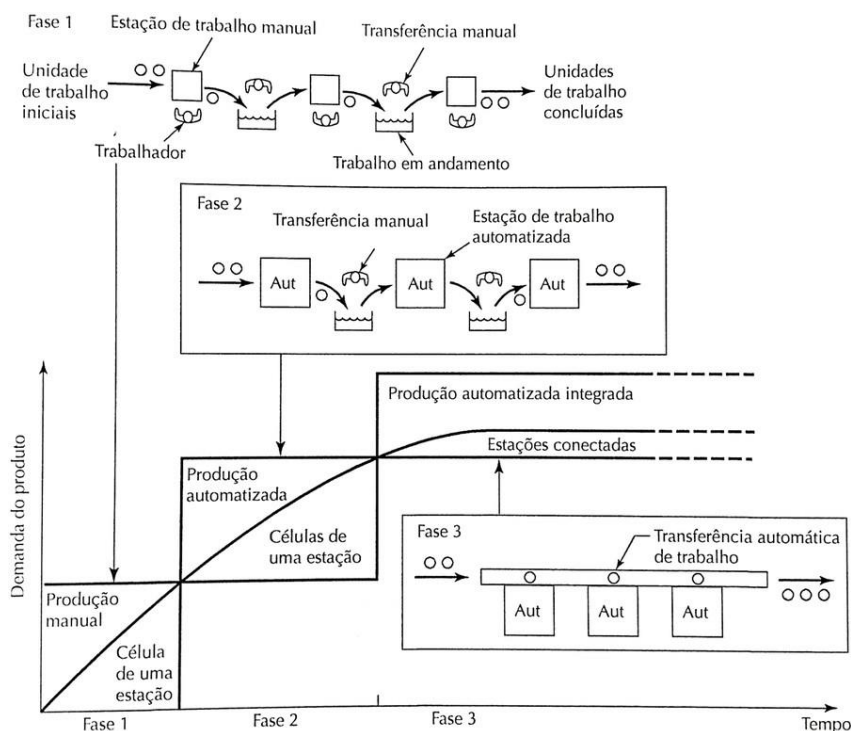
Segundo (GROOVER 2011), existem muitas vantagens nessa estratégia:

- Permite a introdução do novo produto no menor tempo possível, já que as células de produção baseada nas estações de trabalho manual são mais fáceis de ser projetadas e implementadas.

- Viabiliza a introdução gradual da automação (em fases planejadas) e, à medida que a demanda pelo produto aumenta, realiza alterações na engenharia do produto e aloca tempo para um trabalho completo de projeto nos sistemas de produção automatizados.

- Evita o comprometimento com um alto nível de automação desde o início, já que sempre existe o risco de a demanda do produto não justificar a automação.

Figura 1 – Representação das fases de migração.



Fonte: Adaptados de GROOVER ,2018.

2.2 A história da pneumática

Um longo caminho foi percorrido, das máquinas impulsionadas por ar comprimido na Alexandria aos engenhos pneumo-eletrônicos de nossos dias. Portanto, o homem sempre tentou aprisionar esta força para colocá-la a seu serviço, com um único objetivo: controlá-lo e fazê-la trabalhar quando necessário. Atualmente, o controle do ar suplanta os melhores graus da eficiência, executando operações sem fadiga, economizando tempo, ferramentas e materiais, além de fornecer segurança ao trabalho.

O termo pneumático é derivado do grego Pneumos ou Pneuma (respiração, sopro) e é definido como a parte da Física que se ocupa da dinâmica e dos fenômenos físicos relacionados com os gases ou vácuos. É também o estudo da conservação da energia pneumática em energia mecânica, através dos respectivos elementos de trabalho (PARKER 2018).

Segundo (PARKER 2018), “O ar comprimido vem encontrando, cada vez mais, campo de aplicação na indústria, assim como a água, a energia elétrica, etc. Somente na segunda metade do século XIX é que o ar comprimido adquiriu importância industrial. No entanto, sua utilização é anterior a Da Vinci, que em diversos inventos dominou e usou o ar. No Velho Testamento, são encontradas referências ao emprego do ar comprimido: na fundição de prata, ferro, chumbo e estanho. A história demonstra que há mais de 2000 anos os técnicos construíam máquinas pneumáticas, produzindo energia pneumática através de um pistão.

Como instrumento de trabalho utilizavam um cilindro de madeira dotado de êmbolo. Os antigos aproveitavam ainda a força gerada pela dilatação do ar aquecido e a força produzida pelo vento.

Em Alexandria (centro cultural vigoroso no mundo helênico), foram construídas as primeiras máquinas reais, no século III a.C. Neste mesmo período, Ctesibios fundou a Escola de Mecânicos, também em Alexandria, tornando se, portanto, o precursor da técnica para comprimir o ar.

A Escola de Mecânicos era especializada em Alta Mecânica, e eram construídas máquinas impulsionadas por ar comprimido.

A pneumática é aplicada em diversos setores na era moderna como: prensas pneumáticas, dispositivos de fixação, máquinas CNC, parafusadeiras, porta de veículos, alimentações pneumáticas automáticas, entre outros.

2.3 Atuadores Lineares Pneumáticos

Os atuadores ou cilindros pneumáticos são dispositivos que transformam a energia potencial do ar comprimido em energia cinética ou em preensores. Basicamente consistem em um recipiente cilíndrico provido de um êmbolo ou pistão (conforme figura 2).

Figura 2 – Cilindro Pneumático Linear.



Fonte: Adaptados de MICRO, 2018.

Ao introduzir-se uma certa vazão de ar comprimido, este se expande dentro da câmara e provoca um deslocamento linear. Se for acoplada uma haste rígida ao êmbolo, este mecanismo será capaz de empurrar um corpo, ou simplesmente prendê-lo (FIALHO 2011).

A força é proporcional à pressão do ar e à superfície do pistão:

$$F = p.A (1)$$

Onde:

F = Força

p = Pressão manométrica

A = Área do êmbolo ou pistão

Cálculo da Área do êmbolo:

$$A = \pi D^2 / 4 (2)$$

Onde:

F = força (kgf)

P = pressão de trabalho (kgf/cm², bar)

A = Área do êmbolo (cm²)

D = Diâmetro do êmbolo (cm)

$\pi = 3,14$

Além da força requerida para a movimentação da carga, temos a força de atrito estático e a força de atrito dinâmico. Além de agirem externamente, agem na parte interna do atuador. Já os coeficientes de atrito gerados, se alteram conforme a aplicação da carga, da natureza dos materiais e seu acabamento, bem como a velocidade de deslocamento e o tipo de lubrificação. Assim devemos aplicar um fator de correção. Observe o quadro 1 com alguns fatores de correção (FIALHO 2011).

Quadro 1 - Fatores de correção para tipo de operações

Velocidade de deslocamento da haste do atuador	Exemplo	Fator de correção ϕ
Lenta e carga aplicada somente no fim do curso	Operação de Rebitagem	1,25
Lenta e carga aplicada em todo desenvolvimento do curso	Talha Pneumática	1,35
Rápida com carga aplicada somente no fim do curso	Operação de Estampagem	1,35
Rápida com carga aplicada em todo desenvolvimento do curso	Deslocamento de mesas	1,5
Situações gerais não descritas anteriormente	-----	1,25

Fonte: Adaptados de FIALHO, 2018.

Ao aplicar o fator de segurança na equação (2) e evidenciando o diâmetro do atuador tem-se:

$$D = \sqrt{\frac{F \times \phi}{\pi \times P}}$$

2.4 Consumo de Ar nos Cilindros

O cálculo do consumo de ar, nos cilindros pneumáticos, é muito importante quando se deseja conhecer a capacidade do compressor necessário para abastecer a demanda de uma instalação.

Pode-se calcular com a seguinte fórmula, ou mediante o gráfico anexo:

$$Q = (\pi / 4) \cdot d^2 \cdot c \cdot n \cdot P \cdot N \cdot 10$$

Onde:

Q = Consumo de ar (NL/min)

d = Diâmetro do cilindro (mm)

c = Curso do cilindro (mm)

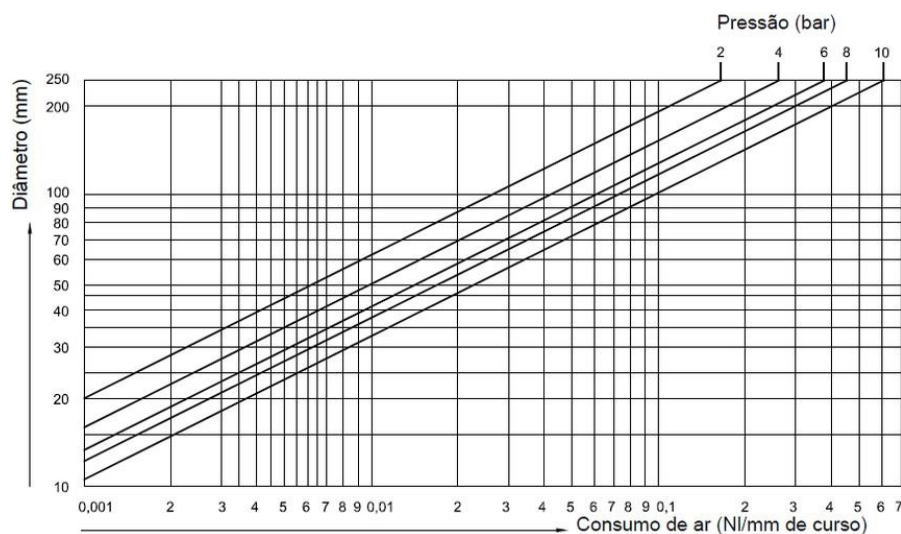
n = Número de ciclos completos por minuto

P = Pressão absoluta = Pressão relativa de trabalho + 1 bar

N = Número de ações do cilindro

(N=1 Para simples ação, N=2 Para dupla ação)

Gráfico 1: Consumo de ar nos cilindros.



Fonte: Adaptado de FESTO PNEUMATIC, 2018.

2.5 Vida Útil dos Cilindros Pneumáticos

O tempo de serviço médio é determinada com base em testes de desgaste a longo prazo. Estes testes, em geral são regulamentados pela norma ISO 19973 que discorre sobre os procedimentos e condições para teste de confiabilidade de cilindros pneumáticos. Para analisar estatisticamente os resultados dos testes e estimar esta vida é utilizada a análise de Weibull e outras análises de confiabilidade usadas na indústria para estimar a vida útil de componentes mecânicos. Os fabricantes dispõem

de equações para análise de vida útil, temos exemplo abaixo a fornecida pelo (FESTO PNEUMATIC 2018).

$$MTTF = \frac{B10}{0,1 \times n}$$

MTTF = Tempo médio para a falha (geralmente medido em anos).

B10 = O número de ciclos em que 10% dos componentes excederam os valores-limite para o teste de desgaste aplicado (especificado pelo fabricante).

n = Número de operações realizadas pelo atuador.

Os valores B10 são definidos com base nos resultados de testes de desgaste a longo prazo com pelo menos 7 objetos de teste, o valor B10 pode ser usado para avaliação específicas de vida útil e para estabelecer a manutenção preventiva de componentes.

2.6 Sistema de Ar Normalizado

Para a utilização do ar comprimido, principalmente nas indústrias, as empresas obedecem à normas (padrões) internacionais, entre elas a ISO 8573 que estabelece os requisitos de qualidade para o ar comprimido, determinam os níveis máximos admissíveis de contaminação e o tamanho das partículas para as respectivas classes de qualidade.

Para um tratamento de ar comprimido em conformidade com as normas para soluções de automação, é preciso responder a diversas questões relativas a vários parâmetros, como, por exemplo, as classes de qualidade referentes a:

- Partículas sólidas;
- Conteúdo de água;
- Conteúdo total de óleo;

Uma definição correspondente encontra-se em ISO 8573-1:2010.

2.7 Válvulas Pneumáticas

A função das válvulas direcionais ou distribuidoras é de permitir, orientar (distribuir) ou bloquear um fluxo de ar.

São empregadas para diferentes funções dentro de um sistema pneumático.

Exemplos: comando dos elementos de trabalho, de outras válvulas com acionamento pneumático, emitir ou bloquear sinais de comando.

São identificadas por duas características principais, número de vias e número de posições.

Vias: Denominamos assim o número de bocais de conexão do elemento de distribuição. Encontramos válvulas com 2, 3, 4, 5 ou mais vias. Não é possível um número de vias inferior a dois.

Posições: refere-se ao número de posições estáveis do elemento de distribuição.

As válvulas mais comuns possuem 2 ou 3 posições, apesar de alguns modelos particulares possuírem mais. Não é possível um número de posições inferior a dois.

As válvulas direcionais são definidas conforme o número de vias e o número de posições da seguinte forma:

N° Vias / N° Posições

2/2 Duas vias / Duas posições;

3/2 Três vias / Duas posições;

4/2 Quatro vias / Duas posições;

5/2 Cinco vias / Duas posições;

5/3 Cinco vias / Três posições, etc.

Figura 3 – Válvula direcional solenoide 5/2 vias.



Fonte: Adaptados de MICRO, 2018.

2.8 Configuração do Símbolo

O símbolo representa a função e a forma de acionamento (ligar e desligar) da válvula (não existe nenhuma relação com a forma construtiva ou bitola da mesma). É composto por duas partes:

Um bloco central, formado por quadrados, representa o número de posições de comutação, número de vias e a condição de fluxo em cada posição.

Outros dois blocos extremos (direita e esquerda), representando a forma de acionamento da mesma.

1. Cada posição da válvula é representada por um quadrado.

A quantidade de quadrado que forma o símbolo determina o número de posições de comando.

2. As vias ou conexões são representados por traços unidos ao quadrado correspondente a posição de repouso da válvula.

3. Para representar a condição de fluxo das vias utilizam-se setas ou T. Deste modo uma seta conectando duas vias significa a existência de fluxo entre as mesmas. No caso do T representa que a via está bloqueada. A quantidade de extremidades de setas e pés de T que tocam os lados de um quadrado é igual ao número de vias.

4. As canalizações de escape são representadas por triângulo, podem ser:

a) Escape direto no próprio corpo da válvula.

b) Escape canalizado ou conduzido.

O símbolo é completado com os símbolos representativos do acionamento para ligar a esquerda e desligar a direita a válvula. Existem diferentes tipos de acionamentos: musculares ou manuais, mecânicos, pneumáticos, elétricos e eletropneumáticos (MICRO 2018).

2.8.1 Válvulas Direcionais

Válvulas 2/2

Pertencem a este grupo todas as válvulas de fechamento que possuem um orifício de entrada e outro de saída (2 vias) e duas posições de comando. São utilizadas somente nas partes dos equipamentos pneumáticos onde não é preciso efetuar a descarga do sistema alimentado pela mesma válvula; atuam somente como válvulas de passagem. Podem ser normalmente fechadas ou abertas, dependendo se fecham ou habilitam a passagem respectivamente na sua posição de repouso.

Válvulas 3/2

Além de alimentar um circuito, permitem a sua descarga ao serem comutadas. Também podem ser normalmente fechadas ou abertas.

Válvulas 4/2

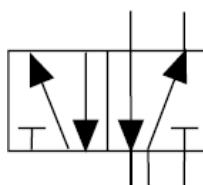
Possuem quatro orifícios de conexão, sendo um para alimentação, dois para utilizações normais e um para escape, sendo este último comum para ambas utilizações. Operam em duas posições de comando, sendo que para cada uma delas só uma

utilização é alimentada, enquanto a outra é conectada ao escape; esta condição é invertida ao se comutar a válvula.

Válvulas 5/2

Possuem cinco orifícios de conexão e duas posições de comando. A diferença em relação à 4/2 é que possuem dois escapes que correspondem um para cada utilização. Isto possibilita entre outras coisas, controlar a velocidade de avanço e retorno de um cilindro de maneira independente.

Figura 4 – Válvula direcional 5/2 vias.



Fonte: Próprio autor, 2018.

2.9 Sensores

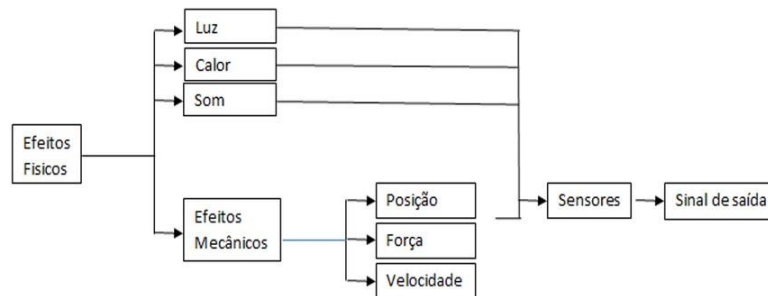
“Expressão empregada para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informação sobre uma grandeza que precisa ser medida, como: temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, etc.” (THOMAZINI 2011).

Na maioria das vezes, um sensor nem sempre tem características elétricas necessárias para ser utilizado em um sistema de controle. Normalmente o sinal de saída deve ser manipulado antes de a usar leitura no sistema de controle. Isso geralmente é realizado com um circuito de “interface” para produção de um sinal que pode ser lido pelo microcontrolador.

Esses tipos de sensores podem assumir qualquer valor no seu sinal de saída, ao longo do tempo, desde que esteja dentro da sua faixa de operação.

Algumas das grandezas físicas que podem assumir qualquer valor ao longo do tempo são: pressão, temperatura, velocidade, umidade, vazão, força, ângulo, distancia, torque, luminosidade. Essas variáveis são mensuradas por elementos sensíveis, com circuitos eletrônicos não digitais.

Figura 4-17- Fluxograma de um sensor.



Fonte: Próprio autor, 2018.

2.10 Guias Lineares

Guia Linear é um sistema de movimentação baseado no princípio do rolamento. Possui contato de ponto (esferas), gerando diversas vantagens como redução de atrito, suavidade na movimentação, alta precisão de posicionamento, a alta capacidade de carga, trabalho em alta velocidade, além de outros benefícios.

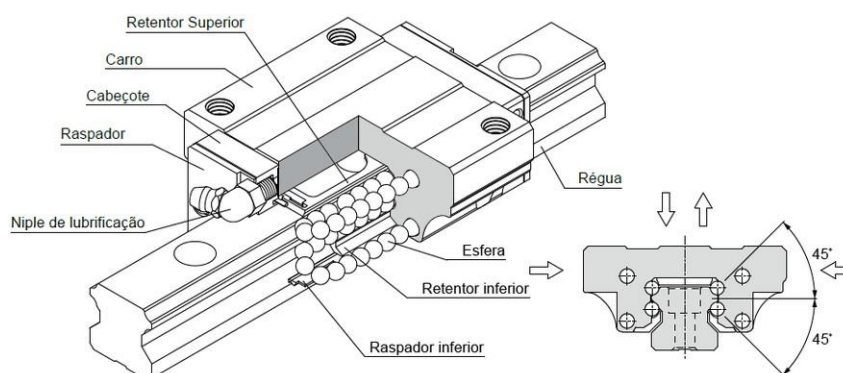
As Guias Lineares são aplicadas em diversos tipos de máquinas como CNC's, Tornos, Centros de Usinagem, Mandrilhadoras, CNC Routers, Seccionadoras, Corte Laser, Plasma, Solda, Impressão, Ressonância Magnética, além de uma infinidade de outros equipamentos.

Atualmente as guias lineares são utilizadas como solução por diversos segmentos como montadoras, indústrias de autopeças, aeroespacial, moveleiras, hospitalares, farmacêuticas, alimentícias, papeleiras, etc (OBR 2018).

O posicionamento das esferas foi projetado a fim de se obter um ângulo de 45°, o que permite deslocar uma carga com forças de atuação de diferentes posições: carga radial de compressão, carga radial de tração e cargas laterais. A série MSA / MSB pode alcançar uma carga pré-definida (Pré-carga), para aumentar a rigidez em quatro direções de forças (vide desenho acima), mantendo-se um baixo atrito de deslizamento.

Isto torna-se adequado para movimentos que requerem alta precisão e rigidez. O posicionamento também permite que a graxa lubrificante seja distribuída uniformemente a cada volta de recirculação das esferas, resultando em movimentos suaves e uma longa vida útil (OBR 2018).

Figura 5 – Guia Linear OBR série MSA / MSB.

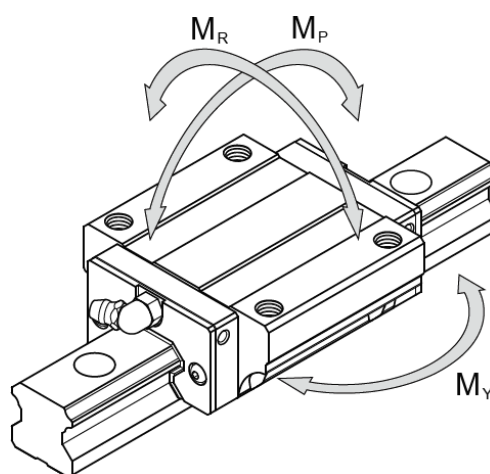


Fonte: Adaptado de OBR, 2018.

Momento estático permissível (M_o):

Quando um momento é aplicado em uma guia linear, surgem forças que não são distribuídas uniformemente na guia. No sistema de guia linear, o momento estático permissível é definido em três direções: M_p , M_y e M_r .

Figura 6 – Momentos estáticos.



Fonte: Adaptado de OBR, 2018.

3 Materiais e Métodos

3.1 Identificação do Problema / Definição da Tarefa

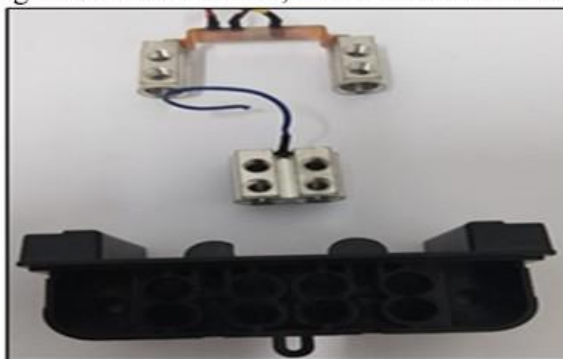
Neste estudo de caso, temos um problema que acontece de forma frequente na (produção) produtos que recebem parafusos, que é a falha de parafusos nos produtos. As doenças ocupacionais causadas pelo grande esforço repetitivo mudam o cenário produtivo podendo trazer prejuízos para empresa.

A tarefa então é desenvolver um sistema automático de parafusamento que atue no lugar da mão do operador e que esse equipamento cumpra as metas estabelecidas pela produção.

Para analisar o problema iniciou-se indo ao local da prensa e observou-se o processo na totalidade, especificamente a parte de parafusamento manual executado por 6 colaboradores, sendo que 2 colaboradores, participam da pré-montagem.

Operadores 1 e 2 realizam a montagem do circuito shunt e neutro no bloco de terminais conforme a figura:

Montagem do circuito shunt, neutro e bloco de terminais.



Bloco de terminais montado com os circuitos.



Fonte: Próprio autor, 2018.

O tempo de ciclo é o máximo permitido a uma estação de trabalho de uma linha de montagem. Para concluir um conjunto de tarefas determinadas, ou seja, expressa a frequência que um produto deverá sair da linha, ou em outras palavras, o intervalo de

tempo entre dois produtos consecutivos. Dessa forma temos os seguintes tempos de ciclo.

1. Tempo para realizar a montagem dos circuitos 'shunt' e neutro no bloco e o bloco na base: 1,5 segundos;
2. Montagem do bloco de terminais na base: 1,5;
3. Tempo para realizar o posicionamento dos 8 parafusos no bloco de terminais: 2,5 segundos;
4. Tempo para realizar o parafusamento: 6,5 segundos.

A seguir, na Tabela 1, um breve detalhamento das atividades realizadas e o tempo para a montagem do conjunto.

Figura 7 – Atividades realizadas durante o processo.

Atividade	Montagem dos circuitos shunt e neutro nos blocos dos terminais	Montagem do bloco de terminais na base	Posicionamento dos 8 parafusos no bloco de terminais	Parafusamento	Total
Tempo (s)	1,5	1,5	2,5	6,5	12

Fonte: Próprio autor, 2018.

Por meio das informações descritas na Tabela 1, é possível observar que somando os tempos de cada atividade, obtém-se o total de 12,0 segundos, ou seja, a cada 12,0 segundos um bloco de terminais sai da linha parafusado.

Ao longo da jornada de trabalho é imprescindível o rodízio de operadores no posto de parafusamento, para isto, o líder de produção preocupa-se em alternar operadores que exercem esforços com membros superiores pelos que exercem esforços com membros inferiores. Dessa forma, atualmente a taxa de produção é de 2 880 blocos parafusados, a cada 8 horas trabalhadas.

A cada hora é possível parafusar 300 blocos de terminais, diariamente, com jornada de trabalho de 08 horas 2.400 (blocos) são parafusados. E considerando em média, 20 dias de produção mensalmente, é possível alcançar uma demanda de 48 800 blocos parafusados.

Foi proposto, ao instituto de pesquisa e tecnologia, a implantação de um sistema de parafusamento automático nesse processo. Sendo possível tornar essa etapa da montagem, em um sistema de produção automático.

Na próxima etapa deste projeto, será abordado a implantação desse sistema

automatizado, apresentando o novo layout, materiais para construção, além de dados de produtividade para comparação de quantidades produzidas ao longo de uma, oito e 160 horas de funcionamento.

3.2 Implantação de Robôs em Linhas de Produção.

Um robô industrial é uma máquina manipuladora, com vários graus de liberdade, controlada automaticamente, reprogramável, multifuncional, possuem uma base fixa ou móvel, é utilizada em diversas aplicações como em processos em série.

A utilização de robôs pode trazer um grande benefício para automatização das indústrias, mas não se deve esperar que os resultados desejados serão alcançados, se não tiver conhecimento em detalhes do processo de manufatura ou de trabalho (MECATROL 2018).

A seguir vamos ver algumas características de um Robô Scara Robot SR-3iA, o custo de aquisição, suas limitações e posteriormente comparar com o sistema implantado na linha de produção.

Os Robôs SCARA são uma opção popular para pequenas aplicações de montagem. SCARA é o acrônimo de Selective Compliance Articulated Robot, o que significa que é complacente com os eixos X e Y e rígido no eixo Z. A configuração SCARA é única e foi criada para lidar com uma variedade de operações de manuseamento de material.

Figura 8 – SCARA Robot SR-3iA.



Fonte: Adaptado de MECTROL, 2018.

A estrutura do SCARA consiste em dois braços unidos na base e na intersecção

dos braços um e dois. Dois motores independentes utilizam cinemática e interpolação nas uniões J1 e J2 para controlar o movimento X-Y do SCARA. A localização final X-Y na extremidade do braço dois é um fator do ângulo J1, ângulo J2, comprimento do braço um e comprimento do braço dois.

3.2.1 Prós e Contras da Montagem em Linha de Produção

A invenção da montagem em linha de produção resultou em muitas vantagens diferentes, mas existem algumas desvantagens significativas no método também (MANUTENÇÃO E SUPRIMENTOS 2018).

Vantagens: A maioria das vantagens observadas na montagem da linha de produção tem a ver com uma redução no custo e uma uniformidade aumentada dos produtos acabados. Além da criação de maiores margens de lucro, isso também gera produtos que são mais acessíveis e mais fáceis de reparar.

Desvantagens: As desvantagens que são frequentemente associadas a este método de produção de automação em massa incluem qualidades inferiores de construção, instalações de produção rígidas ou inflexíveis e um investimento de capital inicial substancialmente maior. A produção de linha de montagem é frequentemente associada com tarefas monótonas ou repetitivas, bem como, pode levar a problemas de motivação por parte dos trabalhadores.

3.3 Projeto Detalhado

Para o desenvolvimento e montagem do projeto, fez-se necessário dividi-lo em três conjuntos, sendo: Mecânico, Pneumático, Elétrico/Eletrônico e Programação. A seguir, será apresentado alguns itens de cada etapa, considerados essenciais para a montagem e desenvolvimento.

3.3.1 Mecânica

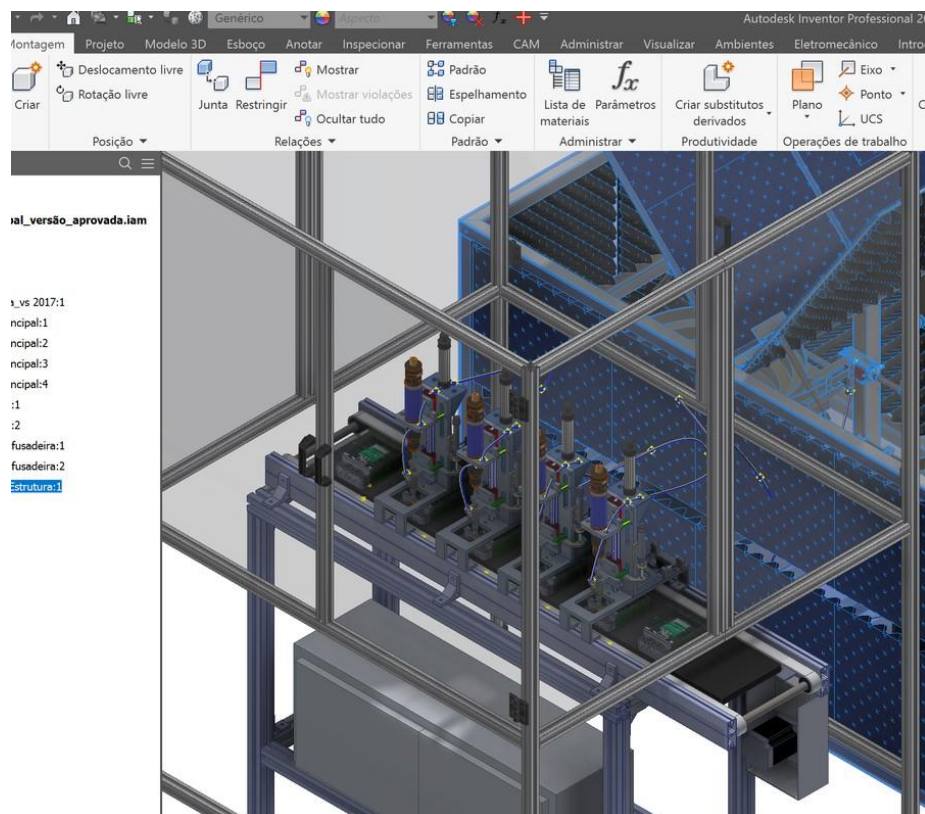
O conjunto mecânico foi desenvolvido no “software” Autocad Inventor 2016, a partir da modelagem 3d, foi possível fazer simulações de movimentos e criar a lista de materiais para montagem. Foi definido que seriam necessárias quatro torres de parafusamento, todas usinadas com aço 1020 e tratamento com oxidação negra. Cada torre é composta com guia linear, trilho e parafusadeira tipo shut off, além de itens pneumáticos e eletrônicos.

Foi instalado dois conjuntos de placas vibratórias (Alimentador automático de parafusos - NTG). Subconjunto responsável por colocar os parafusos no bloco de

terminais, durante o processo de parafusamento, o operador somente deverá alimentar as painéis, evitando faltar parafuso.

A esteira foi montada com perfis de alumínio, corrente de aço, berços para posicionamento do produto e um motor do tipo “step” servo.

Figura 9 – Software Inventor – Ambiente de Montagem.



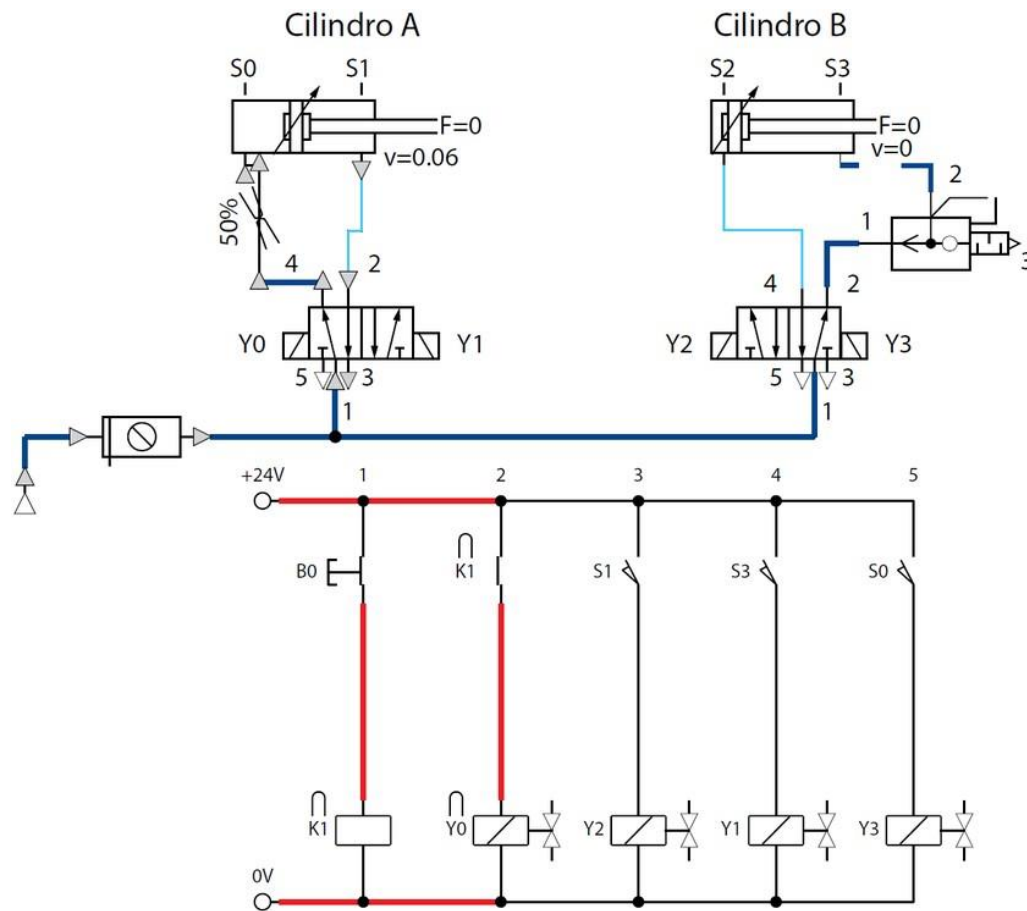
Fonte: Próprio autor, 2018.

3.3.2 Pneumático

A grande necessidade de um processo automático é a repetibilidade de uma tarefa, dessa forma conjunto pneumático dispõem de cilindros de dupla ação, válvulas para acionamento, conexões, válvulas reguladoras de fluxo e blocos manifold. Auxiliado pelo “software” FluidSim, foi montado o esquema pneumático, simulado e posteriormente feito as ligações.

Foram utilizados cilindros pneumáticos de dupla ação para auxiliar os movimentos das parafusadeiras e castanhas. Nas torres de parafusamento, os cilindros são guiados pelo trilho (Guia linear) e patins, e são acionados conforme a lógica do programa para que sejam movimentadas as parafusadeiras e castanhas. No subconjunto das painéis, os cilindros atuam nos selecionadores de parafusos, responsáveis pelo envio de parafusos às castanhas.

Figura 10 – Sistema eletropneumático com dois cilindros.



Fonte: SENAI DR BA, 2015.

3.3.3 Elétrico e Eletrônico

No conjunto elétrico/eletrônico, o sistema foi preparado para atender a NR-12. Essa etapa está montada para atender a lógica do ‘software’. Foi desenvolvido esquemas elétricos feitos no QElerotec e Protheus, dois “softwares” que auxiliam na visualização do sistema. A eletrônica, é responsável principalmente pelo controle lógico do programa, é todo o equipamento físico da etapa de programação.

Para essa etapa, foram utilizados relés de segurança, sensores, computadores embarcados, placas de leituras e escrita de sinais. A figura 11 demonstra parte das ligações eletrônicas.

Figura 11 – Ligações eletrônicas.



Próprio autor, 2018.

3.3.4 Programação

O ambiente de desenvolvimento utilizado foi o Lazarus, optou-se por esse ambiente devido à facilidade em suportar diversas arquiteturas e sistemas operacionais. O controlador principal utilizado foi o Raspberry. Nele estão todo o código do projeto. É possível definir metas, realizar ajustes finos na esteira principal, acompanhar produtividade, testar o funcionamento dos sensores, dentre outros.

Para manter a comunicação entre o sistema de parafusamento e o subconjunto de painéis, foi utilizado o protocolo de comunicação MQTT. Este protocolo foi utilizado devido sua aplicabilidade em dispositivos embarcados, como o Raspberry e possuir ótima aplicação para IoT - Internet of Things.

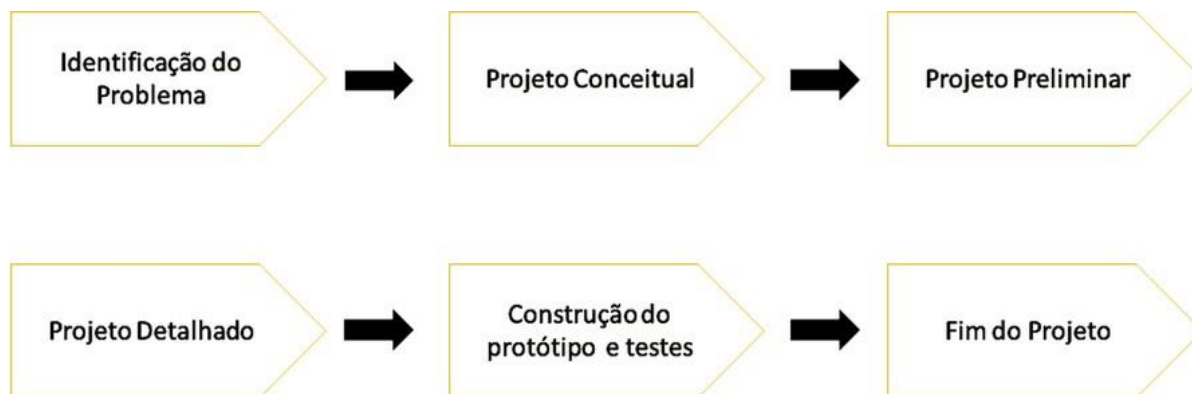
3.4 Métodos

Para o desenvolvimento de projetos é preciso seguir uma metodologia. Pois serve como roteiro ou mapa, auxilia os projetistas a encontrarem a melhor solução para um determinado problema. Existem vários tipos de metodologias propostas para projetos de engenharia que trabalham com um número variado de estágios destinados a representar seus processos de projeto. Os estágios são, qualquer uma das partes em que se pode ser dividido ou subdividido o processo de projeto.

Cada um desses estágios do processo de projeto podem guardar entre si várias ferramentas e documentos de projeto (Recomendações de projeto, questionários, matrizes de avaliação, formulações, entre outras.) de auxílio ao processo de tomada de

decisão, as quais têm um papel importante no processo de projeto - “movimentá-lo” em direção a solução do problema apresentado (MARIBONDO 2000).

A metodologia utilizada neste trabalho é baseada na metodologia proposta por PAHL & BEITZ em 1971, observe no fluxograma abaixo quais etapas seguiremos para a conclusão do projeto:



Fase 1: Identificação do Problema / Definição da Tarefa - clarificação da tarefa: elaboração das especificações de projeto.

Fase 2: Projeto conceitual - Identificar os problemas essenciais; estabelecer a estrutura de funções; pesquisar por princípios de solução, combinar e concretizar em variantes de concepções e criar a matriz morfológica, avaliar segundo critérios técnicos e econômicos.

Fase 3: Projeto Preliminar - Desenvolver leiautes e formas preliminares; selecionar os melhores leiautes preliminares refinar e avaliar sob critérios técnicos e econômicos, otimizar e completar o projeto das formas, verificar erros e controlar custos; preparar lista das partes preliminares e os documentos de produção.

Fase 4: Projeto detalhado - Finalizar os detalhes, completar os desenhos detalhados e os documentos de produção; verificar todos os documentos.

Fase 5: Construção do Protótipo e Testes - Confeccionar a solução definida pelas etapas anteriores, comprar os equipamentos, efetuar a instalação e os testes.

Fase 6: Fim do Projeto - Avaliar os resultados dos testes, se satisfatório, configura o fim do projeto.

3.4.1 Projeto Conceitual

Nessa etapa, definimos qual o conceito do projeto, deve-se compreender como funciona o nosso sistema/equipamento, quais são as suas funções e a interação entre

os seus componentes afim de abstrair o problema e compreender as funções do sistema. Separou-se o sistema em variáveis que serão analisadas (problemas parciais) para compor o que se chama de matriz morfológica onde se tende princípios de soluções possíveis para dentre elas escolherem a mais viável (MARIBONDO 2000).

Segue abaixo o exemplo de uma matriz morfológica.

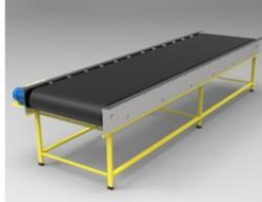
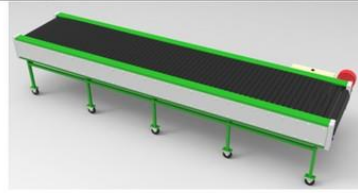
Figura 12 – Exemplo de matriz morfológica.

Sistema	Subsistema	Componentes	Princípios de solução (P.S.) desenvolvidos ou encontrados					
			P.S. 1	P.S. 2	P.S. 3	P.S. 4	P.S. 5	P.S. 6
Lançador de granadas de 40mm	Alimentação	Tambor rotativo	TR 1	TR 2	TR 3	TR 4	TR 5	TR 6
		"Aranha"	A 1	A 2	A 3			
		Liberação e parada	LP 1	LP 2				

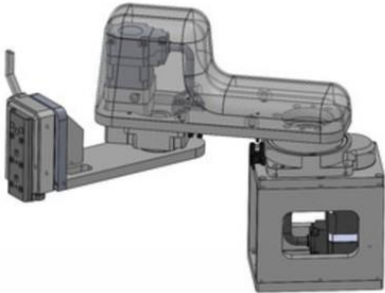
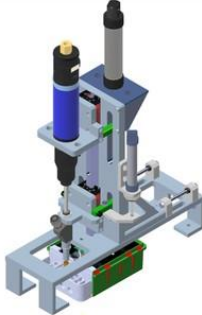
Fonte : Adaptado de "Concepção do sistema de alimentação de um lançador de granadas" (2009).

Segue abaixo o estudo dos problemas parciais:

Princípios de Solução para o Problema Parcial 1: Esteira automatizada.

CÓDIGO	CONCEPÇÃO	DESCRIÇÃO
ES1		Esteira elétrica de correntes controlada por servo motores gera uma precisão maior no posicionamento dos berços em relação ao centro de eixo das parafusadeiras.
ES2		Esteira de correia lonada é mais leve porém o custo é mais caro. Dificuldades para fixar os berços. Não garante posicionamento dos berços.
ES3		Esteira de corrente plástica além de custo elevado, o motor não garante o posicionamento preciso do berço em relação ao centro da parafusadeira. Vida útil limitada.

Princípios de Solução para o Problema Parcial 2: Sistema de aparafusamento automático.

CÓDIGO	CONCEPÇÃO	DESCRIÇÃO
RB1		Braço Robótico LR-Mate_200-iD-7L, custo elevado, sistema operacional não colaborativo, custo de manutenção elevado.
RB2		Robô SCARA Robô SR-3iA, custo elevado, sistema operacional não colaborativo, custo de manutenção elevado, pouca área de trabalho.
RB3		Guias Lineares, Cilindros pneumáticos, baixo custo, fácil manutenção, vida útil elevado.

Depois de analisar internamente o processo e os princípios de solução segundo os requisitos de projeto, foi elaborada a matriz morfológica para a comparação e combinação dos mesmos para obter o conjunto garra ideal.

Figura 13 – Matriz Morfológica.

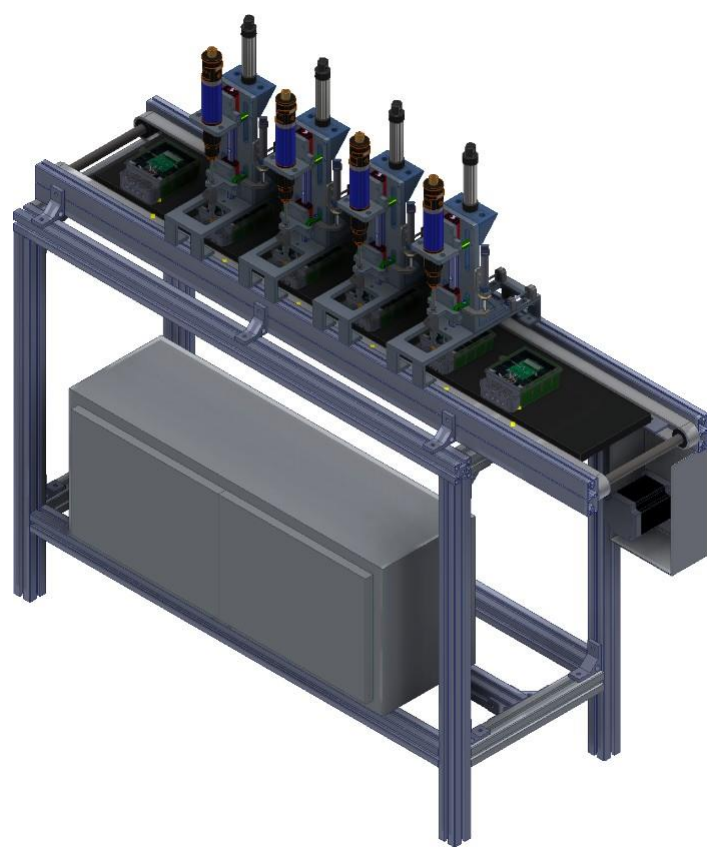
1 - NÃO ATENDE
2 - ATENDE PARCIALMENTE
3 - ATENDE TOTALMENTE

			REQUISITOS DO PROJETO				
			BAIXO PESO TOTAL	DURABILIDADE	BAIXO CUSTO	FÁCIL INSTALAÇÃO	PTS
SISTEMA	SUBSISTEMA	IDÉIAS CONCEITUAIS					
MÁQUINA DE APARAFUSAM ENTO AUTOMÁTICO	ALIMENTAÇÃO DE PARAFUSOS DA ESTEIRA E OPERAÇÃO DE PARAFUSAR	ES1	2	3	2	3	10
		ES2	3	1	2	2	8
		ES3	3	1	2	1	7
		RB1	1	3	1	2	7
		RB2	1	3	1	2	7
		RB3	3	3	3	3	12

Fonte: Próprio autor, 2018.

Ao analisar internamente os princípios de solução verificou-se que a melhor combinação seria ES1 + RB3 (conforme figura abaixo) e o projeto terá este conceito:

Figura 14 – Projeto Conceitual.



Fonte: Próprio autor, 2018.

4 Resultados e Discussão

A concepção aceita foi um sistema de fácil fabricação. Foram utilizados parafusadeiras pneumáticas, guias lineares e cilindros pneumáticos. A manutenção preventiva e corretiva programada não afetará a produção uma vez que o sistema se torna independente.

Para o estabelecimento da concepção do sistema de alimentação de aparafusamento automático, foi necessário comparar as tecnologias existentes no mercado. O mais utilizado nas grandes companhias são braços robóticos. Entretanto, nem sempre o custo para a implantação desse sistema favorece à empresa de médio ou pequeno porte.

Baseado no levantamento do estado da arte realizada na Fase 1, observou-se que:

a) Não foi possível ter acesso aos desenhos detalhados do projeto do mecanismo de parafusamento automático dos principais fornecedores dessa tecnologia.

b) Para que o projeto obtivesse êxito após a implantação, foi necessário documentar e definir alguns requisitos, os requisitos foram obtidos, analisados e registrados em detalhes suficientes para serem medidos durante a execução do projeto. Dentre eles destacam-se os seguintes:

Alimentação do produto na esteira principal e saída de forma automática;

Parafusamento realizado de forma automática;

Montagem somente dos circuitos shunt e neutro no bloco de terminais, eliminando a montagem na base;

Posicionamento dos parafusos no bloco de terminais de forma automática;

- Alerta para realimentação de parafusos nas painéis vibratórias com identificação visual;

- Interface gráfica com monitor para apresentar dados de produtividade;

- Alimentação de blocos de terminais, circuitos shunt e neutro devem ser feita com 4 horas de antecedência do início da produção.

Para atender a meta de um produto aparafusado a cada 6,0 segundos, é essencial que os requisitos sejam alcançados, caso algum 'item' não seja atendido coloca-se em risco o atendimento da meta.

4.1 Fluxograma do Processo

Com a implementação da linha automatizada, fez-se necessário alterar o fluxo do processo produtivo. Anteriormente, a primeira etapa da montagem dividia-se em montar os circuitos shunt e neutro no bloco, seguido do bloco montado na base e por último o posicionamento dos parafusos e o parafusamento.

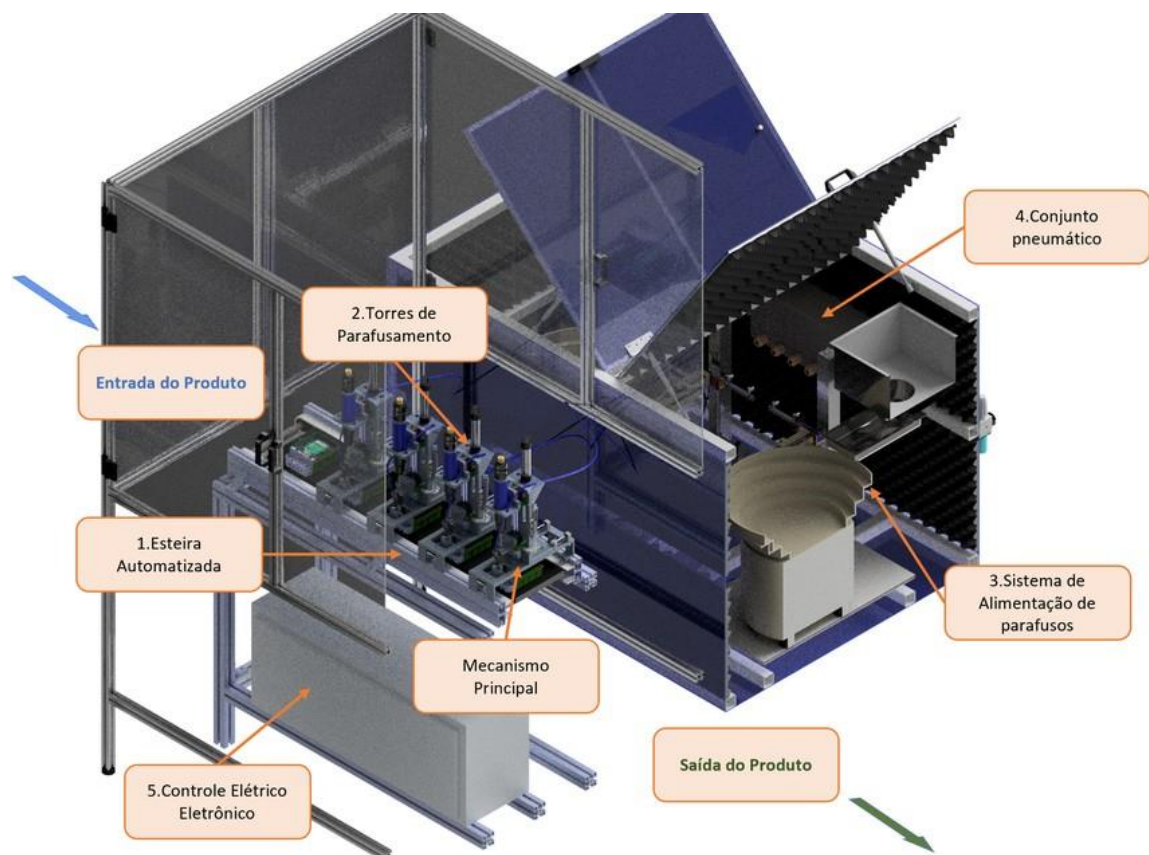
Para otimizar o resultado do processo, durante a coleta dos requisitos, optou-se pelo parafusamento do bloco de terminais sem a montagem na base. Além disso, a entrada do produto na linha principal, posicionamento dos parafusos, parafusamento e retirada do produto da linha será de forma automática.

Com a nova disposição, será necessário um operador para atuar diretamente na linha, sendo responsável pela seguinte atividade:

Operador 1, realiza a montagem do circuito shunt e neutro no bloco de terminais e posiciona na esteira auxiliar de entrada.

O equipamento possui um monitor com ‘interface’ gráfica de fácil entendimento e operação. Nele é possível definir metas, realizar ajustes no passo da esteira, testar o correto funcionamento de sensores, cilindros e monitorar pressão do sistema.

Figura 15 – Fluxo do processo.



Fonte: Próprio autor, 2018.

Conforme a Figura 15, a linha dispõe dos seguintes conjuntos:

1. Esteira Automatizada: Responsável pelo transporte do produto, correto alinhamento dos berços e passos, conforme disposição das torres de parafusamento;
2. Torre de parafusamento: Todos os conjuntos, foram projetados para realizar o parafusamento. Contemplam parafusadeira, guias lineares, cilindros dentre outros;
3. Conjunto de painéis: Duas painéis vibratórias alimentam o sistema de parafusamento, auxiliados e controlados por sensores, cilindros e válvulas;
4. Conjunto pneumático: Conta com válvula de bloqueio, partida suave, blocos manifold, garra pneumática, dentre outros acessórios necessários para manter o funcionamento do equipamento;
5. Conjunto elétrico e eletrônico: Componentes elétricos e eletrônicos atuam em conjunto para manter a lógica do parafusamento, além de ser responsável por ligar, desligar e os botões de emergência.

Figura 16 – Sistema de alimentação: Painel Vibratória.



Fonte: Próprio autor, 2018.

Figura 17 – Mecanismo principal: Torre de parafusamento.



Fonte: Próprio autor, 2018.

4.2 Resultados

Os dados de produtividade foram otimizados, juntamente com a redução de mão de obra e eficiência do processo. A Tabela 2 representa os dados de produtividade.

Figura 18 – Relação entre etapas de montagem x tempo.

Tempo de produção	01 hora	08 horas (1 dia)	160 horas (20 dias)
Quantidade medidores parafusados	600	4.800	96.000

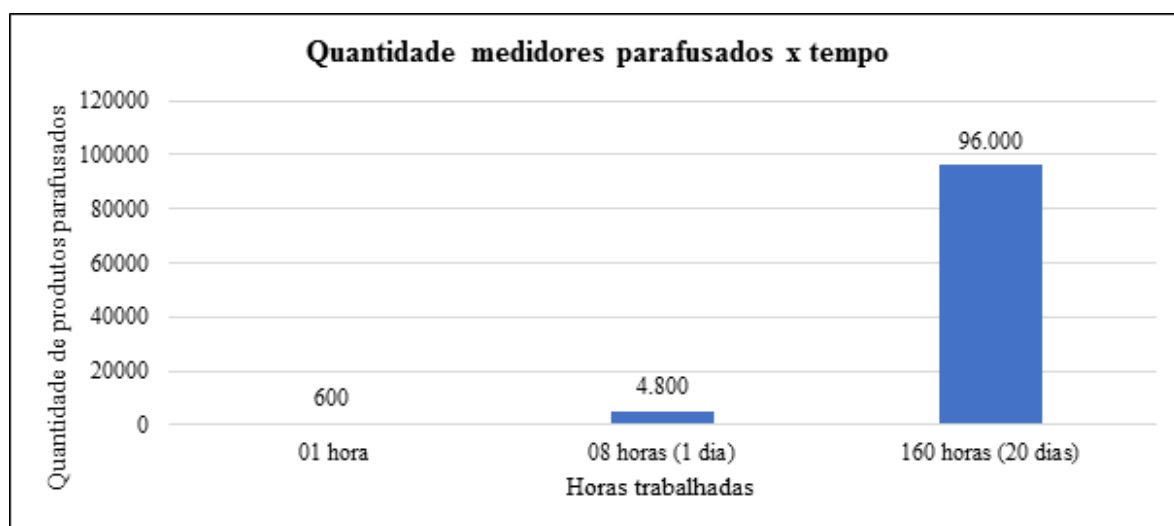
Fonte: Próprio autor, 2018.

Por meio da Tabela 2, é possível observar que a taxa de produção passou a ser de 600 medidores parafusados por hora de trabalho, 4800 medidores a cada 8 horas e mensalmente a empresa consegue parafusar até 96 000 blocos de terminais.

Baseado nos dados disponibilizados na Tabela, os dados de produtividade em relação ao tempo estão representados pelo Gráfico 1.

Pelo Gráfico 1, nota-se a forma clara dos dados de produtividade de parafusamento em relação ao tempo por hora, diariamente e mensalmente.

Figura 19 – Parafusamento x tempo.



Fonte: Próprio autor, 2018.

5 Considerações Finais

No início do projeto foi realizado um estudo bibliográfico em artigos, teses de mestrado, trabalhos técnicos e artigos acadêmicos. O estudo de caso foi realizado em uma empresa do ramo eletroeletrônico do Polo Industrial de Manaus. Através de indicadores, que teve como objetivo demonstrar a importância da automação, para aumentar a produtividade de um processo de aparafusamento.

A coleta das informações foi realizada no processo de fabricação do produto, mais especificamente na linha de montagem do bloco de terminais. As informações foram obtidas mediante observação durante a montagem e análise de indicadores de produção.

Observado que, para realizar o processo de montagem, a organização dispõe de uma esteira de transporte do tipo (lona) e parafusadeiras pneumáticas do tipo shut off. A linha de produção apresenta uma grande demanda devido a alta produção e demanda do produto.

O projeto foi desenvolvido conforme o programado. Alguns ajustes mecânicos foram necessários para o correto funcionamento da linha. Entretanto tudo ficou dentro da análise de riscos. Em termos de valores, para esse investimento, gastou-se cerca de R\$ 101.750,48 a menos do que um braço robótico onde o retorno de lucro demoraria 3 meses a mais.

6 Referências Bibliográficas

GROOVER, Mikell, Automação Industrial e Sistemas de Manufatura. 3º (edição). São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011

PARKER, Tecnologia Pneumática Industrial. [Consulta, de 17 de maio de 2018] Disponível em: <http://www.parker.com>

FIALHO, Arivelto Bustamante, Automação Pneumática. 3ª edição. São Paulo: Erica, 2011.

MICRO, Automacion. [Consulta, de 5 de abril de 2018] Disponível em: <http://www.microautomacion.com>

FESTO PNEUMATIC. Introdução à pneumática. São Paulo: Festo, 1995.

THOMAZINI, Daniel. Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações. 8ª edição. São Paulo: Saraiva, 2011.

FESTO PNEUMATIC. Introdução à pneumática. São Paulo: Festo, 1995.

OBR, Equipamentos Industriais Ltda. [Consulta, de 30 de maio de 2018] Disponível em: <http://www.obr.com.br/guias-lineares.html>

MECTROL, Automação Industrial. [Consulta, de 03 de maio de 2018] Disponível em: www.mectrol.com.br

MANUTENÇÃO E SUPRIMENTOS. [Consulta, de 11 de março de 2018] Disponível em: <https://www.manutencaoesuprimentos.com.br/pros-e-contras-da-montagem-e-m-linha-de-producao/>

MARIBONDO, Juscelino de Farias. Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares aplicada a unidades de processamento de resíduos sólidos domiciliares. Tese (doutorado em engenharia mecânica), programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 277 p, 2000.