



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL**



RICARDO FLORES DE OLIVEIRA

**OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE MANUFATURA DO PROCESSO DE
SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ROBOTIZADA PARA REDUÇÃO DE CUSTO
COM ELETRODO**

MANAUS - AM

2024

RICARDO FLORES DE OLIVEIRA

**OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE MANUFATURA DO PROCESSO DE
SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ROBOTIZADA PARA REDUÇÃO DE CUSTO
COM ELETRODO**

Monografia apresentada à banca examinadora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial.

Orientadora: prof. MSc Renan Cavalcante Santos

Manaus - AM

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

O48o Oliveira, Ricardo Flores de.
Otimização de um sistema de manufatura do processo de soldagem por resistência robotizada para a redução de custo com eletrodo / Ricardo Flores de Oliveira. — Manaus, 2024.
45f.: il. color.

Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, 2024.
Orientador: Prof.º Renan Cavalcante Santos, Me.

1. Tecnologia. 2. Soldagem robotizada. 3. Eletrodo. 4. Rede de Petris. I. Santos, Renan Cavalcante. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 621.381

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734)

ANEXO 7

ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 18 dias do mês de setembro, de 2024, às 17:00 h, o(a) discente Ricardo Flores de Oliveira apresentou o seu Trabalho de Conclusão de Curso para avaliação da Banca Examinadora constituída pelos seguintes integrantes: Prof(a). Renan Cavalcante Santos (docente-orientador) Prof(a). Laura Michaela Batista Ribeiro (Membro 1) e Prof(a) Alyson de Jesus dos Santos (Membro 2). A sessão pública de defesa foi aberta pelo(a) presidente da banca, que apresentou a Banca Examinadora e deu continuidade aos trabalhos, fazendo uma breve referência ao TCC, que tem como título OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE MANUFATURA DO PROCESSO DE SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ROBOTIZADA PARA REDUÇÃO DE CUSTO COM ELETRODO. Na sequência, o(a) discente teve até 30 minutos para a comunicação oral de seu trabalho. Cada integrante da banca examinadora fez suas arguições após a defesa do mesmo. Ouvidas as explicações do(a) discente, a banca examinadora, reunida em caráter sigiloso, para proceder à avaliação final, deliberou e decidiu pela APROVAÇÃO com média final 9,0
(NOVE)

do referido trabalho.

Foi dada ciência ao(à) discente que a versão final do trabalho deverá ser entregue até o dia 18 / 10 / 24, com as devidas alterações sugeridas pela banca. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada às 18 h 15 min, sendo lavrada a presente ata, que, uma vez aprovada, foi assinada por todos os membros da Banca Examinadora e pelo(a) discente.

Prof.(a) Orientador(a)/Presidente: Renan Cavalcante Santos
Prof.(a) Avaliador 1: Laura Michaela B Ribeiro
Prof.(a) Avaliador 2: Alyson de Jesus dos Santos
Discente: Ricardo Flores de Oliveira

AGRADECIMENTOS

Aos nosso grande Deus e salvador Jesus Cristo, à minha família e amigos e em especial minha amada esposa Raiza de Souza Bezerra de Oliveira que me incentivou e apoiou em todos esses anos de lutas e sacrifícios, aos meus filhos que me motivavam a continuar toda vez que me dirigiam o olhar repleto de admiração, aos professores e colegas do Campus Manaus Distrito Industrial, em especial ao prof. MSc Renan Cavalcante Santos que sem o seu apoio e orientação, não seria possível a realização deste trabalho. A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste projeto.

RESUMO

As empresas de forma geral especialmente as metalúrgicas espalhadas pelo Brasil buscam cada vez mais com a ajuda da tecnologia ter uma maior competitividade no mercado. E isso implica diretamente em trabalhos de melhoria visando a eliminação de desperdício, aumentando o lucro e mantendo a qualidade que o mercado espera. Dito isto o presente trabalho vem mostrar que até processos já há muito tempo estabelecidos podem ser melhorados ao ponto de estarem equiparados com equipamentos da atual geração. utilizando recursos de baixo custo, já disponíveis, e análise crítica de melhoria de processos por parte dos envolvidos. Este trabalho descreve a melhoria em um processo de soldagem a ponto Robotizada na qual utilizava apenas 3% do eletrodo, ou seja, utilizado apenas 0,3 mm de 9mm do material de consumo, (eletrodo CT – 309 (bala)). O objetivo da melhoria consiste em mudar o sistema de ajuste do robô que ocorre de forma manual, para um sistema de ajuste autônomo garantindo assim o uso consciente de seu material de consumo. Utilizou-se as Redes de Petri para a modelagem do sistema e a partir desta, propôs-se um protótipo utilizando a linguagem ladder e lista de instrução como programação. Ao fim são comparadas as métricas dos processos antes e depois da otimização. Se antes utilizávamos 3% do eletrodo, após a melhoria alcançamos o resultado de 67% de uso do eletrodo, ou seja, passamos a utilizar 6mm do eletrodo, mantendo somente os 3mm finais como margem de segurança tendo como referência a recomendação do fabricante.

Palavras-chave: Tecnologia, processos, soldagem a ponto robotizada, eletrodo, Rede de Petris.

ABSTRACT

Companies in general, especially metallurgical companies spread throughout Brazil, are increasingly seeking, with the help of technology, to have greater competitiveness in the market. And this directly implies improvement work aimed at eliminating waste, increasing profit and maintaining the quality that the market expects. That said, the present work shows that even processes that have been established for a long time can be improved to the point of being on par with current generation equipment. using low-cost resources, already available, and critical analysis of process improvement by those involved. This work describes the improvement in a robotic spot-welding process in which only 3% of the electrode was used, that is, only 0.3 mm of 9mm of the consumables (electrode CT – 309 (bullet). The aim of the improvement is to change the robot's manual adjustment system to an autonomous adjustment system, thus ensuring the conscious use of its consumables. Petri nets were used to model the system and from this, a prototype was proposed using the ladder language and instruction list as programming. At the end, the metrics of the processes before and after optimization are compared. If before we used 3% of the electrode, after the improvement we achieved the result of 67% use of the electrode, that is, we started to use 6mm of the electrode, keeping only the final 3mm as a safety margin with reference to the manufacturer's recommendation.

Keywords: Technology, processes, robotic spot welding, electrode, Petris net.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Fábrica Objeto do estudo (autor desconhecido).....	10
Figura 2:Levantamento de dados (Fonte: o próprio autor).....	11
Figura 3:Medição dos eletrodos descartados (O próprio autor)	12
Figura 4:Consumo e Custos com eletrodo (O próprio autor)	12
Figura 5:Esquemático da soldagem a ponto (O próprio autor)	16
Figura 6:Grafo e Seus Elementos Básicos (Francês, 2003).....	18
Figura 7:Rede Marcada (Francês, 2003)	19
Figura 8:Estrutura de um robô (O próprio autor)	20
Figura 9:Varredura do CLP (DES Lopes)	21
Figura 10:Módulo da CPU (O próprio autor)	22
Figura 11:Símbolos Ladder (LUIS A. BRYAN AND E. A. BRYAN).....	23
Figura 12:Programação da trajetória do robô (O próprio autor)	24
Figura 13:Programação da trajetória do robô (O próprio autor)	25
Figura 14:Programação da trajetória do robô (O próprio autor)	25
Figura 15:Programação da trajetória do robô (O próprio autor)	26
Figura 16:Programação da trajetória do robô (O próprio autor)	26
Figura 17:Programação da trajetória do robô (O próprio autor)	27
Figura 18:Programação da trajetória do robô (O próprio autor)	27
Figura 19:Resumo da pesquisa de campo (O próprio autor).....	28
Figura 20:Calendarização Da Pesquisa (O próprio autor).....	29
Figura 21:Layout do chão de fábrica (o próprio autor)	30
Figura 22:Modelagem layout do chão de fábrica (o próprio autor)	30
Figura 23:Registro dos pontos de solda (O próprio autor).....	31
Figura 24:Desgaste do eletrodo Inferior (O próprio autor).....	31
Figura 25:Projeto do eletrodo e suas especificações (O próprio autor).....	32
Figura 26:Simulação do desgaste (O próprio autor).....	32
Figura 27:Resultado da simulação (O próprio autor).....	33
Figura 28:Estiramento do material base (O próprio autor).....	34
Figura 29:Coordenadas de movimentação do robô (O próprio autor).....	35
Figura 30:Ladder do robô para o controle dos pontos de solda (O próprio autor).....	35
Figura 31:Esquemáticos dos sinais dos pulsos de soldagem (O próprio autor)	36
Figura 32:Esquema de consumo total utilizando Contator Geral (O próprio autor)	37
Figura 33: Armazenamento da variável de posição (O próprio autor)	38
Figura 34:Programa de auto ajuste do robô (O próprio autor)	39
Figura 35:Posição gravada e instrução soldagem (O próprio autor)	39
Figura 36:Funcionamento da condição do Ladder do controlador do robô (O próprio autor).....	40
Figura 37:Funcionamento do programa Master com IN# 05 ativada (O próprio autor)	40
Figura 38:Funcionamento da instrução de deslocamento em Z+ (O próprio autor)	41
Figura 39:Eletrodo – Antes da implantação do projeto (O próprio autor)	42
Figura 40:Eletrodo – Depois da implantação do projeto (O próprio autor)	42
Figura 41:Eletrodo – Acompanhamento da troca do eletrodo (O próprio autor)	42
Figura 42:Tempo de Setup (O próprio autor).....	43
Figura 43: Antes e Depois - Consumo e custo (O próprio autor).....	44
Figura 44: Sistema depois da otimização – Rede de Petri (O próprio autor).....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Complexidade de peça ou produto (Fonte: Groover, 2011)	17
--	----

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	10
1.1.	JUSTIFICATIVA	11
1.2.	MOTIVAÇÃO	13
1.3.	OBJETIVOS	13
1.4.	OBJETIVO GERAL	13
1.5.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	SOLDAGEM.....	14
2.2	SISTEMA DE MANUFATURA	16
2.3	REDES DE PETRI.....	18
2.4	SOLDAGEM ROBÓTICA APLICADA A INDÚSTRIA	19
2.5	CLP.....	20
2.6	LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO LADDER.....	22
2.7	LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO DO ROBÔ.....	23
3	METODOLOGIA	28
4	PROBLEMÁTICA.....	29
5	PROPOSTA E VIABILIDADE DA OTIMIZAÇÃO	34
5.1	ELEMENTOS DE ENTRADA E SAÍDA DO LADDER DO ROBÔ	36
5.2	DESCRIÇÃO DO PROGRAMA DE AUTO AJUSTE	37
5.3	DETALHAMENTO DO FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA DE AUTO AJUSTE.....	39
5.4	MOVIMENTAÇÃO E INSTRUÇÃO.....	39
6	RESULTADOS.....	41
7	CONCLUSÃO	45
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1. INTRODUÇÃO

Segundo Rosa Maria Marques (1990) o robô de solda a ponto torna o processo relativamente mais barato do que outros robôs ou mesmo outros equipamentos. Na atualidade, o robô e a máquina de solda se tornaram um só. Essa combinação exclusiva proporciona uma nova dimensão em soldadura de ponto. Hoje é possível criar novas células e estações de solda altamente densas, com o objetivo de aumentar o número de robôs em ação simultânea. Pode ser instalada no chão ou no teto, a célula pode ser transportada e instalada como uma unidade completa em qualquer lugar do mundo, com modularidade e processos de padronização operacional de nível global. Dessa forma, temos como objetivo geral a otimização deste processo através de uma linguagem de programação capaz de realizar um autoajuste no processo robotizado, afim de manter o eletrodo sempre em contato com a peça, eliminando o desperdício do eletrodo, a inutilidade da peça com defeito e aumento da eficiência do processo, demais ganhos como redução do número de setups para troca de eletrodos, peças retrabalhadas e paradas no equipamento também são uma realidade após implantação da melhoria. A finalidade principal deste estudo é contribuir com a avaliação do uso das tecnologias já disponíveis em máquinas e equipamentos, apontando seus recursos e os melhores modos de uso para um melhor desempenho na fabricação de produtos. Em suma, o objeto de estudo que este trabalho apresenta é a melhoria em um processo de soldagem a ponto Robotizada em uma empresa do polo de duas rodas no distrito industrial de Manaus. Em relação ao tema de otimização deste processo em específico, se deve ao seguintes Problemas:

- Desperdício do material de consumo; e aqui me refiro ao eletrodo;
- Defeitos que levam a inutilização da peça; devido ao desgaste do eletrodo;
- Baixa eficiência devido a gargalos; relacionadas as trocas constantes dos eletrodos.

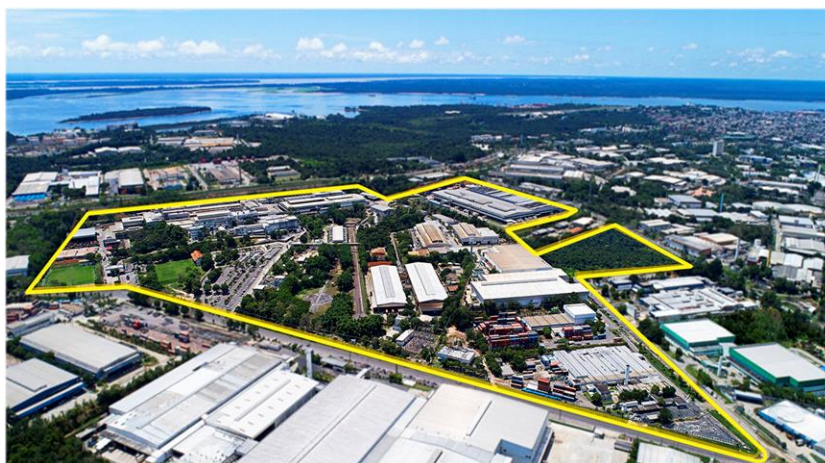


Figura 1:Fábrica Objeto do estudo (autor desconhecido)

1.1. JUSTIFICATIVA

Para entendermos a justificativa deste tema, podemos observar os dados que foram levantados através de uma pesquisa de campo quantitativa. Diversas células robóticas utilizam o eletrodo como material de consumo, porém, conforme podemos observar na figura 2 neste posto de trabalho em específico há uma frequência de setup's muito elevada e ainda de acordo com o levantamento de dados, o posto 4, é o que mais vem utilizando eletrodos, consumindo mais de 4 mil eletrodos mensalmente, muito acima do que os outros postos utilizam conforme mostra a também a figura 2.

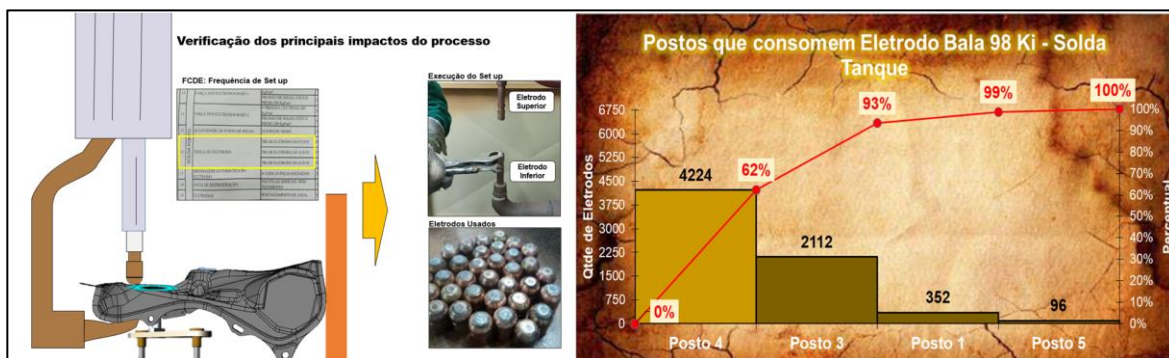


Figura 2: Levantamento de dados (Fonte: o próprio autor)

Ao realizar a verificação dos eletrodos descartados constatou-se que os mesmos estavam muito abaixo do consumo ideal, ou seja, estava sendo utilizado apenas 3% de todo o eletrodo, caracterizando desperdício acentuado conforme podemos verificar através da figura 3. Podemos confirmar ainda através de acompanhamentos o total de eletrodos descartados por dia chegando a 16 unidades de eletrodos ao final dos turnos de trabalho (ver figura 3). Foi utilizado instrumento de precisão para avaliação dos eletrodos conforme mostrado na figura 3.

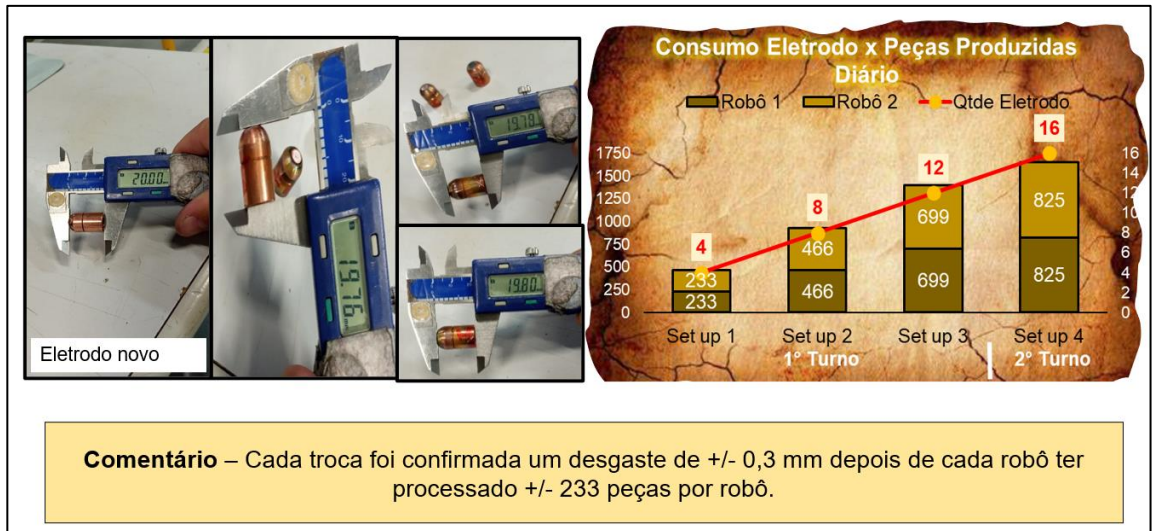


Figura 3: Medição dos eletrodos descartados (O próprio autor)

Ao final do levantamento devido ao alto consumo de eletrodos quando comparados a outros processos, chegamos ao valor anual de 84 mil (oitenta e quatro mil reais), gastos somente com eletrodos no processo de soldagem a ponto do posto 4 como mostra a figura 4.

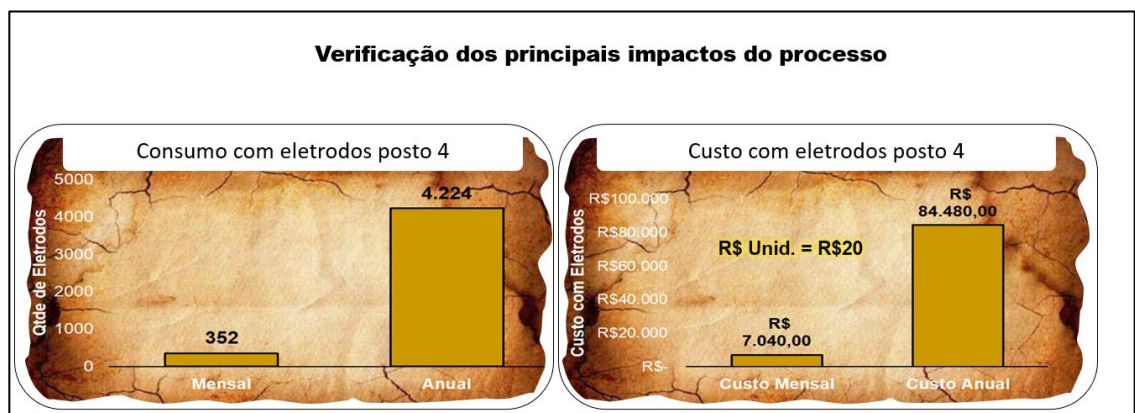


Figura 4: Consumo e Custos com eletrodo (O próprio autor)

Todos os dados apresentados nos mostram que processo de soldagem por resistência robotizada do posto 4 não apresenta resultados satisfatórios, tanto do ponto de vista financeiro pois possui um baixo aproveitamento de seus insumos, quanto a sua eficiência devido as constantes paradas para setup's. Em se tratando de resultados quanto aos processos robotizados de acordo com Teodiano Freire e Bastos Filho (2014), afirmam que de forma geral, as empresas que querem robotizar seus processos normalmente possuem problemas complexos para resolver, o que implica na necessidade de adquirir robôs caros e de alta precisão, que muitas das vezes não alcançam o resultado esperado.

1.2. MOTIVAÇÃO

Diante de todo cenário apresentado, como discente de uma renomada Instituição Federal e formando de uma disciplina técnica e científica no Curso Superior em Tecnologia em Mecatrônica Industrial me sinto totalmente motivado ou mesmo compelido a aplicar os conhecimentos adquiridos neste renomado Instituto federal de educação, ciência e tecnologia do Amazonas (IFAM - CMDI), de forma a contribuir significativamente com a redução de custos com o material de consumo, ou seja, a redução de custo com eletrodo. Utilizando recursos de baixo custo já disponíveis e realizando uma análise crítica de melhoria deste processo, tornando o produto mais acessível para o cliente, garantindo a competitividade da empresa no mercado, através de um produto mais acessível para o cliente.

1.3. OBJETIVOS

1.4. OBJETIVO GERAL

Realizar uma análise e estudo para otimizar o processo robotizado quanto a utilização do eletrodo, eliminando desperdício e reduzindo o custo.

1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Abordar o estudo da causa do descarte precoce do eletrodo, avaliação do projeto do eletrodo, simulação do desgaste e seu impacto no produto.
- Verificar o sinal do pulso de soldagem, necessário para quantificar o número de pontos executados até o seu descarte, mensurando assim, em que momento deve ser aplicado o método para compensação do desgaste.
- Determinar a combinação da lógica de programação quanto a otimização.
- Determinar, como será utilizada a lógica de programação para compensação do desgaste do eletrodo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Foi realizado um estudo em forma de revisão teórica relativa aos principais conhecimentos para embasamento da pesquisa bem como seus elementos principais para idealização do projeto a ser implementado.

2.1 SOLDAGEM

O processo de soldagem permite a união entre metais, os mesmos são fundidos permanentemente, de forma rápida e segura, a soldagem mostrou-se um elemento viável quando se trata de produção de carcaças e peças. Desde os tempos remotos o processo de soldagem já era utilizado, por meio do forjamento e soldagens por brasagem. Esse processo muito utilizado na indústria ainda é recente, tendo em torno de 100 anos (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009, p. 25). Foi apenas na primeira guerra mundial que a indústria iniciou uma crescente produção, necessitando assim, de métodos mais práticos e rápidos. Almejando segurança e agilidade na união de peças, pesquisadores iniciaram uma intensa busca para reestruturar o processo de soldagem, colocando-a como um dos principais setores na indústria da época. Por esse motivo, de acordo Marques, Modenesi e Bracarense (2009, p. 26), outros métodos de soldagem foram criados para que a demanda crescente da união de diferentes materiais fosse atendida, assim aprimorando a técnica.

Na atualidade, existem mais de 50 tipos diferentes de soldagem que são utilizados no ramo industrial, esse número de métodos de soldagem é justificado por conta da necessidade de uma boa soldabilidade e pelo surgimento de novos tipos de aços e ligas metálicas. Para que se possa escolher o processo de soldagem correto, é necessário a observação do tipo de material que irá ser soldado, a espessura, a aplicação e a qualidade final desejada. Em resumo, a soldagem é a união de materiais através de uma temperatura controlada, com ou sem material de adição, o processo MIG/MAG é um exemplo de soldagem que utiliza material de adição, pois, através de um processo semi automático, alimenta constantemente um aço revestido de cobre na junta do material de base para que através da deposição de material nas juntas ocorra a fusão entre as chapas. Outra tecnologia da soldagem bastante utilizada é a soldagem por resistência, que não utiliza material de adição. Dentre os vários tipos de soldagem por resistência como: a solda por resistência por projeção, a solda por resistência por costura e a solda por resistência a ponto, a solda por resistência a ponto ainda é a mais utilizada na indústria metal mecânica.

A soldagem por pontos é um processo em que as superfícies são unidas por meio de um ou mais pontos (DES Lopes, JM de Castro Baker, MM Marciano, 2015) sobre os quais são aplicados calor e pressão; o calor é gerado pela resistência a uma corrente elétrica que passa através das peças mantidas em contato durante um curto período de tempo; o processo utiliza baixa tensão, alta intensidade de corrente e pressão. Quando a intensidade de corrente cessa, a pressão é mantida enquanto o metal se solidifica. Os eletrodos são afastados da superfície depois que se realiza cada ponto. As dimensões e formas das soldas são limitadas, principalmente em função das dimensões e contornos das faces do eletrodo. A soldagem por pontos utiliza eletrodos cilíndricos e a corrente de soldagem é concentrada num ponto na junta (ZIEDAS, 1997; TATINI, 1997 APUD INFOSOLDA, 2013). A solda a ponto por resistência é amplamente usada na indústria automobilística (DC Ruiz, GF Batalha - Escola Politécnica da USP, 2005 - sites.poli.usp.br) e no polo de duas rodas, em virtude da simplicidade, fácil controle e menor investimento, com um produto de qualidade e resistência satisfatórias. Exemplo: um automóvel possui cerca de 4500 pontos de solda toda essa quantidade de aplicação levando em consideração se fosse realizado com solda MIG/MAG, na qual é aplicado um material de adição em forma de arame derretido isso faria com que toda a chapa de aço que compõe o automóvel se deformaria devido aos efeitos das alterações mecânicas geradas pelo calor. Isso não ocorre com a soldagem a ponto. Na figura 5 podemos observar as etapas que ocorrem na soldagem a ponto. Primeiramente temos o tempo de acostamento em que ocorre a aproximação do eletrodo, após a pré-pressão ocorre o tempo de subida da corrente em que ocorre elevação da corrente que permanece por um tempo pré-determinado, essa corrente é a primeira aplicação de corrente, necessária para romper as primeiras camadas do material base, principalmente em matérias que apresentam revestimento anticorrosivos como o zinco níquel por exemplo, após um breve período de resfriamento é ativada a segunda aplicação da corrente, responsável por fundir os materiais em seguida após ao tempo de descida da corrente ocorre a abertura dos eletrodos com o ponto de fusão já solidificado finalizando assim o processo.

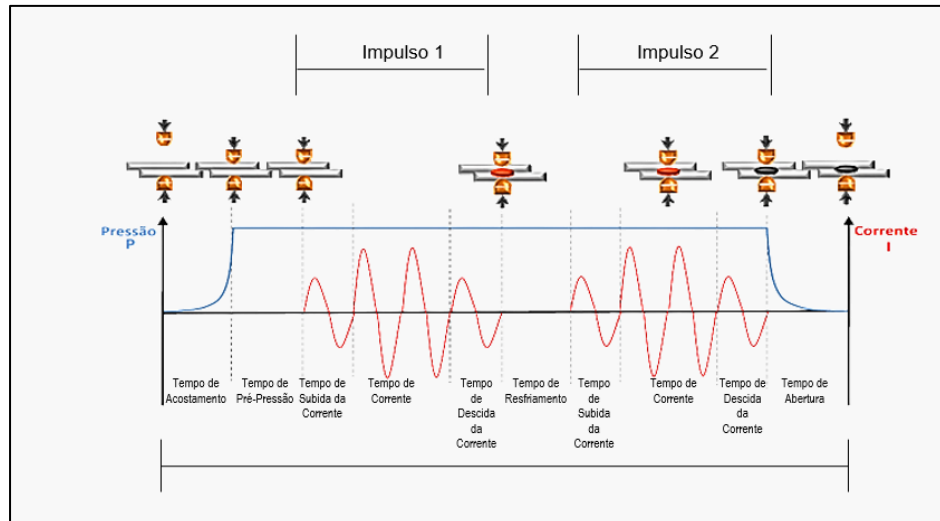


Figura 5:Esquemático da soldagem a ponto (O próprio autor)

2.2 SISTEMA DE MANUFATURA

O processo de manufatura é definido como a conversão de matérias-primas e componentes em produtos finais (NMN Alcaçarenho - 2016). É exatamente o que ocorre em um sistema de manufatura do polo de duas rodas. A matéria prima chega em seus processos primários de transformação, onde são estampados, usinados, soldados e finalmente montados chegando assim em um produto final após passar por vários processos de transformações. O tipo de operação do objeto de estudo em questão é justamente o processo de transformação que diz respeito a soldagem de um componente a outro que fica na parte inferior do tanque de combustível que compõe uma motocicleta. O presente trabalho manterá seu foco somente na estação de trabalho cujo será realizado a melhoria, sabendo que um sistema de manufatura consiste em seu número de estações (Groover, 2011), porém, apresentaremos o layout da planta para o melhor entendimento do desenvolvimento do projeto. A fábrica modelo do presente estudo é definida por sua produção de motocicletas do polo de duas rodas e situada no Polo Industrial de Manaus de nível global e a mesma dispõe de equipamentos de alta tecnologia, como o robô de solda ponto.

O sistema de manufatura do polo de duas rodas possui diversas estações de trabalho, as estações que compõem o layout onde está localizado o posto 4 de trabalho do qual foi apontado como o mais problemático com base no levantamento de dados é somente uma estação das

dezenas de centenas na empresa na qual é o objeto de estudo, logo podemos caracteriza-los como um sistema de multe estação que influencia diretamente no fluxo produtivo do setor, vale ressaltar que o nível de automação que configura o processo é semiautomático, ou seja, possui a necessidade de um operador durante os ciclos de trabalho dos robôs de solda. Há estações que a soldagem dos componentes ocorre de forma manual onde o operador precisa estar presente de forma contínua para garantir as tarefas relacionadas a operação. Em relação a complexidade do sistema levando em consideração o estudo de (Groover 2011), analisando a complexidade da peça que nesse caso passa por processos de transformação mecânicas; quantidade anual de produção pois a referida empresa conta com o atual 75% de Market Chair e ainda levando em consideração a variedade de produtos, podemos concluir que o sistema se trata de um “Sistema multe estação com roteamento variável, com operadores ou sistemas automatizados”. Podemos comprovar verificando a tabela 1.

Variedade de produto	Alta	Layout por processo com múltiplas células com uma estação, com operadores	(Múltiplos sistemas necessários)	(Múltiplos sistemas necessários)
	Leve	Layout por processo com múltiplas células com uma estação com operadores	Sistema multe estação com roteamento variável, com operadores ou automatizado	Sistema multe estação cm roteamento fixo, com operadores ou automatizado.
	Nenhuma	Produção artesanal	Layout por processo com múltiplas células com uma estação com operadores ou automatizado	Sistema com multe estação com roteamento fixo, com operadores ou automatizado
		Baixa	Média	Alta

Tabela 1. Complexidade de peça ou produto (Fonte: Groover, 2011)

2.3 REDES DE PETRI

Em se tratando de sistemas, a Rede de Petri se torna uma opção quando falamos de sistemas complexos, como o sistema de manufatura. Pois é uma técnica de modelagem que permite a representação de sistemas simples e complexos, que utiliza como fundamento a base matemática [MAC96]. Utilizando essa técnica, podemos modelar sistemas paralelos, concorrentes, não-determinísticos e assíncronos (FRANCÊS, 2003). Basicamente, uma rede de Petris é formada por alguns componentes como a transição, que é um componente ativo e é representado por uma barra. Outro componente muito importante, são os “lugares”, representados por círculos. Os lugares representam as variáveis de estado e as transições equivalem as ações realizadas dentro do sistema. Os dois componentes, transição e lugar, são ligados entre si por arcos dirigidos. Estes arcos podem ser múltiplos ou únicos, dependendo da situação e da necessidade de resolução do sistema.

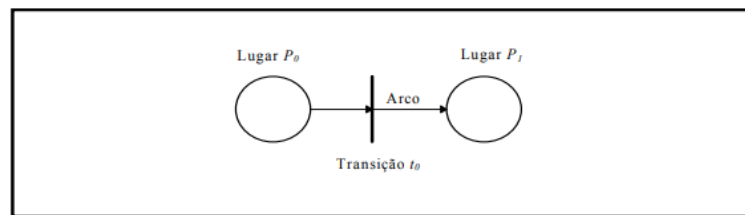


Figura 6: Grafo e Seus Elementos Básicos (Francês, 2003)

As redes de Petris também possuem um elemento chamado de marca, que nada mais são que informações que serão atribuídas aos lugares, e são responsáveis por representar a situação ou estado da rede em dado momento. As marcas são enviadas de lugar a lugar de acordo com a transição entre os círculos (lugares). Dessa forma, para exemplificar o comportamento dinâmico dos sistemas, a rede de Petris é sempre alterada, por conta das movimentações das marcas. Ou seja, cada momento da simulação do sistema, terá uma representação diferente na rede de Petris.

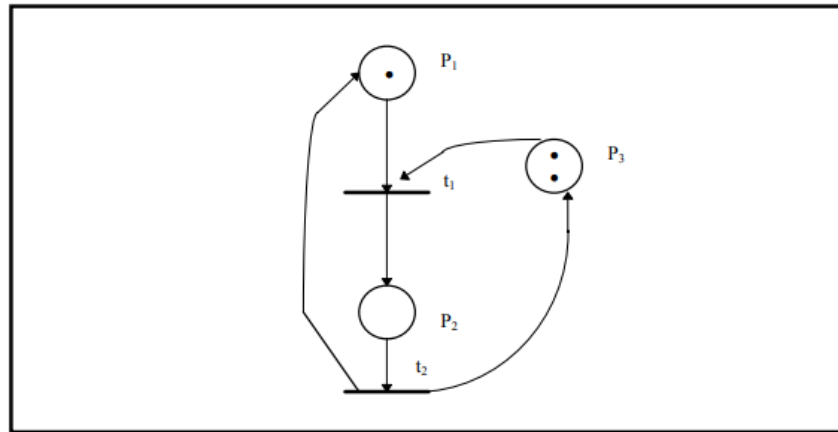


Figura 7: Rede Marcada (Francês, 2003)

2.4 SOLDAGEM ROBÓTICA APLICADA A INDÚSTRIA

Com o advento das novas tecnologias, a indústria automobilística optou por automatizar o processo de soldagem. Pois a maior preocupação da indústria, se dá em relação a produtividade e lucratividade. A automação desse processo, trouxe consigo a diminuição dos custos de produção, evitando desperdícios, tendo em vista que antigamente nesse processo a degradação dos materiais era intensa. PIKANÇO (2010, p. 24) dialoga que robôs podem, mesmo que simples, ser a solução econômica e efetiva para trabalhos de soldagem a arco. O processo de soldagem robotizados, dentro da indústria automobilística, adiciona benefícios como a redução de problemas a saúde humana, pois a atividade humana vai ser substituída pelo robô, como também o aumento da agilidade e qualidade das soldas. Cantares (2010, p. 15) comenta que a indústria se equipa utilizando softwares de simulação de plantas e linhas de produção com o intuito de esclarecer problemas vindouros, acarretando menos paradas a produção. Podemos dizer que a produção em larga escala, a confiabilidade no processo, a operação em ambientes difíceis e complexos e ainda processos desagradáveis ao ser humano, vem tornando a busca pela robotização de processos uma realidade cada vez mais presente nas indústrias desde que a unimotion instalou o primeiro robô em 1961. Segundo a RIA (Robotics Industries Association), “um robô é um manipulador reprogramável, multifuncional, projetado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especializados através de movimentos programáveis variáveis a fim de desempenhar uma variedade de tarefas”. Com respeito a sua estrutura, um robô é um sistema mecânico, de estrutura variada, formada por corpos rígidos,

articulados entre si, destinados a sustentar, posicionar e/ou orientar o seu órgão terminal, que dotado de uma garra mecânica, uma tocha de soldagem, uma ventosa ou ferramenta especializada, fica em contato direto com o processo, no caso do robô de solda ponto esse órgão específico chama se “Gun” ou “Servo Gun”, comumente chamado de “pinça de solda” no chão de fábrica, podemos visualizar um robô de solda ponto com o seu Servo Gun na figura 8.

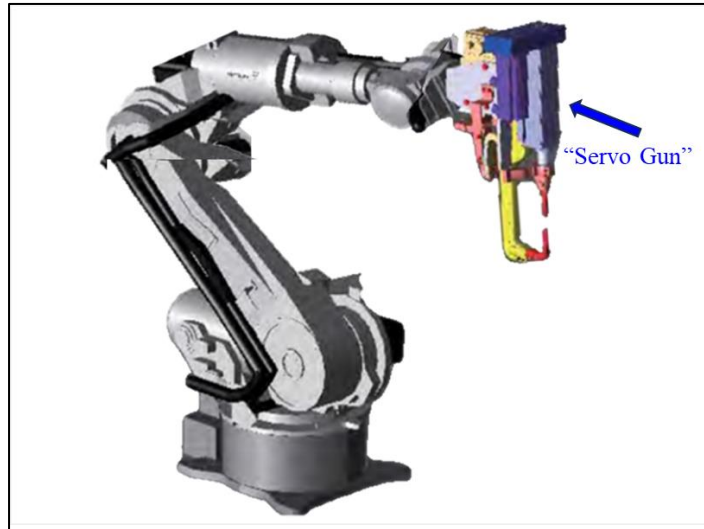


Figura 8: Estrutura de um robô (O próprio autor)

2.5 CLP

De acordo com a ABNT, os CLP's são definidos como um dispositivo eletrônico-digital para aplicações industriais. A sigla CLP é uma abreviação de Controlador Lógico Programável, e muitas das vezes são encontrados em apostilas de ensinos técnicos como PLC's, sigla que em inglês significa Programmable Logic Controller. Em 1968 foi criado o primeiro CLP na divisão de Hidráulicos da General Motors. Ele surgiu com intuito de revolucionar os antigos painéis elétricos que utilizam uma lógica fixa que não permite mudanças extras nos processos. A criação de tal equipamento foi possível apenas por conta dos circuitos integrados e da lógica de programação digital.

Os CLP's podem ser programados sem interromper o processo produtivo, possuem baixo consumo de energia elétrica, economia de espaço devido ao seu tamanho e apresentam fácil diagnóstico durante o projeto, além de criar a possibilidade de um banco de dados de armazenamento de programas e necessitar de uma equipe de manutenção bem reduzida. Na figura abaixo podemos visualizar o funcionamento básico do CLP, que funciona através de sequências, ou seja, ele realiza um ciclo de varreduras e executa uma etapa por vez. Quando cada ciclo for executado, as outras etapas ficaram inativas. O CLOCK é o nome que recebe o

tempo total para a realização de cada ciclo, por esse motivo existem alguns processadores mais rápidos que outros.

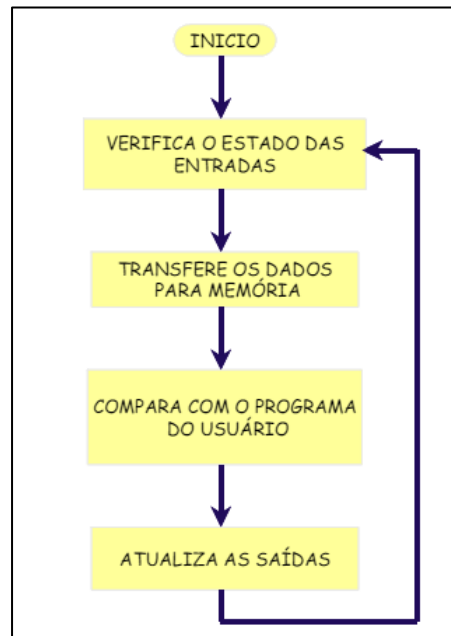


Figura 9: Varredura do CLP (DES Lopes)

A partir do entendimento do funcionamento do CLP, podemos adentrar na estrutura que compõem o controlador do robô, que mesmo que não possuam um CLP dedicado para realização de lógica de programação, toda sua estrutura eletrônica e tecnologias, bem como seu hardware e software, fazem com que o controlador do robô possua todas as funções de um CLP, podendo ser facilmente reprogramado conforme a necessidade do processo; implementações e modificações são de fácil operação para programadores bem qualificados na área de atuação, os módulos dos controladores do robô de modelo NX100 são concebidos para executar tarefas específicas. Distribuição de energia, controle lógico, interface e servo controle estão fisicamente separados, mas se comunicam constantemente. O módulo de CPU (Unidade Central de Processamentos) que consiste em executar o controle de alimentação da placa de circuito impresso ou Mother Board, das placas de circuitos de controle, das placas de entrada/saída do robô e placas de circuitos de posição de servo controle conforme mostra a figura 10. Portanto, todos os recursos necessários para a realização de estudos para implementação, estão disponíveis na estrutura dos controladores dos robôs.



Figura 10:Módulo da CPU (O próprio autor)

2.6 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO LADDER

Ladder em inglês significa “escada”, tem esse nome pois quando as linhas de programação são criadas, se assemelham a escadas. Os símbolos e funções da linguagem ladder, seguem o padrão da norma internacional, mas existem algumas variações em seus símbolos de acordo com o fabricante do produto. O Ladder é uma das linguagens existentes dentro do padrão IEC 61131, ele condensa exigências a serem implementadas e seguidas pelos sistemas que utilizam CLP’s. Essa linguagem de programação foi criada por meio da transcrição de símbolos e expressões que já existiam nos circuitos lógicos a relé, dessa forma, mantendo a programação do CLP simples e enxuta (LUIS A. BRYAN AND E. A. BRYAN - 1997). A figura a seguir expõe alguns dos símbolos e suas funções, dentro do ambiente de programação Ladder.

Função	Símbolo	Definição
Entrada		Contato normalmente aberto. Retorna o valor booleano existente em uma referência (1 caso a referência seja 1 e vice-versa).
		Contato normalmente fechado. Retorna o inverso do valor booleano existente em uma referência (1 caso a referência seja 0 e vice-versa).
Saída		Bobina de saída. Controla uma saída real ou interna. Caso a lógica resultante no degrau seja 1 o valor da bobina será 1, e vice-versa.
Temporizadores		Temporizador TON. Após um intervalo de tempo determinado (valor de PT) a saída (Q) é ativada, caso exista lógica 1 na entrada (IN).
		Temporizador TOF. Energiza a saída (Q) caso exista lógica 1 na entrada (IN). Caso o valor da entrada se torne 0, após um intervalo de tempo determinado (valor de PT) a saída é desativada.
		Temporizador TP. Energiza a saída (Q) caso exista lógica 1 na entrada (IN) durante o tempo pré-determinado (PT). Mesmo que a lógica da entrada se torne 0 a saída continuará a ser energizada durante o intervalo de tempo PT.

Figura 11: Símbolos Ladder (LUIS A. BRYAN AND E. A. BRYAN).

2.7 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO DO ROBÔ

O controlador de um robô inclui o seu sistema operativo, o qual executa as diversas funções de controle do robô, entre elas o modelo cinemático do manipulador, o algoritmo de controle e a compilação/interpretação do código fornecido pelo programador e que representa a forma como o robô é suposto atuar (MOURA, Frederico Emanuel Matos da Silva- 2017), a necessidade de executar tarefas mais complexas levou à criação de linguagens de programação específicas em relação aos robôs industriais, como a programação *on-line onde* que consiste na movimentação de um robô industrial, de forma manual, recorrendo a um console portátil denominado *teach-pendant*. O recurso a um *teach-pendant* permite ao programador

movimentar o robô (de forma assistida) usando as teclas ou *joystick*. O programador deve conduzir o robô in loco, o levando a cada posição desejada e gravar essa posição na memória do robô, ou seja, essa posição é armazenada nos encoders dos robôs que ficam localizados em cada eixo do robô. A figura abaixo mostra o robô em sua posição inicial e a tela do display do pendant mostra que ainda não foi gravada nenhuma posição do robô e em seguidas veremos o passo a passo desta programação específica dos robôs. Conforme o programador vai criando as posições do robô, através das instruções, o programador cria uma instrução lógica baseado em uma lista de instruções ou texto estruturado, após a finalização, tanto em modo automático quanto em modo de simulação, o controlador do robô realiza uma varredura semelhante ao CLOCK na linguagem ladder, transformando cada instrução em movimento do robô.

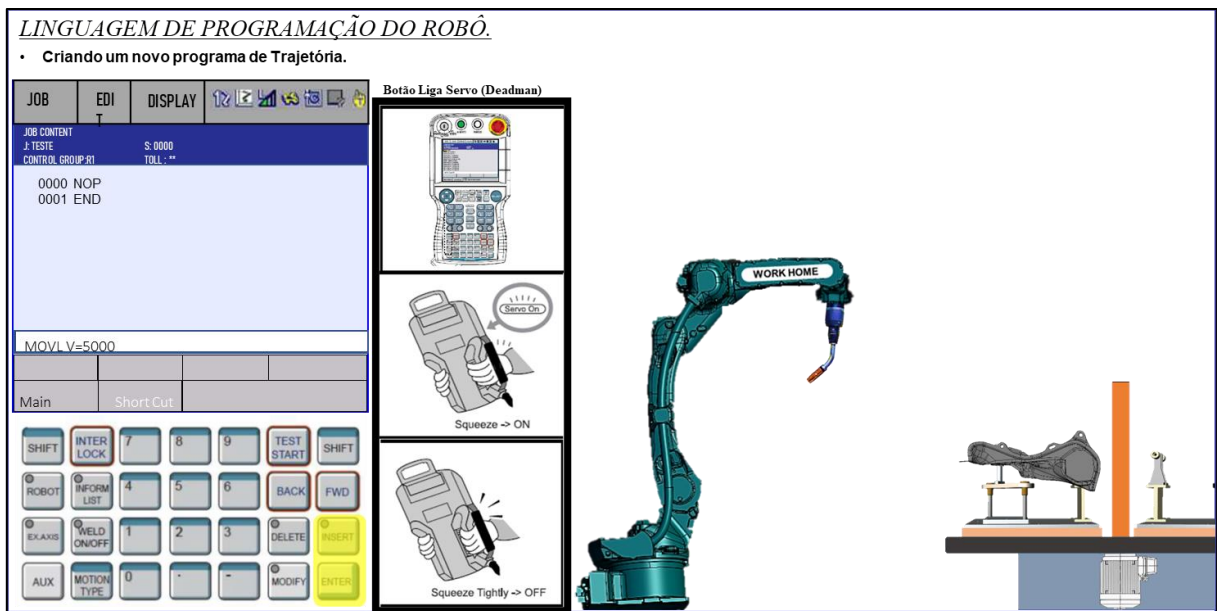


Figura 12: Programação da trajetória do robô (O próprio autor)

As figuras 13,14,15,16,17 e 18 demonstram exatamente como descrito iniciando o robô na posição 0000 NOP (não operante) para a primeira linha gravada como posição inicial de leitura ou posição de work home, como é chamado por muitos programadores, que significa, posição inicial de trabalho. Ao final de toda programação, temos a execução do programa conforme descrito anteriormente.

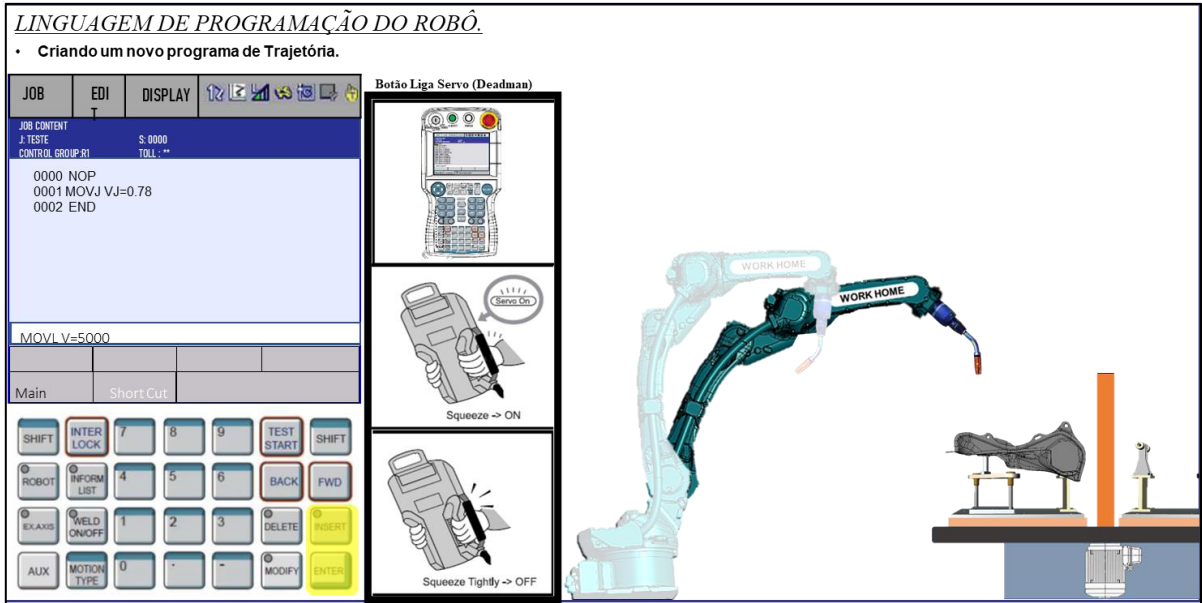


Figura 13:Programação da trajetória do robô (O próprio autor)

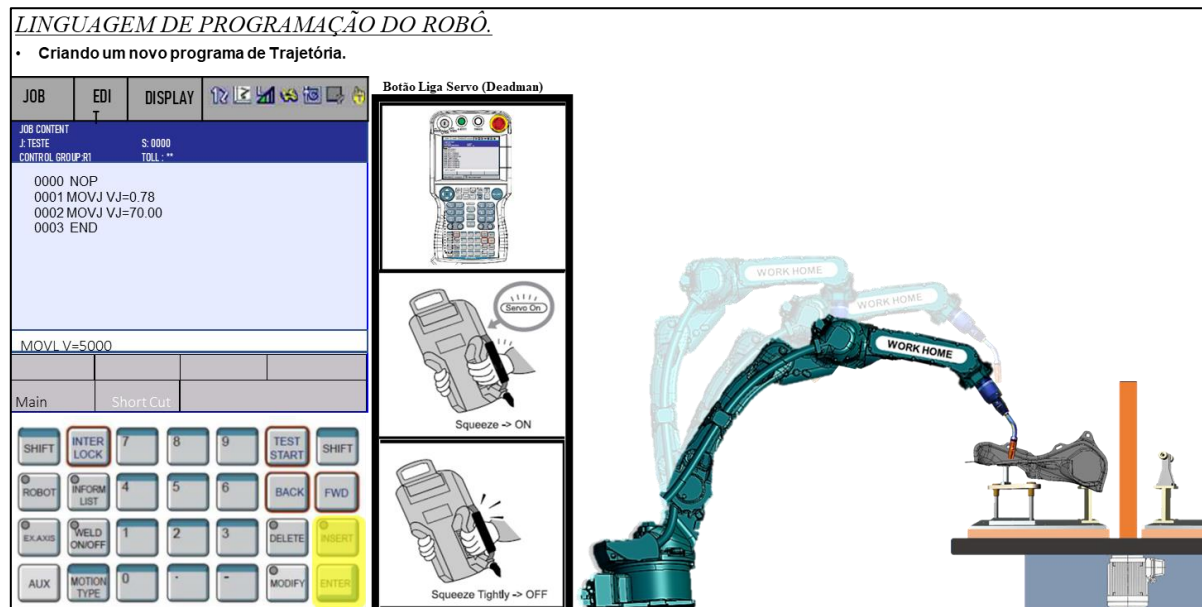




Figura 14:Programação da trajetória do robô (O próprio autor)

LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO DO ROBÔ.

- Criando um novo programa de Trajetória.

JOB	EDI	DISPLAY	Botão Liga Servo (Deadman)	
JOB CONTENT	T	S: 0000	 Squeeze -> ON	
J. TESTE		TOLL: **		
CONTROL GROUP:R1				
0000 NOP 0001 MOVJ VJ=0.78 0002 MOVJ VJ=70.00 0003 MOVL V=5000 0004 END				
MOVL V=5000			 Squeeze Tightly -> OFF	
Main	Short Cut			
SHIFT	INTER LOCK	7 8 9	TEST START	SHIFT
ROBOT	INFORM LIST	4 5 6	BACK	FWD
EX AXIS	WELD ON/OFF	1 2 3	DELETE	INSERT
AUX	MOTION TYPE	0	MODIFY	ENTER

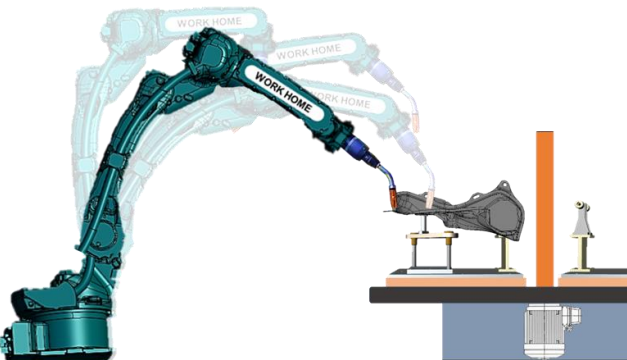

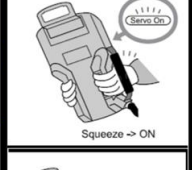


Figura 15:Programação da trajetória do robô (O próprio autor)

LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO DO ROBÔ.

- Criando um novo programa de Trajetória.

JOB	EDI	DISPLAY	Botão Liga Servo (Deadman)	
JOB CONTENT	T	S: 0000	 Squeeze -> ON	
J. TESTE		TOLL: **		
CONTROL GROUP:R1				
0000 NOP 0001 MOVJ VJ=0.78 0002 MOVJ VJ=70.00 0003 MOVL V=5000 0004 ARCON 70 A 16.0 V 0005 MOVL V=70 0005 END				
MOVL V=5000			 Squeeze Tightly -> OFF	
Main	Short Cut			
SHIFT	INTER LOCK	7 8 9	TEST START	SHIFT
ROBOT	INFORM LIST	4 5 6	BACK	FWD
EX AXIS	WELD ON/OFF	1 2 3	DELETE	INSERT
AUX	MOTION TYPE	0	MODIFY	ENTER

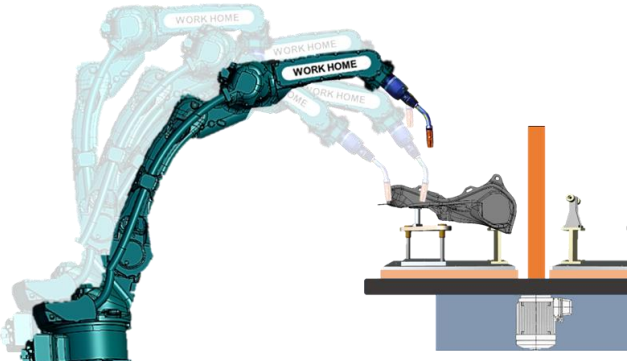


Figura 16:Programação da trajetória do robô (O próprio autor)

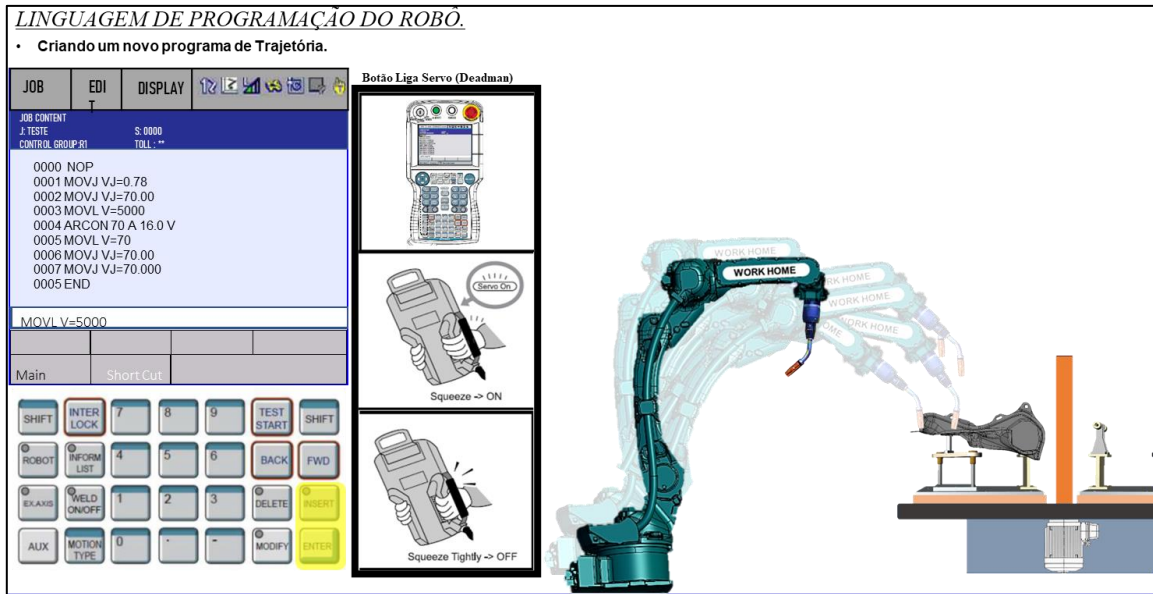


Figura 17: Programação da trajetória do robô (O próprio autor)

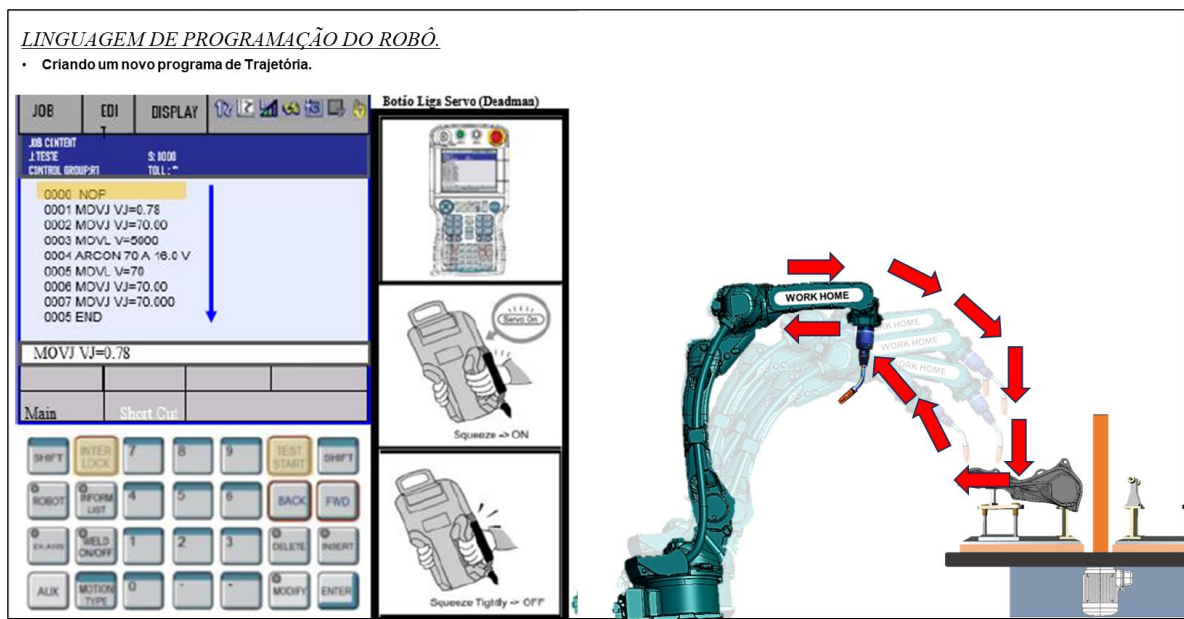


Figura 18: Programação da trajetória do robô (O próprio autor)

As primeiras linguagens dedicadas especificamente para a programação de robôs surgem da necessidade de evolução das aplicações (para, por exemplo, abrangerem operações matemáticas complexas) e, principalmente, da necessidade de se utilizar a informação de sensores durante o programa. As diversas linguagens de programação mais recentes especificam diferentes conjuntos de instruções e são, em termos de sintaxe, por vezes, bastante díspares. Contudo, as suas construções apresentam pontos comuns, tendo estas linguagens sido

desenhadas para criar estruturas de dados e algoritmos, recorrendo estes a funções e subfunções, centrados nos movimentos do robô e instruções para decisões condicionais. Quanto à evolução, existem vários pontos de vista sobre que curso a programação de robôs industriais deverá tomar. Em alguns casos, os fabricantes optam por oferecer interfaces para linguagens de alto-nível mais comuns e conhecidas, como por exemplo C++ ou Java (caso da KUKA) e texto estruturado (Yaskawa modelo usado como projeto nesta monografia). Esta abordagem abre novas possibilidades de complexidade à programação. Isto, dado se tratarem de linguagens muito divulgadas, flexíveis e presentes em diversos tipos de plataformas, para diversos fins.

3 METODOLOGIA

Em Relação ao tipo de metodologia, foi aplicada uma pesquisa de campo quantitativa, onde foram verificados, projetos e neste caso me refiro ao projeto do eletrodo que veremos logo a seguir, vários registros de dados que foram utilizados para os levantamentos da situação atual do posto 4 demonstrados no início desta monografia como também checagens in loco, onde foi possível constatar a numerosa quantidade em que os eletrodos armazenados em marfinita para posterior descarte e por fim várias entrevistas que realizei com os operadores para que se pudesse entender os fenômenos que foram já apresentados como o número de setup's, o consumo excessivo de eletrodos e seu descarte precoce, como podemos visualizar um resumo na figura 19. Após toda pesquisa de campo foi elaborado uma calendarização que abrange o período de janeiro a dezembro de 2023 como podemos verificar na figura 20.

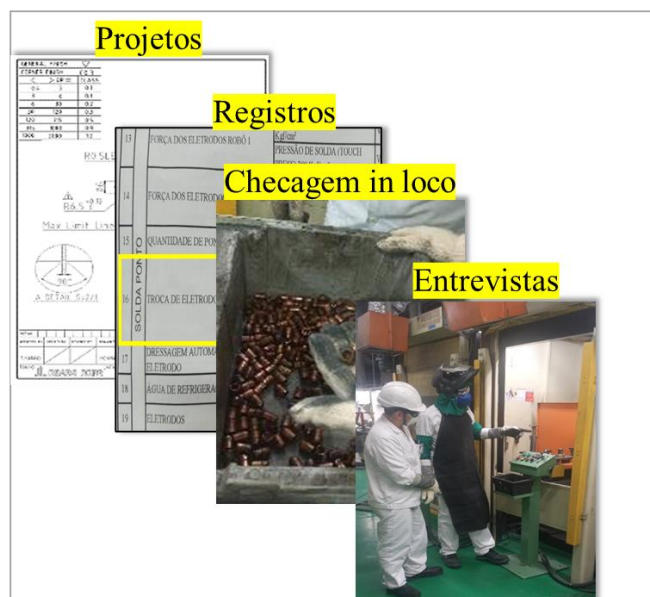


Figura 19:Resumo da pesquisa de campo (O próprio autor).

IT	ATIVIDADES	CALENDARIZAÇÃO PARA ESTUDO E DA IMPLANTAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA - 2023												RESP.	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	ESTUDO DA VIABILIDADE	▼	▼	▼											Ricardo Flores
2	LEVANTAMENTO PARA SETUP ELETRODO				✗	▼									Ricardo Flores
3	RASTREIO DE SINAIS					▼									Ricardo Flores
4	MELHORIA DO ACESSO DO DISPOSITIVO						▼								Paulo Dias
5	PROGRAMAÇÃO DOS ROBÔS					✗	▼								Ricardo Flores
6	TRY-OUT						✗	▼	▼						Ricardo /Dayane
7	APROVAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO									▼	▼				Gestão da área
8	RESULTADOS												▼	▼	Ricardo Flores

Figura 20: Calendarização Da Pesquisa (O próprio autor).

4 PROBLEMÁTICA

A empresa objeto do estudo desta monografia possui mais de 40 anos de atividades no polo industrial de Manaus, logo a mesma possui processos a muito tempo já estabelecidos como os robôs do posto 4 que já possui um tempo estimado de 18 anos de utilização, logo não seria apropriado avaliar a possibilidade de substituição? Porém, precisamos lembrar das palavras de Teodiano Freire e Bastos filhos que diz: “as empresas querem robotizar seus processos e acabam adquirindo esses equipamentos com um altíssimo custo, porém os resultados muitas das vezes não são satisfatórios”. Daí, entende se como é bastante complexo e oneroso para uma empresa a substituição destes de tipos de máquinas e equipamentos especiais. Todavia não podemos ignorar o problema que vem acontecendo no posto 4. Moura (2011) afirma que o nível de automação vem crescendo cada vez mais, e o uso dos dispositivos para buscar soluções para os problemas no setor fabril também acompanha esse crescimento. Mas em relação a processos já há muito tempo estabelecidos como é o caso dos robôs do posto 4, podem ser melhorados ao ponto de estarem equiparados com equipamentos da atual geração? Dito isto, precisamos entender e analisar cuidadosamente este problema que vem ocorrendo no posto 4 realizando uma análise crítica e profunda da causa raiz.

A figura 21 mostra a estação que produz a peça “C” e está marcada com um pontilhado vermelho. Isso indica que nesta estação está ocorrendo problemas relacionado a desperdício de material de consumo (eletrodo CT - 309) e consequentemente perdas de rendimento devido as paradas constantes para troca de eletrodo. Ocorre que após 233 peças produzidas ou soldadas o

operador precisa parar para trocar o eletrodo CT – 309 que fica no porta eletrodo localizado na pinça de solda ou Servo Gun como também é conhecida, esta ferramenta de soldagem, está localizada no punho do robô de solda ponto sendo seu órgão terminal que fica em contato direto com o processo como mostrado anteriormente na figura 8. Esse problema gera parada de equipamento e se não executado a troca gera problemas na soldagem, impactando diretamente na qualidade do produto, ocasionando retrabalhos ou a inutilização da peça.

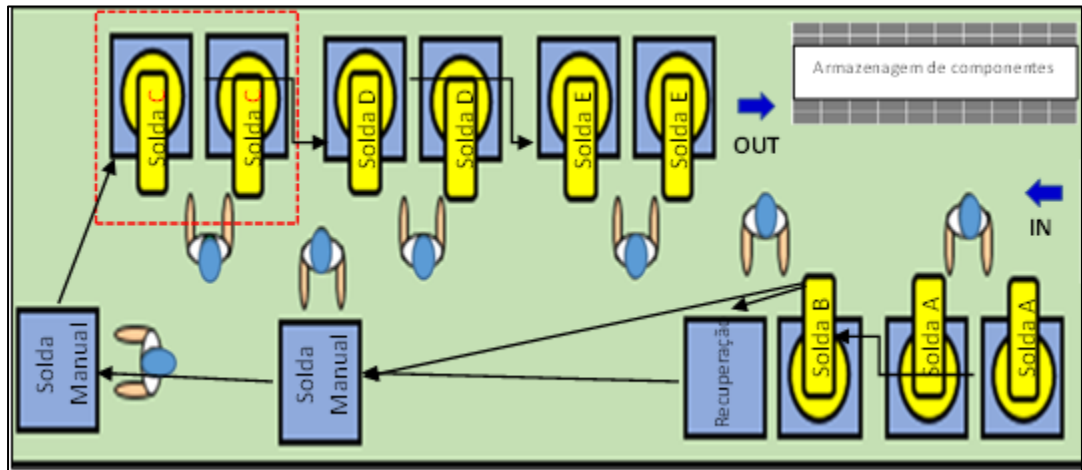


Figura 21:Layout do chão de fábrica (o próprio autor)

Na figura 22, podemos verificar o sistema modelado na Rede de Petri. Observa-se que a estação que produz a peça “C”, ou seja, o posto 4 vem acumulando material além do padrão, por conta do tempo de parada de máquina. Mesmo sendo uma parada planejada, foi identificado através do modelamento da Rede de Petri um gargalo pela necessidade da troca do eletrodo, levando a perda de tempo do processo produtivo e quantidade menor de entrega do produto para a estação seguinte.

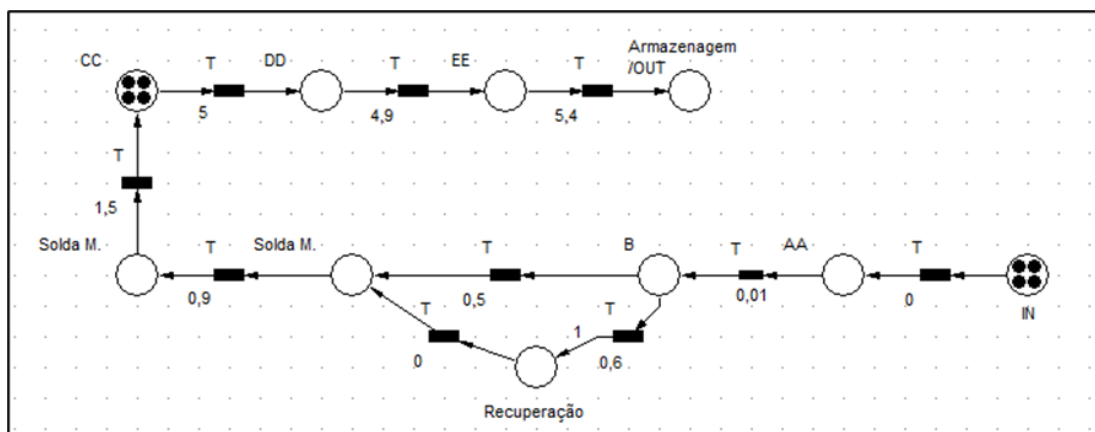


Figura 22:Modelagem layout do chão de fábrica (o próprio autor)

Esse acúmulo é gerado sempre que é realizada a troca do eletrodo, na figura 23 podemos observar que após análise e acompanhamento, foi constatado que essa troca ocorrida sempre entre 2800 ~ 2833 pontos de solda, foi observado ao acompanhar a troca do eletrodo uma distância entre a peça e o eletrodo que estava sendo trocado como podemos verificar através da figura 24.

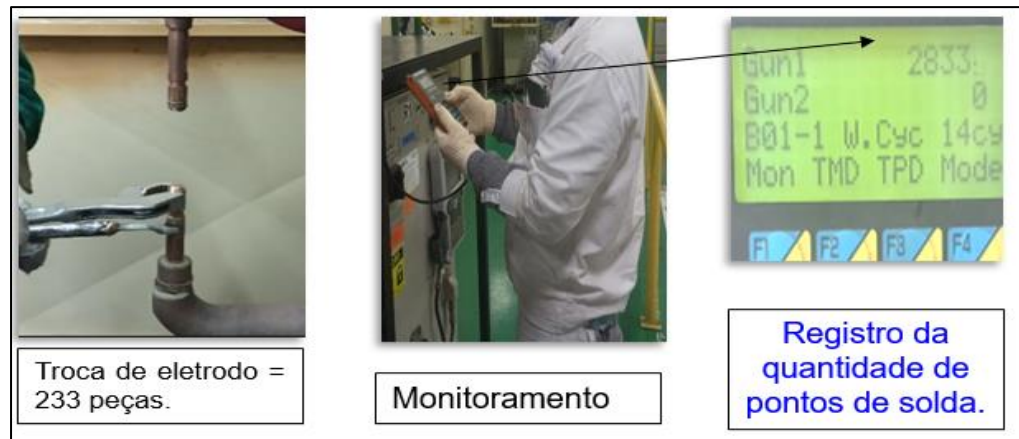


Figura 23:Registro dos pontos de solda (O próprio autor).

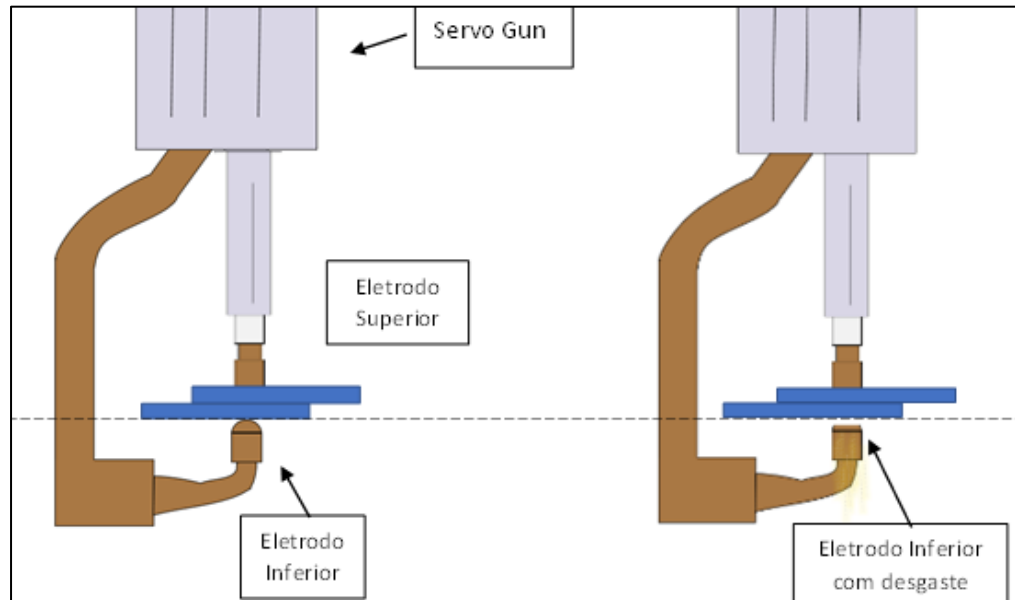


Figura 24:Desgaste do eletrodo Inferior (O próprio autor).

Ao realizar criteriosa avaliação do projeto do eletrodo observando suas dimensões, como podemos visualizar na figura 25, percebemos que o mesmo possui um comprimento de área para uso de 9mm podendo ser utilizado na soldagem até um limite de 6mm, ou seja, podemos utilizar para a soldagem 6mm dos 9mm disponíveis para uso e foi constatado que está

sendo utilizado apenas 0,3 mm gerando assim um desperdício de material e baixo rendimento da capacidade produtiva do processo devido as constantes paradas para troca do eletrodo. Após avaliação do projeto do eletrodo e confirmado sua área especificada para uso, com base no que diz a norma da American Welding Society (AWS 2007): “O apoio incorreto do eletrodo produz soldas defeituosas devido pressão e passagem imperfeita da corrente”. Foi realizado uma simulação para ratificar se esse desgaste mínimo está relacionado com as trocas constantes do eletrodo.

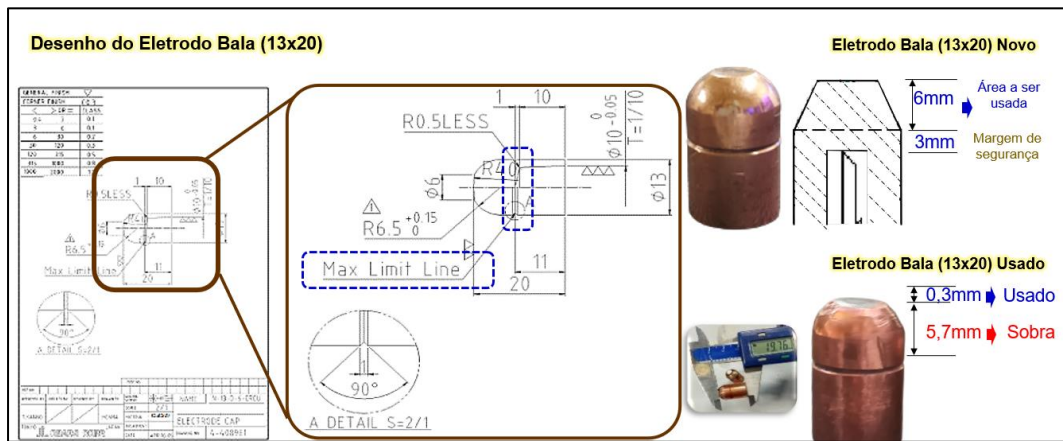


Figura 25: Projeto do eletrodo e suas especificações (O próprio autor).

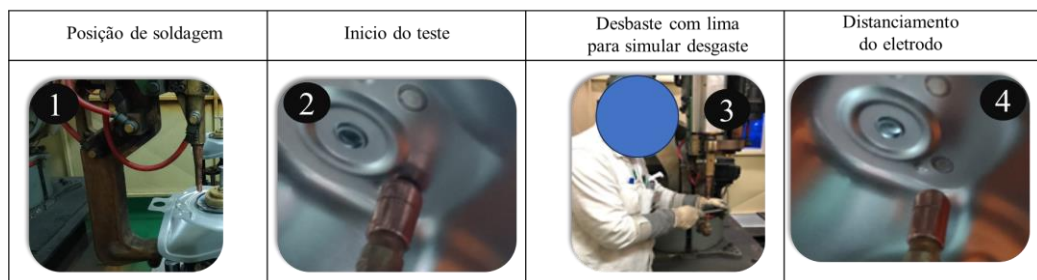


Figura 26: Simulação do desgaste (O próprio autor).

Na figura 26 podemos verificar a simulação que ocorre da seguinte forma: Primeiramente foi posicionado o eletrodo da pinça do robô no local exato de soldagem, ou seja na sua posição gravada, podemos verificar isso nas etapas 1 e 2 da figura 26, após verificado o perfeito contato do eletrodo com a peça, foi realizado desbaste gradativos com uma lima e levando o robô sempre na posição gravada e realizando um ponto de soldagem e o resultado desta simulação foi bastante interessante. Durante a simulação foi verificado que a pinça possui uma parte fixa e outra móvel, a parte fixa é responsável por sustentar o eletrodo inferior e na

pinça móvel é montado o eletrodo superior. Então conforme o eletrodo inferior vai sendo desgastado vai gerando uma distância entre o eletrodo inferior que está montado na pinça fixa e a peça que está sendo soldada, outro detalhe a ser observado é que a peça está apoiada em um tipo de dispositivo de sustentação, isso acaba gerando um efeito de alavanca que por sua vez gera um estiramento na região em que está sendo aplicado o ponto de soldagem como podemos verificar na figura 27, este fenômeno é potencializado devido a espessura da chapa (0,77 mm) causando assim o defeito de estiramento e inutilizando a peça, podemos ver o detalhe deste defeito na figura 28. Todo esse cenário acaba obrigando o operador a realizar o ajuste da posição do robô, para que o contato do eletrodo com a peça seja reestabelecido, garantindo assim o apoio necessário da peça no eletrodo, no entanto, após metragem do tempo de ajuste, verificou-se um gasto com ajuste de 15' (minutos), levando o operador a optar pela troca do eletrodo, pois assim garante uma parada menor em sua estação ou posto de trabalho pois a troca do eletrodo demora em torno de 5,04' (minutos) para o retorno a operação. Diante do exposto, fica evidente que a causa das trocas prematuras do eletrodo e consequentemente o seu desperdício, estão relacionadas ao desgaste e a falta de um sistema que garanta o contato do eletrodo com a peça após cada ciclo de desgaste.

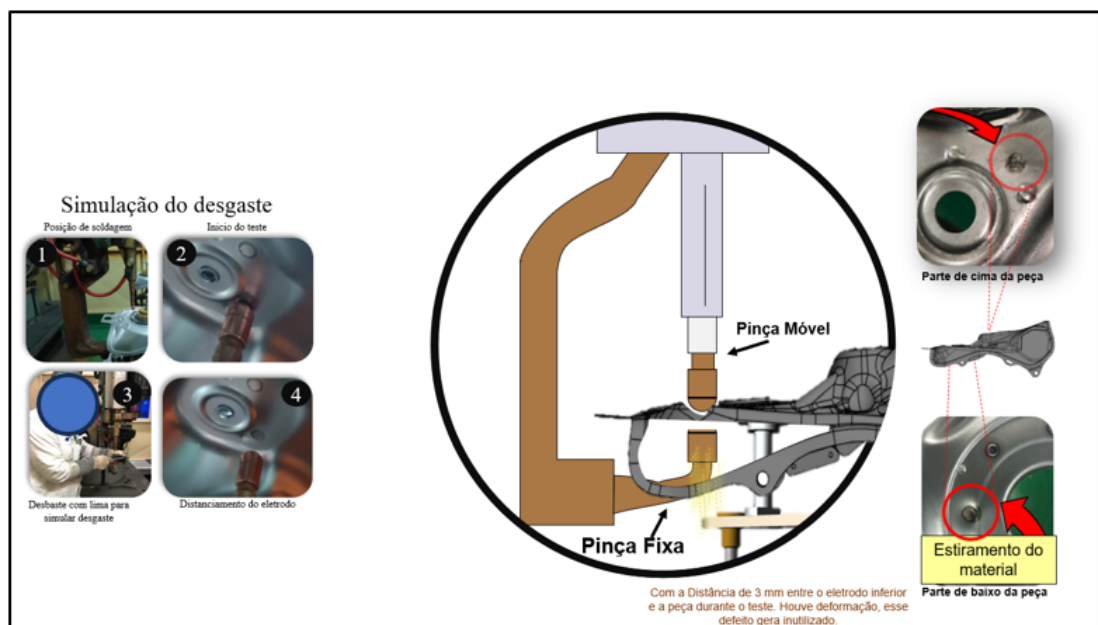


Figura 27: Resultado da simulação (O próprio autor).



Figura 28: Estiramento do material base (O próprio autor)

5 PROPOSTA E VIABILIDADE DA OTIMIZAÇÃO

A proposta de otimização do sistema de manufatura visa melhorar a operação de soldagem do componente “C” da parte inferior da motocicleta, visto que este gera rejeitos por parte do operador que faz várias trocas de eletrodo por dia, pois devido ao problema de desgaste o operador não utiliza toda a parte do eletrodo que deveria ser usado, isso impacta diretamente no custo do material e compromete toda a cadeia produtiva levando em consideração que o operador faz várias paradas por dia para troca do eletrodo com mostra a figura 2. Em busca de uma solução, foi identificado através do estudo das coordenadas do robô que o programa a ser desenvolvido, deveria manter o controle da coordenada Z+, ou seja, sempre que o eletrodo inferior desgasta, o robô move o seu órgão terminal na direção da coordenada Z+ mantendo assim sempre o contato do eletrodo com o componente a ser soldado.

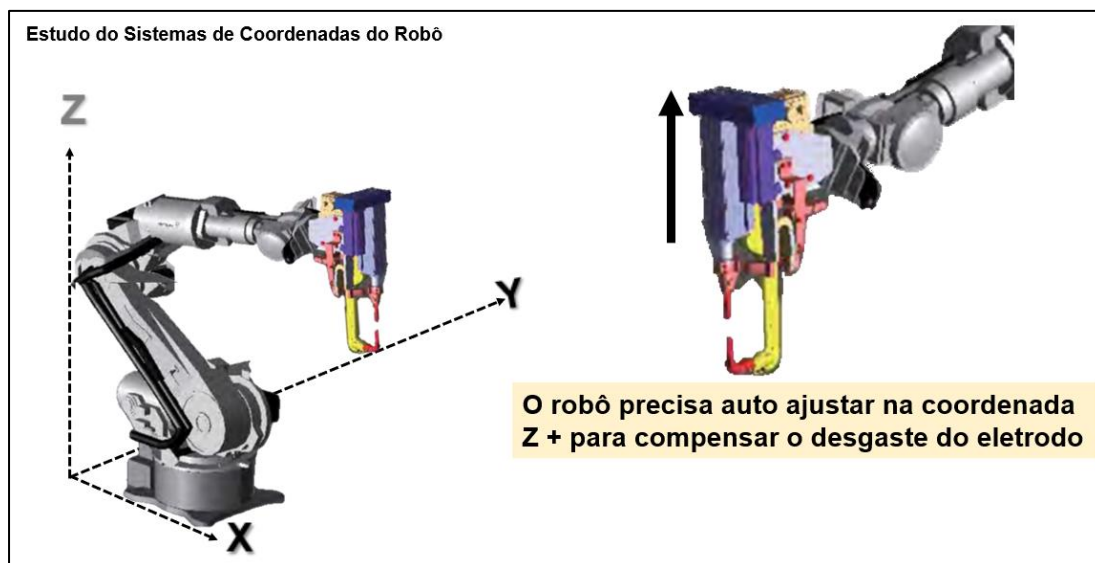


Figura 29: Coordenadas de movimentação do robô (O próprio autor)

Para isso, primeiramente se determinou a relação de pontos de solda executados versus o desgaste, que como já mencionado, ocorre a cada 233 peças ou mais precisamente, a cada 2800 pontos de solda. Portanto, criamos um contador de pulsos para contagem dos pontos de soldagem, para que a cada 2800 pontos de solda, o robô, mova o seu órgão terminal no sentido da coordenada Z+. Para contagem dos pontos foi usado o programa Ladder do controlador do robô, criando um contador para o controle dos pontos como mostra a figura 30. Essa contagem servirá de condição para determinar quando o robô, deverá executar o deslocamento de sua posição atual para a nova posição, na direção da coordenada Z+.

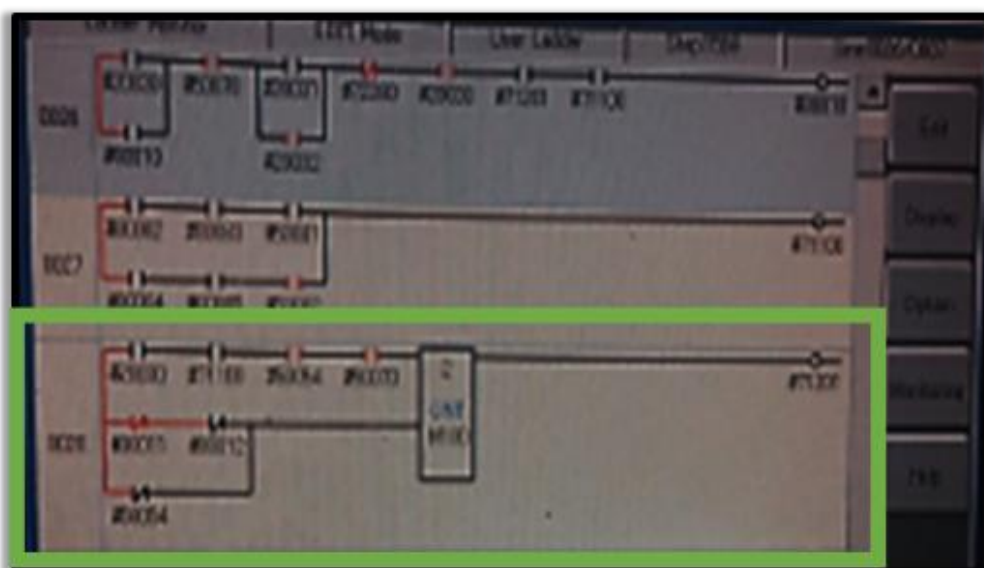


Figura 30: Ladder do robô para o controle dos pontos de solda (O próprio autor)

5.1 ELEMENTOS DE ENTRADA E SAÍDA DO LADDER DO ROBÔ

O retângulo na figura 30 indica a linha responsável por realizar o controle da contagem dos pontos de solda. Sempre que a corrente de solda passa pelos eletrodos um sinal é enviado para o robô, indicando que um ciclo de solda foi finalizado, ou seja, esse sinal que o robô recebe indica que ele acabou de executar um ponto de solda. Esse sinal é enviado pela máquina de solda para o controlador do robô através de cabos ligados fisicamente como podemos ver no esquema da figura 31. A saída do sinal da máquina de solda está ligada a entrada do controlador do robô então foi usado como entrada na linha Ladder do robô e colocado um contador nesta linha. Sempre que o contador atingir 2800 ciclos de solda ou se preferir 2800 pontos de solda, é ativado uma bobina Digital no Ladder do controlador do robô que por sua vez ativa uma entrada lógica na programação do robô. Essa entrada lógica dá condição de chamar um programa em linguagem de Lista de Instrução que foi desenvolvido para que o robô realize um auto ajuste proporcional ao desgaste do eletrodo que, como já foi mencionado antes é de 0,3 mm. E esse ciclo se repete a cada 2800 pontos de solda consumindo toda área destinada ao uso para a soldagem. Essa repetição cessa quando um segundo contador atinge a marca de 17.000 pontos parando o robô e gerando um arme solicitando a troca como podemos ver na figura 32. Esse resultado foi possível através de vários ensaios mecânicos e testes rigorosos de qualidade tendo seguindo todas as normas internas e internacionais no que diz respeito a ensaios metal mecânicos.

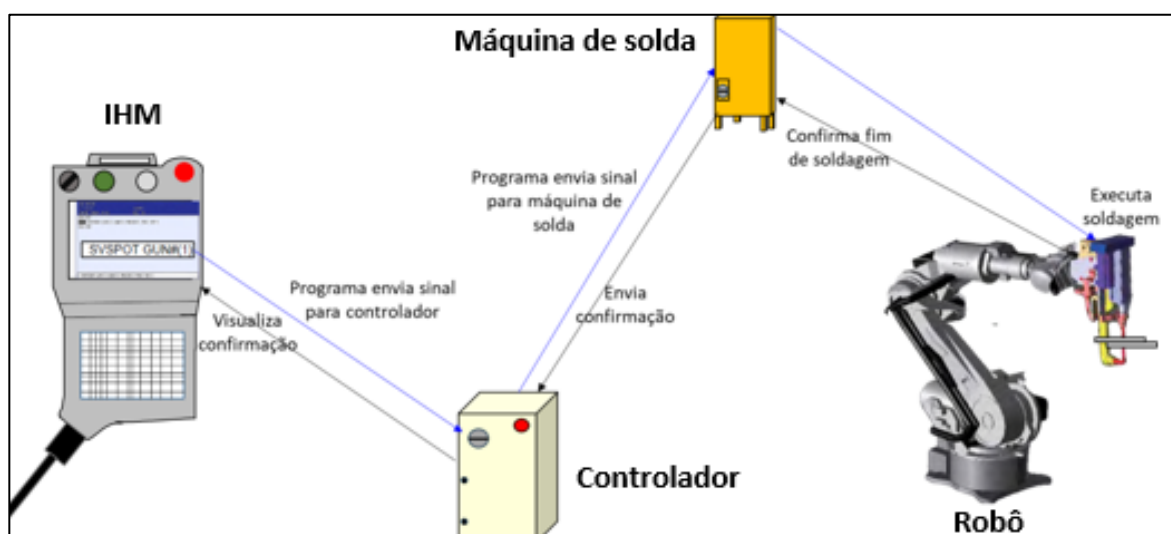


Figura 31: Esquemáticos dos sinais dos pulsos de soldagem (O próprio autor)

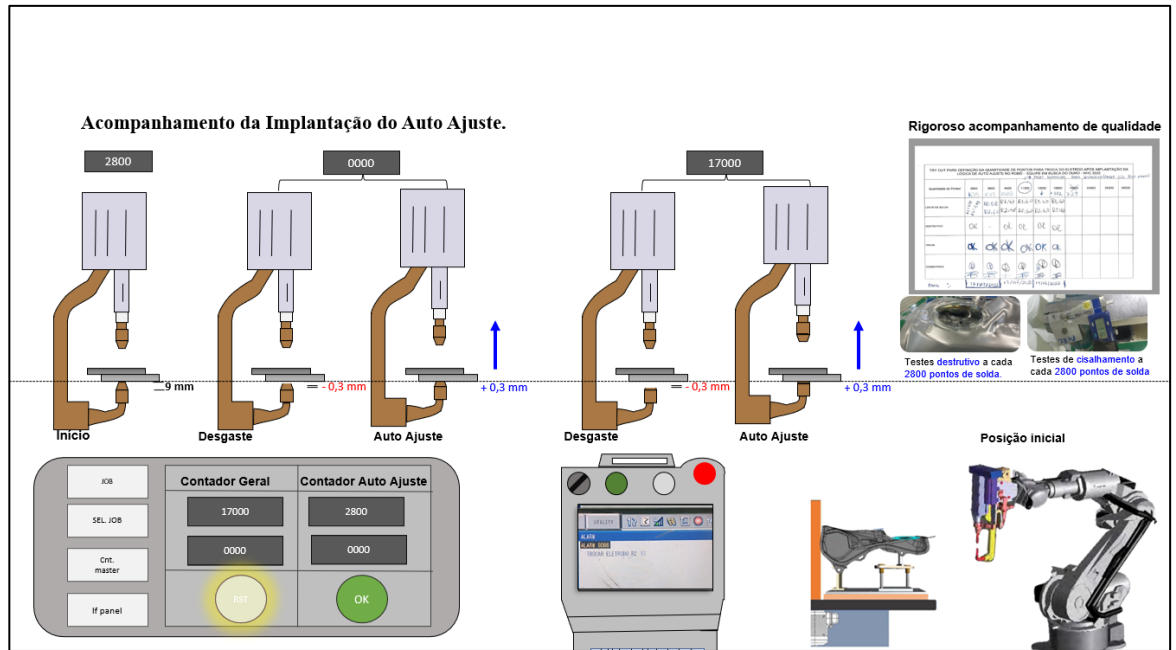


Figura 32:Esquema de consumo total utilizando Contador Geral (O próprio autor)

5.2 DESCRIÇÃO DO PROGRAMA DE AUTO AJUSTE

A programação de auto ajuste do robô de solda ponto consiste em utilizar um método de programação usando variáveis de posição no ponto gravado no local onde será realizado a soldagem. Isso significa que cada ponto gravado terá os dados de sua posição armazenados em uma espécie de tabela cujo o valor das posições de cada coordenada (X, Y, Z) é armazenado, podemos ver isso na figura 33. O dado das posições do programa original é gravado nas variáveis posição e é feito outro programa com os mesmos dados, porém, esse programa terá seus dados alterados à medida que a instrução de adição for sendo solicitado.

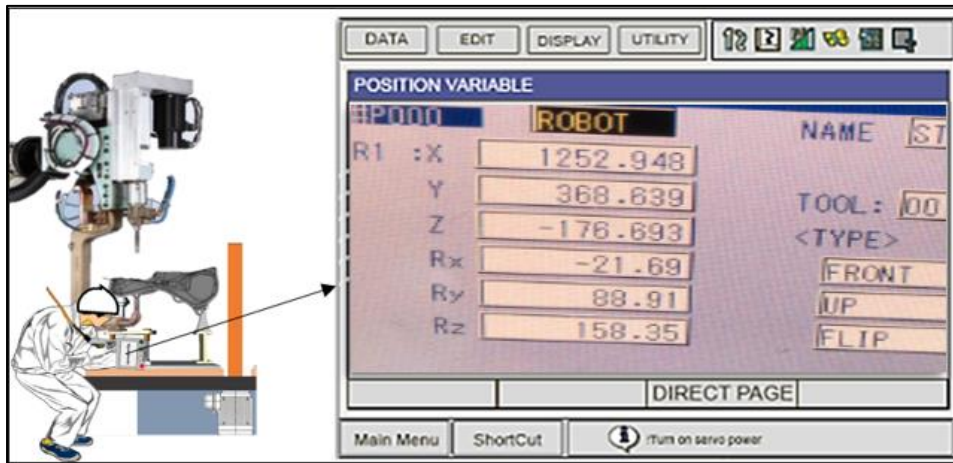


Figura 33: Armazenamento da variável de posição (O próprio autor)

Com o valor das coordenadas, agora usando de instruções da linguagem de programação Informe Liste II do controlador do robô, linguagem de programação semelhante a C++, foi elaborado uma instrução determinando que a cada 2800 pontos de solda seja adicionado no endereço que executa a instrução de ponto o valor 0,3 mm, que é o exato valor do desgaste. Assim que o programa de auto ajuste é chamado ele executa a adição do valor na coordenada Z+ e logo em seguida zera o contador dando assim o re-start do ciclo do sistema de auto ajuste do robô. Na figura 34 podemos visualizar o funcionamento do programa de auto ajuste, na etapa 1 verificamos o desgaste do eletrodo inferior gerando uma distância entre o eletrodo e o componente a ser soldado. Na etapa 2 o programa de auto ajuste é chamado conforme definido previamente no ladder. Cada linha deste programa incrementa 0,3 mm no endereço da coordenada em Z+ (ver etapa 3) alterando os valores das variáveis, ou seja, se um endereço possui um valor de 800,00 mm com o incremento do programa esse endereço passa a ter 800,03 mm, isso significa que o robô vai se movimentar e permanecer em uma altura 0,3mm a mais que a condição anterior eliminando assim a distância entre o eletrodo e o componente a ser soldado, o efeito desta nova condição no processo de solda a ponto é a eliminação de defeitos causados por distanciamento de acordo com o que diz AWS (*American Welding Society*).

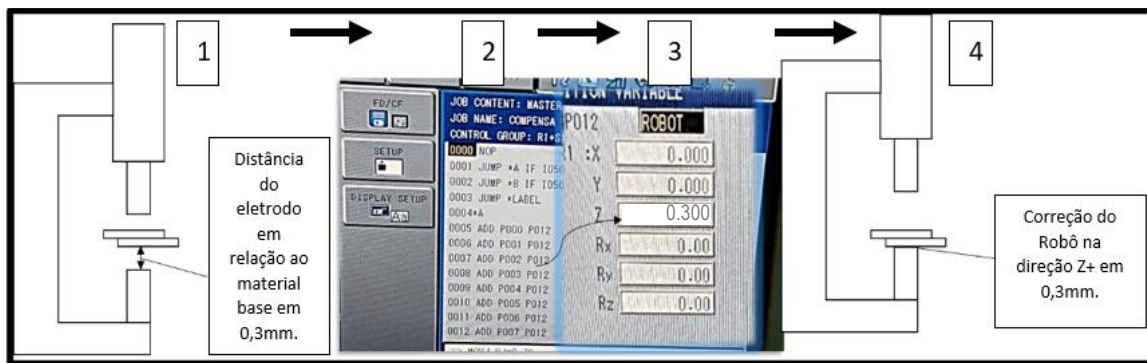


Figura 34: Programa de auto ajuste do robô (O próprio autor)

5.3 DETALHAMENTO DO FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA DE AUTO AJUSTE.

5.4 MOVIMENTAÇÃO E INSTRUÇÃO.

Para que o robô siga uma trajetória é necessária uma posição gravada indicando o caminho e o tipo de movimento a seguir, então o controlador faz com que o robô execute o caminho até esta posição, como foi bem detalhado na revisão bibliográfica, uma vez na posição para realização da soldadura, logo na linha posterior é inserido uma instrução para que o comando de liberação da corrente ocorra. Na figura 35, logo abaixo podemos ver o código desta instrução.

```

LINE INSTRUCTION

0000 NOP
0001 MOVJ VJ=0.78
0002 MOVJ VJ=100.00
0003 MOVJ P10           \\ Posição gravada com variável de posição.
0004 SVSPOT GUN#(1)    \\ Instrução para abertura da passagem da corrente
0005 MOVJ VJ=50.00
0006 MOVJ VJ=50.00
0007 DOUT OF (56)
0008 MOVJ VJ=100
0009 MOVJ VJ=0.78
  
```

Figura 35: Posição gravada e instrução soldagem (O próprio autor)

Ao final de cada ciclo de soldagem de cada ponto que é aplicado, como já comentado é enviado um sinal para o controlador do robô, indicando o fim do ciclo de soldagem de cada ponto, este sinal é utilizado para realizar a contagem dos pontos de soldagem, quando a quantidade de 2800 ponto é atingida, então o contador aciona a bobina digital no ladder que ativa uma entrada específica (#05) dando condição para chamar o programa que fará a compensação do desgaste do eletrodo (ver figura 36, 37).

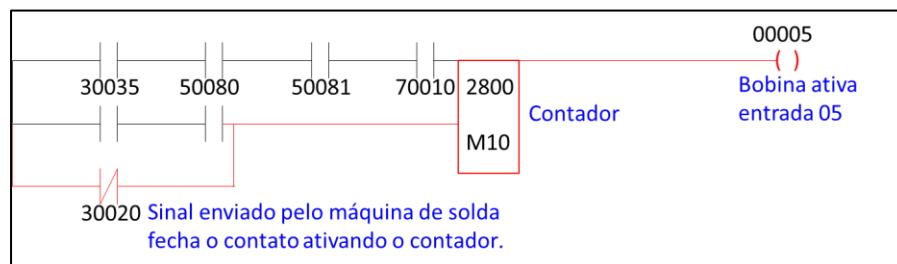


Figura 36:Funcionamento da condição do Ladder do controlador do robô (O próprio autor)

```

MASTER INSTRUCTION

0000 NOP
0001 WAIT SOUT(58) = ON
0002 CALL JOB: COMPENSAÇÃO IF IN# (5) = ON \\ Programa de autoajuste
0003 CALL JOB: SOLDAGEM IF IN# (3) = ON \\ Programa de soldagem.
0004 PWAIT SUB 1
0005 PWAIT SUB 1
0006 END

```

Figura 37:Funcionamento do programa Master com IN# 05 ativada (O próprio autor)

Após as condições serem cumpridas o programa de auto ajuste é chamado, que adiciona o valor de 0,3 mm em todos os pontos gravados com variável de posição na coordenada Z+, fazendo com que fisicamente o órgão terminal do robô, o servo Gun, seja deslocado para cima e permanecendo processando as peças nesta posição até o próximo comando. Isso é possível pois o valor de 0,3 mm é registrado em uma variável de comando separada, e o programa de auto ajuste captura esse valor e adiciona no eixo indicado na programação fazendo esse incremento como mostra a figura 38.

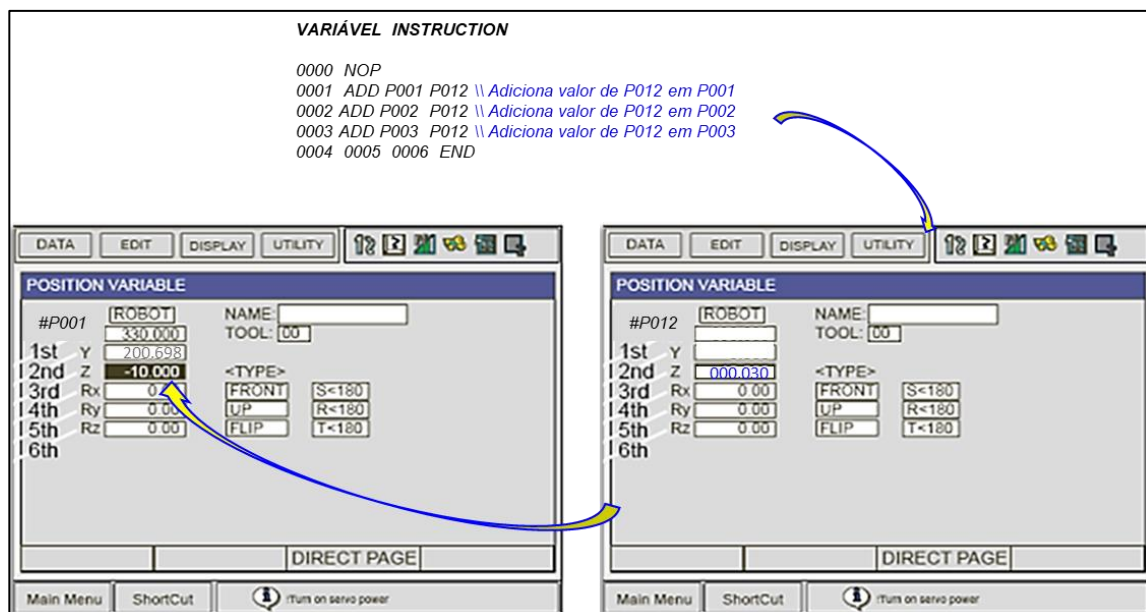


Figura 38: Funcionamento da instrução de deslocamento em Z+ (O próprio autor)

6 RESULTADOS

As métricas utilizadas para avaliar o sistema de manufatura incluem o tempo de processamento, o número de funcionários para a execução de determinada atividade e comparação quantitativa. Aqui vamos utilizar a comparação quantitativa para analisarmos o impacto da melhoria no processo. Antes com lógica de programação antiga o setup do eletrodo ocorria a cada 2800 pontos de solda, como o componente a ser soldado recebe 12 pontos de solda, significa dizer que 1 eletrodo = 233 peças soldadas. **Após a implantação do trabalho, desta vez usando o programa de auto ajuste do robô,** foi possível **usar toda extensão que o fabricante recomenda** para uso normal do eletrodo como podemos visualizar na figura 39 o resultado usando o programa antigo e estático e depois da implantação do projeto na figura 40 já utilizando a nova programação e o acompanhamento da troca do eletrodo na figura 41.

A nova condição na estação de trabalho solucionou o problema de paradas por excesso de setups para troca do eletrodo, pois antes o operador era obrigado a realizar **4 setups por dia** gerando um total de **20,16 segundos de máquina parada** ao longo dos turnos. Agora temos somente **1 troca a cada 2 dias** de trabalho totalizando **5,04' segundos** uma redução de 88% no tempo de setups aumentando o rendimento da estação. Isso foi possível porque uma vez que podemos usar toda extensão do eletrodo, o total de pontos de solda que o mesmo atinge saiu dos 2800 pontos de solda por eletrodo para **17.000 pontos de solda por eletrodo**. Resultando em um total **de peças produzidas de 1.416 unidades** lembrando que antes um eletrodo produzia somente 233 peças, uma diferença extremamente significativa levando em consideração que atualmente vivemos em um mercado extremamente competitivo e que a eliminação de desperdícios e aumento da produtividade garantindo sempre a máxima qualidade do produto é garantia da manutenção da marca no mercado.

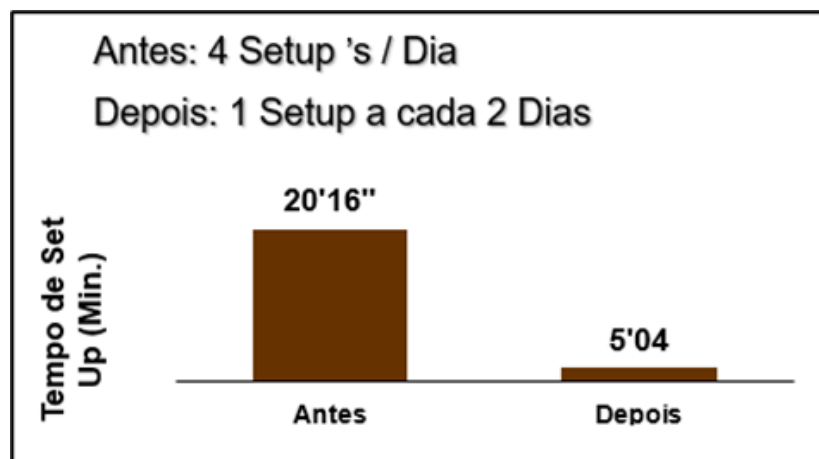


Figura 42:Tempo de Setup (O próprio autor)

O resultado mais expressivo na qual era de fato o objetivo principal da proposta foi a redução do consumo do eletrodo e juntamente com isso veio a redução significativa com o custo do eletrodo, pois com o aproveitamento melhor do material sendo utilizada toda sua capacidade de utilização não é mais necessário utilizar tantos eletrodos nesta estação de manufatura. Durante um ano produção acompanhamos e somente nesta estação de trabalho era consumido (utilizado) a quantidade de 352 eletrodos mensalmente, gerando um consumo anual de 4.224 unidades de eletrodo, que ao custo de R\$ 20,00 a unidade ao término do ano fiscal dá empresa verificamos que somente em uma estação de trabalho o gasto com eletrodo é de R\$ 84.480,00. Porém, após a implantação do trabalho, é consumido mensalmente apenas 109 unidades de

eletrodo que ao fim do ano gera um acumulado de 1.308 unidades usadas na estação e o custo com o processo sofre uma redução significativa com um custo anual de R\$ 26.188,80 gastos com eletrodo nessa estação de trabalho. Podemos verificar um resumo dos ganhos na figura 27.

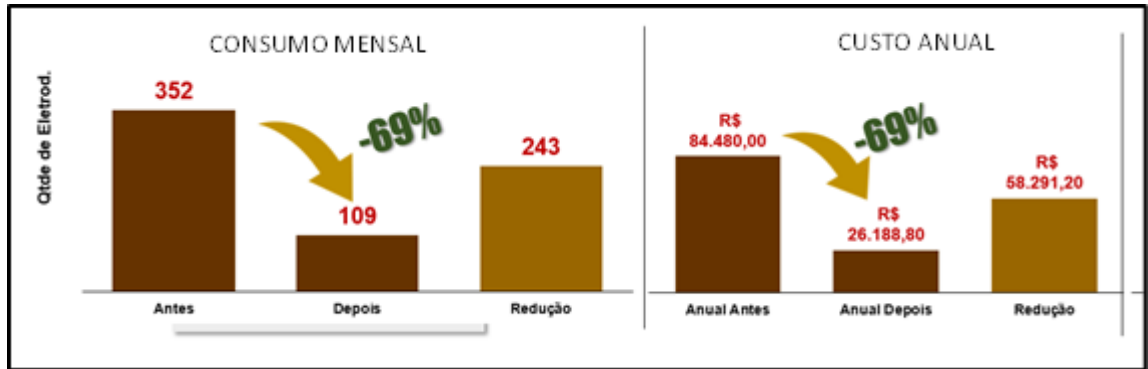


Figura 43: Antes e Depois - Consumo e custo (O próprio autor)

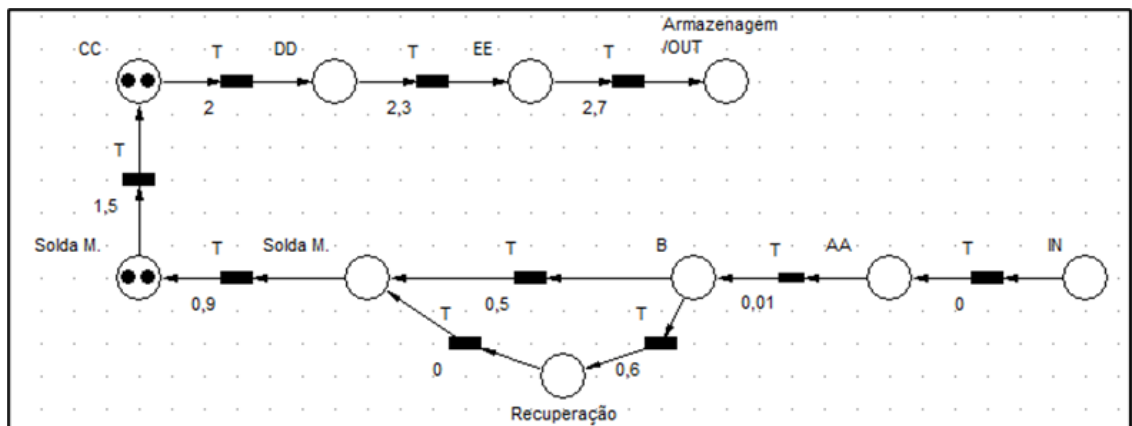


Figura 44: Sistema depois da otimização – Rede de Petri (O próprio autor)

Podemos observar a melhoria também através da Rede de Petri, realizado no programa Visual Object Net (VON). Com a flexibilidade da troca do eletrodo em relação ao tempo, saindo de uma frequência que era realizada de 4(quatro) trocas por turno e passando para 1(uma) troca a cada 2(dois) dias. O exemplo da figura 44 mostra o processo depois da melhoria no dia da realização da troca do eletrodo. Obtendo uma redução significativa no tempo de setup aumentando assim a eficiência do processo eliminando o gargalo.

7 CONCLUSÃO

Concluo que o presente trabalho apresenta diversos aspectos satisfatórios e positivos do ponto de vista empresarial no âmbito da manufatura. Tendo em vista que o projeto com os métodos e as metas adotados supriram todas as demandas relacionadas ao problema, atingindo com êxito todos os objetivos específicos no que diz respeito ao estudo da causa do descarte precoce do eletrodo, partindo da avaliação do projeto do eletrodo, simulando seu desgaste e impacto no produto, a verificação do sinal de pulso de soldagem onde foi extremamente necessário para quantificar o número de pontos executados até chegar ao seu desgaste, determinar a combinação da lógica de programação quanto a otimização, fazendo uma comunicação de mão dupla entre a programação ladder e a programa de texto estruturado inform list II do robô bem como a sua aplicação para só então criar um programa lógico de compensação do desgaste, criando assim um sistema que realize o auto ajuste, fazendo com que o operador se torne apenas um trocador de eletrodo, com tudo isso culminamos no objetivo geral que era a otimização de um sistema de manufatura do processo de soldagem por resistência robotizada para redução de custo com eletrodo, eu Ricardo Flores concluo ainda com este trabalho que, através da pesquisa e da renovação da nossa mente, através da criatividade e inovação, podemos extrair o melhor da tecnologia que nos foi outorgada. Enfim, para trabalhos futuros vislumbro infinitas possibilidade através de uma revisão lateral em outras plantas conforme as oportunidades forem surgindo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CANTARES, Clébio Cavagnolle. Braços Mecânicos: Excelência e agilidade garantem o espaço dos robôs nas montadoras do ABCD. INOVABCD, São Bernardo do Campo, ano I, n.2, p.12-17, set. 2010.

DC Rui, [GF Batalha](#) - Escola Politécnica da USP, 2005 - sites.poli.usp.br

DES Lopes, JM de Castro Baker, MM Marciano... - aedb.br

DA SILVA, Marcelo Eurípedes. Controladores Lógico Programáveis-Ladder. 2007.

FRANCÊS, Carlos Renato Lisboa. Introdução às redes de petri. **Laboratório de Computação Aplicada, Universidade Federal do Pará**, 2003.

GONÇALVES, Luzan Beiriz et al. Soldagem robótica aplicada a indústria automobilística: a evolução e processos adaptativos para o desenvolvimento do setor. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 1, n. 1, p. 85-98, 2014.

Luis A. Bryan and E. A. Bryan. Programmable Controllers: Theory and Implementation. Industrial Text Company, 1997. Illustrator-Kory, Gina.

MARQUES, P.V.; MODENESE, P.J.; BRACARENSE, A.Q. Soldagem: fundamentos e tecnologia. 3z. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2009

PICANÇO, Maurício Luiz Gemaque. A robótica na indústria naval. 2010. 60f. Monografia apresentada a Faculdade de Engenharia Mecânica do Instituto Tecnológico na Universidade Federal do Pará. Belém, 2010.

RM Marques - Brazilian Journal of Political Economy, 1990 - [centrodeeeconomiapolitica.org](#)

SAMPAIO, Leonardo Rodrigues et al. Validação visual de programas Ladder baseada em modelos. 2011.

MOURA, Frederico Emanuel Matos da Silva. **Aplicação para programação automática de robôs de paletização**. 2017. Tese de Doutorado.