



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS**

**CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL
TECNOLOGIA EM MECATRONICA INDUSTRIAL**

MARCOS PAULO DOS SANTOS SOUZA

**PROTÓTIPO DE SISTEMA CARTESIANO PARA TRANSPORTE DE
CARGA EM UMA INDÚSTRIA DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS**

MANAUS- AM

2024

MARCOS PAULO DOS SANTOS SOUZA

**PROTÓTIPO DE SISTEMA CARTESIANO PARA TRANSPORTE DE CARGA EM
UMA INDÚSTRIA DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal do
Amazonas – IFAM como requisito para
obtenção de título de Tecnólogo no curso
de Tecnologia em Mecatrônica Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Alyson de Jesus dos
Santos

MANAUS – AM

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S729p Souza, Marcos Paulo dos Santos.
Protótipo de sistema cartesiano para transporte de carga em uma indústria do Polo Industrial de Manaus / Marcos Paulo dos Santos Souza. — Manaus, 2024.
68f.: 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 Alyson de Jesus dos Santos, Dr.

1. Automação Industrial. 2. Robô cartesiano. 3. Servo acionamento. I. Santos, Alyson de Jesus dos. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 629.892

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

MARCOS PAULO DOS SANTOS SOUZA

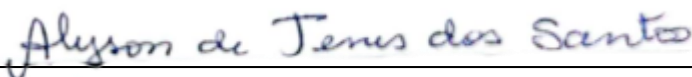
**PROTÓTIPO DE SISTEMA CARTESIANO PARA TRANSPORTE DE CARGA EM
UMA INDÚSTRIA DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do
Amazonas – IFAM como requisito parcial
para obtenção do título de Tecnólogo no
curso de Tecnologia em Mecatrônica
Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Alyson de Jesus dos
Santos

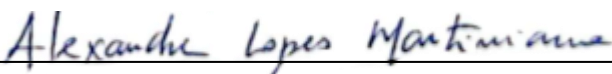
Aprovado em 17 de dezembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA



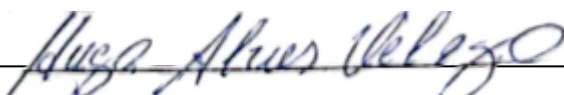
Prof. Dr. Alyson de Jesus dos Santos

Orientador



Prof. Msc. Alexandre Lopes Martiniano

Membro de Avaliação da Banca



Prof. Msc. Hugo Alves Veloso

Membro de Avaliação da Banca

MANAUS – AM

2024

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à FPFtech por te me confiado este projeto como um desafio para o meu crescimento profissional.

Em memória de meus pais Francisco Souza e Edimaria Souza, por terem dedicado toda sua vida para guiar meu caminho rumo ao conhecimento e sempre me incentivaram a nunca parar de aprender.

Agradeço a minha esposa Thainá Fernandes, por ser uma companheira leal e uma ótima conselheira.

Se eu tivesse apenas uma hora para cortar uma árvore, eu usaria os primeiros quarenta e cinco minutos afiando meu machado.

(Autor desconhecido)

RESUMO:

Os sistemas desenvolvidos para automação industrial têm sido implantados assiduamente nos polos industriais de diversas regiões do mundo inteiro. Suas aplicações têm solucionado diversos problemas e empecilhos como exemplo: Diminuição no tempo de produção, qualidade do produto, trabalhos de alto risco e Lesões por Esforço Repetitivo (LER). Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um protótipo de sistema automático de robô cartesiano que substituiu o trabalho manual de transporte dos produtos (Pick-and-Place) acelerando o tempo de processo. O sistema é composto por atuadores elétricos controlados por motores servos acionados, sensores, atuadores pneumáticos, que por sua vez, são controlados por um controlador lógico programável (CLP) e interface homem máquina (IHM). Após implantação e testes do protótipo, verificou-se que foi possível obter uma redução do tempo de transporte de carga.

Palavras-Chave: Automação industrial. Robô Cartesiano. Servo Acionamento. Pick-and-place.

ABSTRACT:

The systems developed for industrial automation have been steadily implemented in industrial hubs across various regions around the world. Their applications have addressed numerous issues and challenges, such as reducing production time, improving product quality, handling high-risk tasks, and preventing Repetitive Strain Injuries (RSI). This work aimed to develop a prototype of a Cartesian automatic robot system that replaced manual transportation of products (Pick-and-Place), accelerating the time of process. The system consists of electric actuators controlled by servo motors, sensors, and pneumatic actuators, which are in turn controlled by a programmable logic controller (PLC) and a human-machine interface (HMI). After the implementation and testing of the prototype, it was found that it was possible to achieve a reduction in load transportation time.

Keywords: Industrial automation. Cartesian Robot. Servo actuation. Pick-and-Place.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de robôs industriais	17
Figura 2 - Automação industrial em larga escala	18
Figura 3 - Controlador lógico programável.....	19
Figura 4 - Servo motor com servo amplificador.....	21
Figura 5 - Diagrama elétrico do robô cartesiano	26
Figura 6 - Disjuntores dos servos.....	26
Figura 7 - Fonte de alimentação 24Vdc.....	27
Figura 8 - Contadoras para os servos	28
Figura 9 - Sensor indutivo fim de curso do eixo X	28
Figura 10 - Sensor magnético do atuador da garra.....	29
Figura 11 - Sensor fotoelétrico da esteira de despejo	30
Figura 12 - Módulos do CLP.....	31
Figura 13 - Cartão Fast Ethernet.....	32
Figura 14 - Módulo de EtherCat do CLP	33
Figura 15 - Ligação da rede EtherCat nos servos amplificadores.....	33
Figura 16 - Módulo de entrada do CLP (XGI-D28A)	34
Figura 17 - Módulo de entrada expensor a distância	34
Figura 18 - Cabo com conector para módulo do expensor a distância de entrada.....	35
Figura 19 - Módulo de saída (XGQ-TR8A).....	36
Figura 20 - Módulo expensor a distância de saída.....	36
Figura 21 - CLP montado com todos os módulos.....	36
Figura 22 - Interface homem máquina (IHM).....	37
Figura 23 - Servo amplificadores dos eixos do cartesiano.....	38
Figura 24 - Cabos para ligação dos servos motores.....	39
Figura 25 - Servo motor do eixo X.....	40
Figura 26 - Servo motor do eixo Y.....	40
Figura 27 - Servo motor do eixo Z.....	41
Figura 28 - Moto redutor do eixo X.....	41
Figura 29 - Atuadores elétricos	42
Figura 30 - Válvula do atuador da garra.....	43
Figura 31 - Atuador da garra	43
Figura 32 - Mecanismo da garra.....	44

Figura 33 - Pacote de amostra.....	44
Figura 34 - Bancada de teste	45
Figura 35 - Painel geral montado	46
Figura 36 - Estrutura metálica do cartesiano	46
Figura 37 - Estrutura do cartesiano montada	47
Figura 38 - Vista superior da estrutura do cartesiano montada.....	47
Figura 39 - Tela do software XG5000	48
Figura 40 - Função XDST para comando direto do servo	49
Figura 41 - Lógica de acionamento dos eixos X e Y	50
Figura 42 - Máquina de D00044 sendo iniciada.....	51
Figura 43 - Máquina de estados acionando somente eixo X.....	51
Figura 44 - Tela do software XG-PM.....	53
Figura 45 - Tela de menu do XG-PM para conectar todos os servos.....	53
Figura 46 - Exemplo de configuração de engrenagem eletrônica para um eixo de fuso linear.....	54
Figura 47 - Inserindo os valores de Motor revolutions e Shaft revolutions no bloco de parâmetros do eixo Z.....	55
Figura 48 - Exemplo de engrenagem eletrônica para polia e correia dentada	55
Figura 49 - Inserindo valores da engrenagem eletrônica do eixo X.....	56
Figura 50 - Escrevendo o programa para os servos	57
Figura 51 – Tela inicial do software XP-BUILDER	58
Figura 52 - Tela de comando do servo 1 e sua respectiva memória de acionamento do CLP	59
Figura 53 - Tela de configuração de Ethernet no software XG5000	59
Figura 54 - Tela de configuração de Ethernet do XP-Builder	60
Figura 55 - Posição de origem do cartesiano (P1)	61
Figura 56 - Posição de Pega do cartesiano (P2)	62
Figura 57 - Posição de subida do eixo Z (P3)	62
Figura 58 - Disposição da área útil da caixa organizadora.....	63
Figura 59 - Posição de deixada P7 do cartesiano	63
Figura 60 - Garra aberta do cartesiano.....	64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMÁTICA.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
1.3 OBJETIVO	13
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.5 METODOLOGIA	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL.....	18
2.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL	19
2.3 SERVO ACIONAMENTO	20
2.4 SENSORES INDUSTRIAIS	22
3 MÉTODO E MATERIAIS.....	24
3.1 LISTA DE MATERIAIS.....	24
3.2 DESENHO DO CIRCUITO	25
3.2.1 Disjuntores.....	26
3.2.2 Fonte de alimentação.....	27
3.2.3 Contadoras	27
3.2.4 Sensores Indutivos.....	28
3.2.5 Sensores magnéticos	29
3.2.6 Sensor fotoelétrico	30
3.2.7 Controlador Lógico Programável - CLP LS XGK Series	31
3.2.8 Fonte e CPU.....	31
3.2.9 Cartão de Fast Ethernet	32
3.2.10 Cartão de Controle de Posição EtherCat	32
3.2.11 Cartões de Entrada.....	34
3.2.12 Cartões de Saída.....	35
3.2.13 Interface Homem Máquina – IHM.....	37
3.2.14 Servo Amplificador.....	37
3.2.15 Cabos para os Servos	38
3.2.16 Servo Motor	39
3.2.17 Atuadores Elétricos.....	41

3.2.18 Válvula e Atuador Pneumático da Garra	42
3.3 AMOSTRA DE REFERÊNCIA	44
4 MONTAGEM DO PROTÓTIPO	45
4.1 POSTO DE TESTE PARA PRÉ-MONTAGEM.....	45
4.2 MONTAGEM DO PAINEL PRINCIPAL	45
4.3 MECANISMO PARA MONTAGEM DO PROTÓTIPO.....	46
5 SOFTWARES E PROGRAMAÇÃO PARA AUTOMAÇÃO	48
5.1 XG 5000	48
5.2 XG-PM.....	52
5.3 XP-BUILDER.....	57
6 TRAJETÓRIA DO CARTESIANO	61
7 RESULTADOS.....	66
8 CONCLUSÃO	68
REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

Desde a revolução industrial iniciada na metade do século XVIII, há um constante desenvolvimento tecnológico no mundo inteiro causando uma transformação em todos os ramos da indústria.

Este evento trouxe uma série de pesquisas e novas áreas da engenharia foram surgindo devido à alta demanda de soluções e aprimoramento das linhas de produção. Os processos produtivos desde a coleta da matéria prima, até a entrega final para o consumidor tem crescido exponencialmente conforme o passar dos anos. Segundo Lima (2020) os progressos na microeletrônica, especialmente nas áreas de informática e robótica de precisão, possibilitaram inovações nos sistemas de telecomunicações, além de aumentar a capacidade de captar, processar, armazenar e distribuir informações. Diversos desafios no que diz respeito a qualidade do produto diante de inúmeras concorrências, a diminuição no tempo de produção, e a possível limitação da mão de obra local tem forçado a aplicação de maquinários construídos com tecnologia de ponta e sobretudo com sua jornada de funcionamento por 24 horas diárias e totalmente automáticas.

Para o desenvolvimento de tais máquinas é necessária uma equipe dedicada e conhecedora das tecnologias modernas. Um profissional de Mecatrônica é essencial neste âmbito pois a combinação destes dispositivos requer uma arquitetura eletromecânica sólida, bem como uma estrutura da lógica de programação e integração entre os diversos softwares de acordo com cada projeto.

O projeto propõe o desenvolvimento de um sistema automático com robô cartesiano capaz de coletar e transportar (pick-and-place) um produto entre os módulos de um processo produtivo de empacotamento.

Dada à versatilidade e o suporte que um robô pick-and-place proporciona para diversos setores da indústria, a pesquisa e o desenvolvimento constante dessa solução agregam mais confiabilidade e produtividade nas tarefas para os quais os robôs são designados. (MOREIRA et al., 2024, p.71).

O robô cartesiano será montado com servos motores e atuadores elétricos, a lógica de programação será feita em Ladder através de um controlador lógico programável (CLP) e terá uma interface homem máquina (IHM).

1.1 PROBLEMÁTICA

Como automatizar uma atividade manual de transporte de carga, contribuindo com a diminuição do tempo de produção?

1.2 JUSTIFICATIVA

O Estudo se justifica devido ao fato de que neste processo em específico ainda há uma significativa mão de obra operária, impactando no tempo de produção e sujeitos a esforços físicos.

Para atingir tal propósito, será criado um protótipo e implantado na linha de produção de uma fábrica do Polo Industrial de Manaus. O protótipo consiste no desenvolvimento da lógica de programação do CLP, parametrização de servo motores, e a integração mecânica e virtual respectivamente. A análise dos resultados permitirá avaliar a eficiência de um processo automático diante da alta velocidade da linha de produção. O processo manual, tem seu ciclo de tempo por volta dos doze segundos e precisa ser melhorado para nove segundos para acompanhar a linha de produção.

A escolha deste tema deve-se ao comum cenário sequencial de seleção de itens, empacotamento e transporte de produtos presentes nas fábricas.

1.3 OBJETIVO

Diante desse cenário, a realização desse Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), tem como objetivo o desenvolvimento de um protótipo de sistema automático de robô cartesiano capaz de transportar pacotes de plástico quando estes saem da máquina de empacotamento e precisam ser depositados em uma caixa organizadora, que quando cheia, é disponibilizada para o operador, visando a diminuição do tempo de produção.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para chegar no objetivo geral, os objetivos específicos são:

Desenho do Circuito: Desenvolver o modelo robótico em um software de circuitos elétricos, definindo as características e a configuração dos servos motores, CLP, IHM, atuadores elétricos e demais componentes.

Programação do sistema: Desenvolver a lógica de controle utilizando um controlador lógico programável (CLP), integrando os servos, atuadores elétricos e os sensores.

Parametrização: Realizar configurações iniciais dos dispositivos (CLP e Servo motor) em um ambiente controlado para assegurar o correto funcionamento antes da implementação física.

Montagem do Protótipo: Montar o robô cartesiano em uma estrutura metálica com os componentes selecionados e conectar os servos motores aos respectivos eixos do plano cartesiano.

Teste de Funcionamento: Realizar testes de movimentação nas coordenadas pré-estabelecidas para o *pick-and-place* no plano cartesiano, modificando-as conforme necessário.

1.5 METODOLOGIA

Este trabalho é de natureza aplicada, com intuito em desenvolver um sistema de automação industrial utilizando Servo acionamento para controle de um manipulador automático em um cenário cartesiano.

A abordagem adotada é prática, com experimentação direta. O sistema será projetado, implementado e testado em um ambiente controlado (laboratório) e, posteriormente, em chão de fábrica.

O propósito são os sistemas de automação existentes nos polos industriais. A amostra será composta por um protótipo de robô cartesiano, equipado com servo motores e atuadores elétricos, que será adaptado em um ambiente industrial.

Os dispositivos que representam a coleta de dados são os sensores, para controle de posição dos atuadores e contagem de ciclo. E Controladores e dados disponíveis na IHM para ajuste do tempo de ciclo do circuito.

Os dados coletados serão analisados através da comparação entre o processo manual e o circuito automático alcançadas pelo robô.

O projeto será conduzido respeitando as normas de segurança e integridade do trabalho. Os testes serão realizados em um ambiente controlado, garantindo a segurança dos desenvolvedores e do equipamento.

As limitações incluem a possibilidade de variações nas características dos servos motores e a necessidade de ajustes constantes nos parâmetros de controle, que podem afetar a precisão do sistema robótico.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os robôs industriais têm desempenhado um papel crucial na transformação dos processos industriais, aumentando a eficiência e a precisão nas linhas de produção. Desde a sua introdução, na década de 1960, essas máquinas automatizadas têm evoluído significativamente, abrangendo uma variedade de aplicações, que vão desde manipulação de carga até montagens automotivas.

Os robôs industriais, conforme definido pelo Robot Institute of America (RIA), são manipuladores multifuncionais e reprogramáveis projetados para mover materiais e ferramentas através de diversos movimentos para realizar várias tarefas. A norma ISO 10218 complementa essa definição, descrevendo-os como máquinas manipuladoras com múltiplos graus de liberdade, controladas automaticamente e que podem ter bases fixas ou móveis, utilizadas em aplicações de automação industrial. [...]. (FENERICK; VOLANTE apud GARCIA, 2013, P. 8).

Um dos principais fatores que impulsionaram a adoção de robôs industriais é a busca pela eficiência operacional. De acordo com a International Federation of Robotics (IFR, 2021) o uso de robôs industriais resultou em um aumento significativo na produtividade em diversos setores. A automação não apenas reduz o tempo de produção, mas também minimiza erros, o que é crucial em indústrias onde a precisão é vital, como na fabricação de eletrônicos e na indústria automotiva. Além disso, a integração de tecnologias avançadas, como inteligência artificial e machine learning, tem potencializado ainda mais essa eficiência.

Devido à grande variedade de produtos e o avanço da automação das linhas de produção, surgem novos desafios no que se refere a manipulação de peças. Segundo Luciano et.al (2020) os robôs são usados com um “manipulador” em sua extremidade que são controlados por humanos através de um braço mecânico ou de forma automatizada por programas computacionais.

Os robôs industriais são classificados em diversas categorias, sendo os mais comuns os robôs cartesianos, articulados, delta e Scara (Figura 1). Cada tipo é projetado para atender a necessidades específicas de movimento e aplicação.

Figura 1 – Tipos de Robôs Industriais



Fonte: Tarragô (2021)

Com o avanço das capacidades dos sistemas de robótica e a inovação tecnológica, as aplicações dos robôs se diversificaram, abrangendo desde operações simples de transporte até tarefas complexas como montagem, soldagem, pintura e deposição de colas e vedantes, que agora podem ser automatizadas (ANDRADE; MOREIRA, 2020). Essa diversidade permite que as indústrias personalizem suas soluções de automação, melhorando a flexibilidade e a adaptabilidade das linhas de produção.

Entretanto, a adoção de robôs industriais não é isenta de desafios. A integração de robôs em ambientes de trabalho requer um planejamento cuidadoso para garantir a segurança dos trabalhadores e a compatibilidade com os sistemas existentes. A utilização de robôs melhora a segurança no local de trabalho, pois eles assumem tarefas arriscadas ou repetitivas, minimizando riscos à saúde dos empregados e promovendo um ambiente mais seguro (BONFIM; NORIEGA, 2023).

Por fim, o futuro dos robôs industriais parece promissor, com inovações tecnológicas em andamento que prometem aumentar ainda mais suas capacidades. Com o advento da Indústria 4.0, a interconexão entre máquinas e sistemas inteligentes está se tornando uma realidade, possibilitando um novo patamar de automação. Conforme aponta a IFR (2021) "a combinação de robôs com tecnologias emergentes, como IoT e big data, pode transformar a forma como as fábricas operam". Assim, a continuidade da pesquisa e do desenvolvimento nessa área será fundamental para sustentar a evolução dos robôs industriais e suas aplicações nas próximas décadas.

2.1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Automação industrial representa o conjunto de dispositivos que podem ser interligados e programados para atender um determinado processo de fabricação, seja de um simples processo isolado ou de uma produção em grande escala (Figura 2). É amplamente utilizado nos polos industriais. Vale ressaltar que sua aplicabilidade foi conveniente o suficiente para ser usado nas áreas residências, essa ramificação ficou conhecido como Domótica. Segundo Silva (2020) a automação é um conjunto sistemático que engloba sistemas de softwares, mecânicos, e tem como finalidade diminuir o processo de produção, com auxílio do trabalho manual. Em resumo, de acordo com OLIVEIRA; SANTOS et.al. (2024) apud Mohapatra (2009) “a automação serve para aprimorar a qualidade do produto, melhorar a segurança do processo e aumentar a disponibilidade de recursos.”

Figura 2 - Automação industrial em larga escala



Fonte: Roisenberg (2024)

Existem atividades que podem ser muito exaustivas para os seres humanos, seja pela repetibilidade por longas horas ou até mesmo pelo esforço excessivo. A automação pode ser entendida como um conjunto de tecnologias que visam a automatizar processos, aumento da eficiência e melhoria da qualidade em diversas áreas da indústria e comércio.

Ao conceituar um projeto envolvendo automação industrial, é imprescindível o conhecimento e abordagem de cada área da engenharia frente o problema a ser solucionado. Isso quer dizer que a harmonia entre os setores são cruciais para a saúde e longevidade de uma produção automatizada. Segundo Oliveira (2023) a

eficiência na produção nas indústrias, por meio do uso de tecnologias, só é alcançada porque a maioria delas está em constante evolução.

É notável que a automação é uma área multidisciplinar, envolvendo os engenheiros de mecânica, eletrônica, computação, processos, dentre outros. Essa contribuição mútua enriquece o comissionamento de componentes mecânicos, eletrônicos e softwares, assegurando assim, uma base sólida para a junção de todos esses elementos e culminando numa estrutura ampla para implantação de máquinas automáticas na indústria. A crescente busca pelas fábricas em aumentar a produção e tornar seus produtos de maior qualidade, tem propiciado a implantação da automação de maneira mais fortificada.

2.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Os controladores lógicos programáveis (CLPs) tornaram-se fundamentais em se tratando de processo automático nos meios de produção. Sua arquitetura robusta garante décadas de funcionamento ininterruptas. Segundo Vieira (2022) “CLPs, ou PLCs (Programmable Logic Controller), são frequentemente definidos como miniaturas de computadores industriais que contém um hardware e um software que são utilizados para realizar as funções de controles.” A figura 3 representa um exemplo físico de um CLP.

Os CLPs são adicionados ao painel elétrico de uma máquina e interligado aos dispositivos de campo (sensores, motores etc.) possibilitando monitorar e controlar, considerando uma ordem de funcionamento, seja de forma serial e/ou paralelo, estabelecendo dessa forma um total controle autônomo dos mecanismos.

Figura 3 - Controlador lógico programável



Fonte: Elétrica Copeli (s.d)

O CLP através de seu canal de software, possibilita a criação de código de funcionamento de um determinado posto processual. Totalmente reprogramável pelo seu usuário, é comum que novas rotinas sejam adicionadas periodicamente a fim de aprimorar o desempenho das máquinas.

Mafrin (2021) aponta que os CLPs estão ganhando cada vez mais espaço na indústria por seus pontos benéficos tais como; redução de custos para controle de sistema complexos, flexibilidade e possibilidade de controlar outros sistemas de forma fácil e rápida, controle sofisticado em habilidades computacionais, recursos de solução de problemas, componentes confiáveis com durabilidade operacionais duradouras.

A linguagem de programação mais utilizada na indústria pelo CLP, é a LADDER. De acordo com Moreira (2020) "a linguagem Ladder consiste na lógica matemática binária que possui apenas dois valores que são representados por: 0 e 1." Dessa forma, a linguagem veio para substituir os painéis de relé que se baseiam em comandos de contatos abertos, contatos fechados e bobinas de saída, sua composição contém outras funcionalidades além dessas, sendo possível desenvolver uma forma de programação mais completa e eficiente (SILVA; JUNIOR, 2020). LADDER no CLP tornou-se uma referência na automação industrial devido sua facilidade de interpretação e construção seguindo modelos já conhecidos de esquemas elétricos.

2.3 SERVO ACIONAMENTO

O servo acionamento é uma tecnologia essencial na automação industrial, sendo amplamente utilizada em máquinas que exigem precisão de movimento e controle simultâneo. Diferente de motores convencionais, os servos acionamentos permitem um controle refinado da posição, velocidade e torque, tornando-se fundamentais em aplicações que demandam alta repetibilidade. De acordo com Universal Robots (2023) "Um servo motor é um dispositivo eletromecânico que converte sinais de controle em movimento mecânico preciso. É composto por três principais componentes: um motor, um sistema de feedback e um controlador."

Um dos componentes principais de um sistema de servo acionamento é o servo motor (figura 4) que geralmente é combinado com um controlador e um *feedback* de

posição. Os servos motores podem ser de corrente contínua (CC) ou corrente alternada (CA), cada um com suas próprias vantagens e desvantagens. Segundo SUZANA (2023) os motores de CC são mais utilizados em equipamentos que precisam de controle variado de velocidade, enquanto os motores CA são mais simples e robustos em aplicações industriais e são ideais para cargas que não exigem controle frequente de velocidade e têm menor custo inicial. Essa diversidade permite que engenheiros escolham o tipo mais adequado para suas necessidades específicas.

Figura 4 - Servo motor com servo amplificador



Fonte: TECMAF (2024)

O *feedback* de posição é outra característica fundamental dos servos acionamentos. Sensores, como *encoders* são frequentemente utilizados para monitorar a posição do motor e fornecer informações ao controlador. Isso permite ajustes em tempo real, assegurando que o sistema opere dentro das condições desejadas. De acordo com Oliveira (2018), o *encoder* é utilizado em diversos sistemas de *feedback*, esse controle é particularmente importante em aplicações de robótica e CNC (Controle Numérico Computadorizado).

Os controladores de servos, popularmente conhecido como servo drives ou servo amplificadores, são responsáveis por processar as informações do *feedback* e enviar comandos ao motor. Eles podem ser programáveis ou configuráveis, permitindo uma ampla gama de ajustes conforme as necessidades da aplicação. Essa flexibilidade no controle é um dos motivos pelos quais os servos acionamentos são preferidos nos diversos sistemas de automação.

Além disso, a eficiência energética dos servos acionamentos é um aspecto que merece destaque. Os sistemas são projetados para operar de forma otimizada, reduzindo o consumo de energia e o calor gerado durante a operação. DIAS et.al.

(2018) pontua sobre essa eficiência da utilização dos servomotores que pode resultar em economias significativas de energia, especialmente em aplicações industriais onde os motores elétricos consomem uma parte considerável da energia total. Isso se torna especialmente relevante em um contexto em que a redução de custos operacionais e a responsabilidade ambiental são prioridades.

O futuro dos servos acionamentos parece promissor, com inovações tecnológicas. A integração de inteligência artificial está melhorando a forma como os sistemas de controle operam, permitindo uma automação mais aprimorada. Assim, a evolução dos servos acionamentos será fundamental para a próxima geração de máquinas automatizadas.

2.4 SENSORES INDUSTRIAIS

Os sensores industriais desempenham um papel importante na automação de processos e no controle de qualidade em setores de fabricação. Esses elementos são responsáveis por coletar dados de diversas variáveis, como temperatura, pressão, iluminação e posição, permitindo um controle mais eficiente das operações.

Os sensores conectam dispositivos e sistemas e permitem que máquinas se comuniquem para rastrear sistemas e equipamentos em cada instalação. (JAVAID et al., 2021).

A utilização de sensores tem se expandido rapidamente, especialmente com o advento da Indústria 4.0, que integra tecnologias digitais aos processos produtivos. Os sensores industriais são fundamentais na automação dos processos produtivos, pois fornecem as informações necessárias sobre as grandezas físicas a serem monitoradas e controladas. (MOREIRA, 2021). Sem esses dispositivos, não seria possível realimentar os sistemas de controle e automação de forma eficaz. Isso se traduz em uma significativa economia de recursos e aumento da produtividade.

Os sensores são dispositivos sensíveis a diferentes formas de energia do ambiente, utilizados para obter informações sobre variáveis como energia luminosa, térmica e cinética. Eles possibilitam a medição de grandezas físicas, incluindo pressão, temperatura, velocidade, aceleração, corrente, tensão e posição (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020). Outro aspecto importante dos sensores

industriais é a sua capacidade de garantir a segurança no ambiente de trabalho. Sensores de proximidade e de detecção de gases, por exemplo, são vitais para a identificação de condições perigosas.

Os diversos tipos de sensores disponíveis no mercado como sensores ópticos, ultrassônicos, e de pressão permite a integração de soluções para atender às necessidades de cada aplicação industrial.

Por fim, os sensores industriais são elementos essenciais nas operações industriais, proporcionando eficiência, segurança e inovação. A sua integração com novas tecnologias continua a transformar o cenário da automação, promovendo um futuro mais interligado e produtivo.

3 MÉTODO E MATERIAIS

Essa parte do trabalho visa explicar as etapas para alcançar o objetivo do projeto, conforme o planejamento a seguir:

- Lista de Materiais
- Desenho do circuito
- Montagem do protótipo
- Parametrização dos servos
- Softwares e programação

O desenvolvimento do projeto ocorreu em um laboratório em condições controladas de produção, utilizando principalmente a linguagem Ladder para o desenvolvimento de um sistema capaz de coletar pacotes de plástico, transportar e despejar em uma caixa para estocagem.

3.1 LISTA DE MATERIAIS

Para o desenvolvimento e teste de funcionalidade foram utilizados os materiais listados na tabela 1.

Tabela 1 - Lista de Materiais

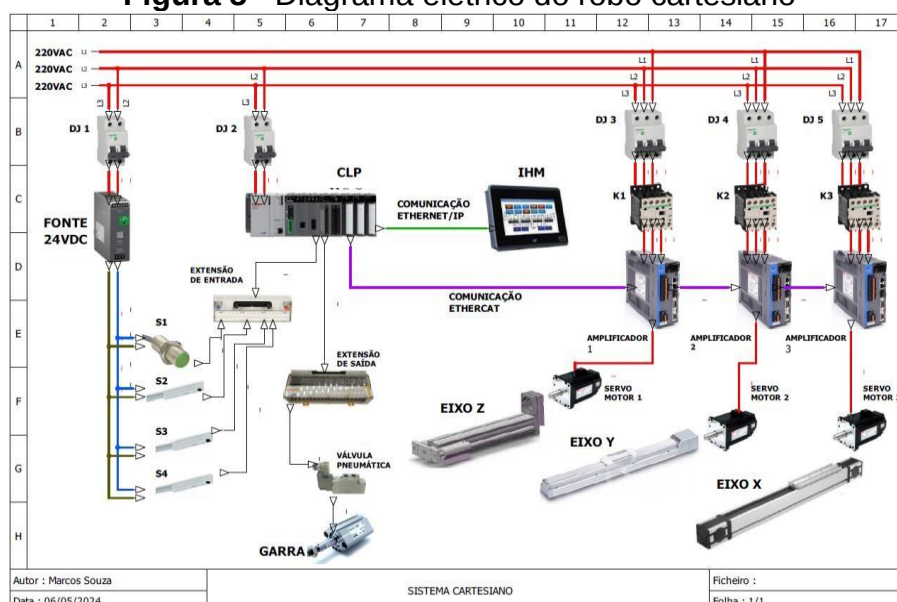
Cartesiano Materiais				
item	Descrição	Modelo	Marca	Qtd
1	Fonte de Alimentação 24Vdc 10R	ABLS1A24100	SCHNEIDER	1
2	Conjunto Filtro Pneumático	AW30	SMC	1
3	Válvula Eletropneumática	SY7120-5LZ-02	SMC	1
4	Tubulação Pneumática PU06	PU06	SMC	10
5	Reguladora de Fluxo	AS1201F-MS-06A	SMC	2
6	Cilindro Pneumático	CDQ2A20-30MDZ	SMC	1
7	IHM	EXP60-TTA/DC	LS Electric	1
8	CLP Fonte + CPU	XGP-ACF2 + XGK-CPUSN	LS Electric	1
9	CLP Módulo de Entrada Digital	XGI-D28A	LS Electric	1
10	CLP Módulo de Saída Digital	XGQ-TR8A	LS Electric	1
11	CLP Módulo ETHERCAT	XGF-PN8B	LS Electric	1
12	CLP Módulo Ethernet IP	XGL-EFMTB	LS Electric	1
13	Cabo de Conexão Cartão Com módulo	C40HF-10BP-1B	LS Electric	2
14	Módulo Expansão Entrada do CLP	XGI-D28A	LS Electric	1

15	Módulo Expansão Saída do CLP	XGQ-TR8A	LS Electric	1
16	Servo Amplificador	L7NHA004U	LS Electric	3
17	Cabo de Força para Servo Drive	APCS-PN20LSC	LS Electric	3
18	Cabo de Encoder para Servo Drive	APCS-EN20ES	LS Electric	3
19	Cabo de IO Servo Drive	APCS-CN102A	LS Electric	3
20	Cabo de STO Servo Drive	APCS-STO30A	LS Electric	3
21	SERVO MOTOR 100W Eixo 5 (Z)	APMC-FBL01AYK2	LS Electric	1
22	SERVO MOTOR 200W Eixo 4	APMC-FBL02AYK	LS Electric	1
23	SERVO MOTOR 400W Eixo 3	APMC-FBL04AYK	LS Electric	1
24	Moto Redutor para servo motor	WPF060-5.1-C20604	KALATEC	3
25	Disjuntor para CLP C10 bipolar	EZ9F33210	SCHNEIDER	1
26	Disjuntor para Fonte 16A bipolar	EZ9F33216	SCHNEIDER	1
27	Disjuntor para Servo Drive C6 TRIPOLAR	EZ9F33306	SCHNEIDER	3
28	Contatora para servo Drive	LP1K0910BD	SCHNEIDER	3
29	Sensor Fotoelétrico Difuso	GTB6-N4211	SICK	3
30	Sensor Magnético fim de curso	D-M9BL	SMC	2
31	Atuador Elétrico Cartesiano Eixo 5 (Z)	LEYG32LNZB0250	SMC	1
32	Atuador Elétrico Cartesiano Eixo 4 (Y)	LEFS32NZB-500	SMC	1
33	Atuador Elétrico Cartesiano Eixo 3 (X)	SLCD-60	KALATEC	1
34	Atuador da Garra	CDQ2A20-30MDZ	SMC	1
35	Sensor Indutivo	PS2-12GI50-E-X	SENSE	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.2 DESENHO DO CIRCUITO

O esquema de ligação do circuito está representado na Figura 5, CLP, Servo Amplificador, Servo drivers, Sensores e Atuadores estão representados e dispostos como a ligação física. Este diagrama foi criado no software QElectroTech V0.9. O circuito é responsável por atuar um protótipo de automação, que representa um robô cartesiano.

Figura 5 - Diagrama elétrico do robô cartesiano

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.2.1 Disjuntores

Os disjuntores foram distribuídos para seccionar individualmente cada componente da automação: Fonte de alimentação 24Vdc, CLP e Servo Amplificadores. Essa forma de separação é muito útil caso seja necessário resetar alguma falha de um elemento específico sem ser preciso desligar o circuito inteiro, economizando tempo na manutenção.

As características dos disjuntores foram escolhidas conforme a demanda do circuito: Bipolar curva C16 para fonte 24Vdc, bipolar curva C10 para CLP, tripolar curva C6 para cada servo amplificador, os disjuntores estão representados na figura 6.

Figura 6 - Disjuntores dos servos

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.2.2 Fonte de alimentação

A fonte de alimentação 24Vdc (Figura 7) tem o intuito de alimentador com corrente contínua todos os dispositivos que precisam desse circuito: sensores, Botoeiras, IHM, válvulas e cartões de E/S do CLP. Este componente possui potência 240W e corrente de saída de 10A.

Pela norma de NR-12, todos os dispositivos de campo e painéis de comando precisam ser alimentados unicamente por corrente contínua visando a segurança dos operadores e usuários.

Figura 7 - Fonte de alimentação 24Vdc



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.2.3 Contadoras

As contadoras que compõem este circuito são destinadas a seccionar o circuito de potência e controle dos servos amplificadores (Figura 8), são principalmente utilizadas para acrescentar uma redundância para a parada de emergência pelas normas de NR-12, que desliga o circuito de controle dos servos, fazendo-os parar instantaneamente e colocando-os em modo de alarme exigindo um reset seguro.

Suas bobinas são alimentadas por corrente contínua oriundas de relés de segurança. O circuito de NR-12 não será tratado neste trabalho.

Figura 8 - Contadoras para os servos



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.2.4 Sensores Indutivos

Sensores indutivo são comumente utilizados como fim de curso de atuadores elétricos pois eles detectam as bordas do material metálico da parte móvel do atuador, para esta aplicação o sensor indutivo serviu como referência para o comando de Origem para o servo motor do eixo X.

As características do sensor indutivo escolhido são de diâmetro de 12 milímetros, cabeça faceada para ver o material metálico unicamente não sua frente, distância sensora de no máximo 4 milímetros, este sensor está representado na figura 9.

Os sensores são diretamente ligados no cartão de expansão de entrada do CLP, que por sua vez, envia o sinal para o servo drive, confirmando a parada no ponto de origem.

Figura 9- Sensor indutivo fim de curso do eixo X



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.2.5 Sensores magnéticos

Os sensores magnéticos são aplicados em atuadores que possuem ranhuras em seu corpo e embolo magnético no interior para facilitar a detecção de posição. Assim como os sensores indutivos, os sensores magnéticos serviram para detectar o início e fim de curso dos atuadores.

A própria fabricante dos atuadores fornece os sensores magnéticos compatíveis com os cilindros, o modelo escolhido foi da SMC, código: DM9BL (Figura 10).

A ligação dos sensores também se direciona para o cartão de E/S do CLP para processar a informação de fim de curso.

Figura 10 - Sensor magnético do atuador da garra



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.2.6 Sensor fotoelétrico

Para esta aplicação o sensor fotoelétrico foi utilizado para detectar o pacote de amostra que é despejado da esteira anterior e foi integrada ao programa do robô cartesiano.

Ao detectar o pacote, o mecanismo da esteira desloca linearmente a amostra para dentro da garra do robô cartesiano, este por sua vez, precisa estar na posição de pega para receber o produto.

O sensor fotoelétrico escolhido para esta aplicação foi da marca SICK (Figura 11), possui distância de detecção de até 1,5 metros e foi ajustado para detectar a presença em até 200 milímetros.

Vale ressaltar que este sensor não faz parte do circuito deste trabalho, mas foi aproveitado do mecanismo da esteira de despejo para validar a entrada do pacote no cartesiano, esta informação do pacote despejado é relevante pois este dado foi disponibilizado na IHM como contador de pacotes despejados para o robô cartesiano.

Figura 11 - Sensor fotoelétrico da esteira de despejo

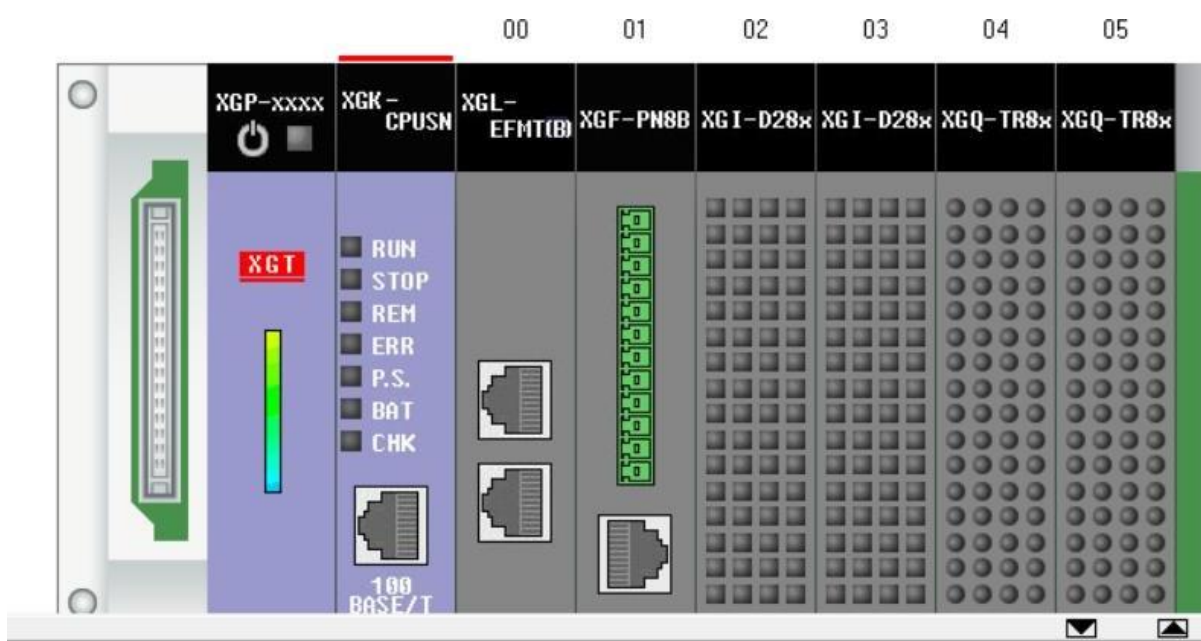


Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.2.7 Controlador Lógico Programável - CLP LS XGK Series

O CLP escolhido para este protótipo é da fabricante LS e família XGK, é um controlador com Rack (Figura 12) para escolher módulos para diversas aplicações, tais como, Entradas e Saídas digitais e/ou analógicas, comunicação ETHERCAT, comunicação ETHERNET/IP, entre outros.

Figura 12 - Módulos do CLP



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.2.8 Fonte e CPU

A fonte deste CLP é XGP-ACF2, alimentação 220Vac. CPU é XGK-CPUSN, uma CPU para programação de nível intermediário, suas características são:

- Capacidade do programa: 64K steps
- Pontos de E/S: 3.072
- Pontos de E/S por extensão: 65,536
- Velocidade de processamento: 8.5ns/step

3.2.9 Cartão de Fast Ethernet

O cartão de comunicação Ethernet é o XGL-EFMTB (Figura 13), está localizado no Slot 0 do Rack do CLP, através do cabo de rede padrão ethernet RJ45, ligasse esse cartão com outros dispositivos ethernet e switch de rede. A topologia e forma de comunicação escolhida para este projeto foi da ETHERNET/IP.

Para uma interação com o usuário, o CLP comunicasse, através da rede ETHERNET/IP, com a IHM para disponibilizar dados da máquina e receber comandos para início do processo.

Figura 13 - Cartão Fast Ethernet



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.2.10 Cartão de Controle de Posição EtherCat

O principal objetivo deste módulo é receber o feedback dos encoders dos servos motores e definir as coordenadas do cartesiano bem como a velocidade dos mecanismos. O feedback e os acionamentos são feitos através da rede ETHERCAT, uma comunicação dedicada para movimentos de servo.

A rede ETHERCAT neste CLP iniciasse do cartão dedicado XGF-PN8B, localizado no slot 1 (Figura 14), comportando até 8 eixos de controle. Utilizasse o padrão de cabo de rede ethernet RJ45 que ligasse no conector ECAT IN do primeiro

servo amplificador (Figura 15) e no ECAT OUT ligasse no ECAT IN do servo amplificador seguinte, e assim sucessivamente.

Figura 14 - Módulo de EtherCat do CLP



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 15 - Ligação da rede EtherCat nos servos amplificadores



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.2.11 Cartões de Entrada

Os cartões de entrada têm o código XGI-D28A. Possui 64 entradas digitais disponíveis para circuito em 24Vdc, NPN. Este cartão está localizado no slot 2 e 3 do rack e é conectado um dispositivo extensor de entrada XTB-40H Figura 16 através do cabo com conector C40HF-20PB-XGP1 (Figura 17) para facilitar ligações a distância dos dispositivos de campo tais como sensores, botoeiras e sinais digitais de outros controladores.

Este CLP utiliza-se dos sinais dos sensores para determinar os pontos de origem de cada dispositivo assim como seu fim de curso, é com base nesses sinais que é executado os passos em série ou em paralelo de cada eixo do cartesiano e os demais acionamentos.

Figura 16 - Módulo de entrada do CLP (XGI-D28A)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 17 - Módulo de entrada expansor a distância



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 18 - Cabo com conector para módulo do expensor a distância de entrada



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.2.12 Cartões de Saída

XGI-TR8A é o código do módulo de saída escolhido para esta aplicação (Figura 19). Com circuito de ligação 24Vdc a transistor, possui 64 saídas digitais disponíveis com comum sendo NPN. Foram instalados nos slots 4 e 5 do rack do CLP.

Assim como o cartão de entrada, esse cartão foi ligado com um expensor para ligação a distância. Vale ressaltar que os módulos de expansão a distância do cartão de saída são diferentes do cartão de entrada, possuindo sua própria configuração e modelo de cabo. O módulo de expansão a distância escolhido para o cartão de saída foi o R32C-NS5A-40P (Figura 20) e cabo C40HF-10PB-1, esta expansão converte o circuito a transistor do módulo do CLP em saída a relé, facilitando a ligação de dispositivos de campo, tanto NPN quanto para PNP.

Figura 19 - Módulo de saída (XGQ-TR8A)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 20 - Módulo expensor a distância de saída



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A figura 21 representa o CLP com todos seus módulos montados. A sequência de montagem dos módulos foi escolhida devido uma convenção do time de manutenção da fábrica: primeiro os módulos especiais de comunicação, seguido dos cartões de entrada digitais e analógicos, finalizando com os cartões de saída.

Figura 21 - CLP montado com todos os módulos



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.2.13 Interface Homem Máquina – IHM

A IHM irá mostrar através de figuras modeladas, os dados e acionamentos de cada mecanismo para comandos manuais. Haverá também uma tela principal para os comandos automáticos.

O modelo da IHM escolhida foi EXP60-TTA/DC (Figura 22), possuindo 10.2 polegadas e alimentação 24Vdc, da mesma fabricante do CLP para facilitar a integração da automação.

Figura 22 - Interface homem máquina (IHM)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.2.14 Servo Amplificador

A função principal do servo amplificador é receber o sinal de controle do controlador, anteriormente recebido pelo CLP, e enviar o sinal de alta potência para o servo motor. Além disso, ele monitora a posição, velocidade e outros parâmetros do motor, ajustando o sinal de saída conforme necessário para garantir que o movimento do motor seja preciso e conforme o programado.

As características do Servo amplificador têm que criteriosamente combinar com as características do servo motor, respeitando os cabos de ligação, características elétricas e mesma fabricante do servo motor.

Para este protótipo foi escolhido o servo amplificador da fabricante LS, modelos da família L7NHA, pois possui comunicação com a rede ETHERCAT, para entrar na rede dedicada de controle de movimento do CLP. A figura 23 mostra os amplificadores respectivamente: L7NHA004U (para servo motor de 400W), L7NHA002U (para servo motor de 200W) e L7NHA001U (para servo motor de 100W).

Figura 23 - Servo amplificadores dos eixos do cartesiano



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.2.15 Cabos para os Servos

Os cabos para os servos são selecionados conforme modelo do servo motor e servo amplificador. Os cabos possuem características próprias para cada aplicação: potência e tipo do motor, feedback do encoder, freio do motor, E/S digital etc.

É importante mencionar estes cabos não podem ser emendados, então o dimensional do comprimento também precisa ser especificado no momento da aquisição.

Para este projeto os cabos foram escolhidos foram: APCS-PN20LSC (cabo de força de 20 metros para o servo motor), APCS-EN20ES (Cabo de encoder de 20 metros para o servo motor), APCS CN102A (Cabo para E/S digital) e APCS-STO30A (cabo para comandos de segurança para servo motor). Todos estes itens são da marca LS e estão representados na figura 24.

Figura 24 - Cabos para ligação dos servos motores



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.2.16 Servo Motor

É o motor elétrico projetado para prover um controle preciso de velocidade, posição e torque. Ele é, em larga escala, utilizado em sistemas que exigem movimento controlado, como robótica, automação industrial e sistemas de CNC (Controle Numérico Computadorizado).

O servo motor pode ser posicionado em ângulos exatos, devido à presença do sistema de feedback, o encoder, que monitora constantemente a posição do motor através do seu sensoramento de alta precisão. Oferece controle acurado de movimento e é capaz de fazer deslocamentos rápidos.

O motor precisa ser combinado com o servo amplificador para ajustar a velocidade e o torque com base nas informações de controle e feedback, como já foi descrito anteriormente neste trabalho.

Estes servos motores são da fabricante LS e foram conectados a um moto redutor (WPF060-5.1-C20604 da fabricante Kalatec) para se aumentar o torque do mecanismo, que por sua vez foram instalados nos atuadores elétricos de cada eixo.

O servo motor do eixo X é do modelo APMC-FBL04AYK figura 25, possuindo 400W de potência, rotação máxima de 3000rpm, encoder 16/19bit.

Figura 25 - Servo motor do eixo X



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O servo motor do eixo Y é o APMC-FBL02AYK (Figura 26), com 200W de potência, rotação de 3000rpm, encoder 16/19bit.

Figura 26 - Servo motor do eixo Y



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O servo motor do eixo Z é o APMC-FBL01AYK2 (Figura 27), com 100W de potência, 3000rpm, encoder 16/19bit, com freio magnético embutido para cargas horizontais.

Figura 27 - Servo motor do eixo Z



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 28 - Moto redutor do eixo X



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.2.17 Atuadores Elétricos

Os atuadores elétricos (Figura 29) são equipamentos que convertem energia elétrica em energia mecânica, sendo usados em sistemas de automação industrial. Sua principal função é movimentar partes de máquinas, robôs e sistemas de controle de válvulas, entre outros, com base em um comando de controle elétrico.

Os atuadores elétricos desde projeto foram dimensionados para atender o alcance de deslocamento para o ponto de pega do produto e o ponto de deixada em outro módulo automático.

Figura 29 - Atuadores elétricos



Fonte: Kalatec (sn)

O atuador do eixo X é o SLCD-60 da Kalatec. Conectado junto com o servo motor de 400W, este atuador representa o comprimento adequado para alcançar o ponto inicial para pega do produto na esteira de saída e levá-lo até o ponto de deixada do pacote na caixa organizadora do outro lado da estrutura do cartesiano.

O atuador do eixo Y é o LEFS32-NZB-500 da SMC. Este atuador e mais o servo motor de 200W foram usados na programação para o correto distanciamento entre os pacotes na deixada na caixa organizadora, este trajeto será mais bem explicado do capítulo Cinemática do cartesiano.

O atuador do eixo Z é o LEYG32LNZB0250 da SMC. Representa a altura que o mecanismo precisa descer para receber o produto na rampa da esteira de saída, em seguida levanta-se para altura da caixa organizadora. O atuador foi conectado do servo motor de 100W.

3.2.18 Válvula e Atuador Pneumático da Garra

A válvula escolhida para o atuador foi SY120-5LZ-02 (Figura 30), simples solenoide, acionamento elétrico 24Vdc. O atuador pneumático foi CDQ2A20-30DMZ (Figura 31), 20 milímetros o diâmetro do embolo magnético e 30 milímetros de curso de atuação. Ambos são da fabricante SMC.

Figura 30 - Válvula do atuador da garra



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 31 - Atuador da garra



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O mecanismo da garra possui um volume para receber até no máximo dois pacotes por vez. O atuador serve para acionar duas chapas em formato de tampa para despejar o produto na caixa organizadora.

Para melhor controle de tempo de abertura e fechamento da garra, o atuador foi instalado com duas conexões com reguladora de fluxo da SMC.

Figura 32 - Mecanismo da garra



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.3 AMOSTRA DE REFERÊNCIA

O produto que será transportado pelo cartesiano é um pacote de plástico transparente contendo itens de montagem para o componente final. A figura 33 é uma mera ilustração do pacote. Suas dimensões são aproximadamente 150 milímetros de largura e comprimento, e seu peso é por volta de 200 gramas.

Figura 33 - Pacote de amostra



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

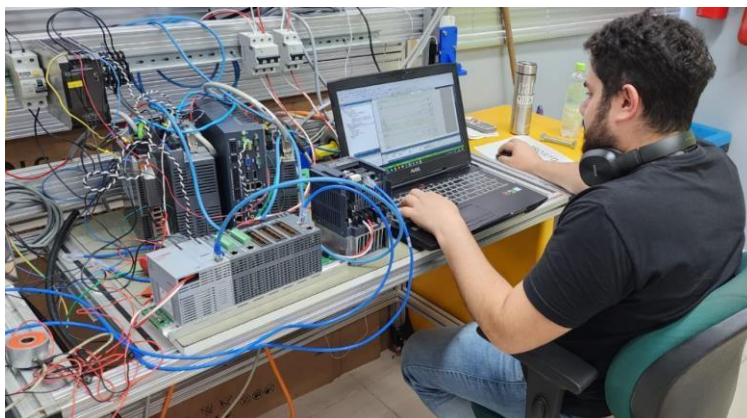
4 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

4.1 POSTO DE TESTE PARA PRÉ-MONTAGEM

Os projetos que utilizam servo acionamento necessitam de uma preparação, um ambiente seguro onde se define as parametrizações necessárias para o correto desempenho sem causar interferências no mecanismo. Esta preparação foi feita em uma bancada de teste de um laboratório de automação (Figura 34).

Neste momento, é desenvolvido a programação inicial para se ter o controle dos servos motores e estabelecer comunicação com outros dispositivos antes da montagem.

Figura 34 - Bancada de teste



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

4.2 MONTAGEM DO PAINEL PRINCIPAL

Após a programação inicial na bancada de testes, os componentes elétricos foram instalados em um painel principal já existente, contendo componentes de outros mecanismos além deste protótipo (Figura 35). Vale ressaltar que este projeto será um integrador de outras automações já aplicadas.

O layout de montagem obedeceu às convenções já existentes: na parte superior do painel, estão dispostos os disjuntores para seccionamento; abaixo os dispositivos de controle como o CLP e módulos de extensão do CLP, e na parte final os servos amplificadores e bornes para ligações externas.

Figura 35 - Painel geral montado



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

4.3 MECANISMO PARA MONTAGEM DO PROTÓTIPO

Após verificação do espaço físico disponível e layout do processo, foi desenvolvido a estrutura mecânica (Figura 36) que irá montar os atuadores para formar o robô cartesiano. Este mecanismo foi criado por um engenheiro mecânico da FPFtech. Os cálculos e dimensionamento do mecanismo não serão tratados neste trabalho.

Figura 36 - Estrutura metálica do cartesiano



Fonte: Sanches (2024)

Após fabricação e montagem, o protótipo do cartesiano está representado na figura 37 e figura 38.

Figura 37 - Estrutura do cartesiano montada



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 38 - Vista superior da estrutura do cartesiano montada



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

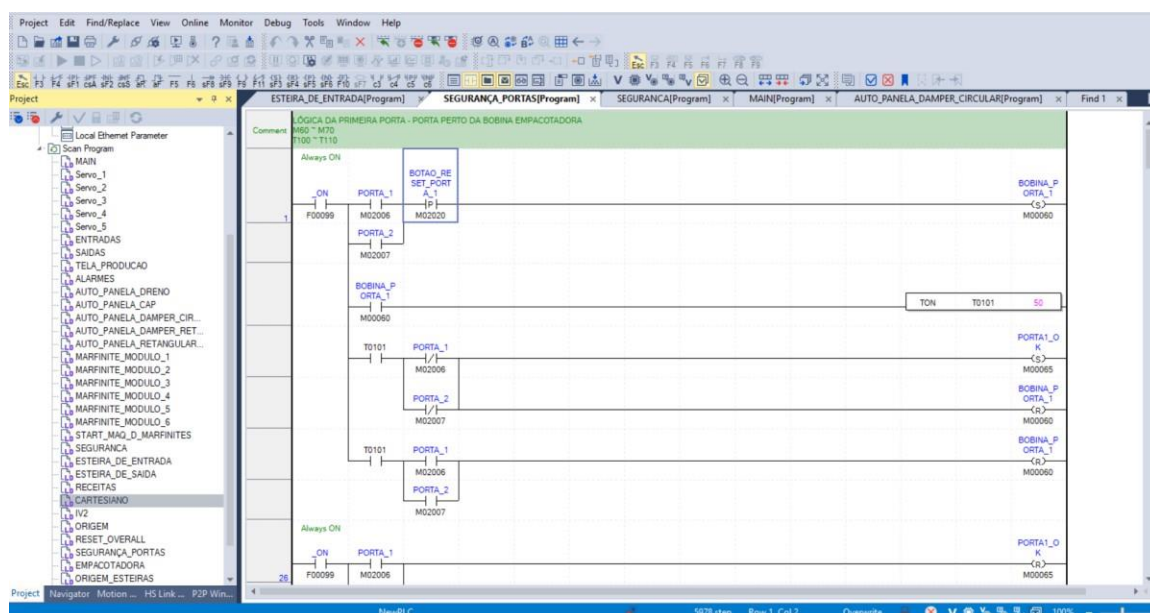
Os atuadores elétricos foram fixados em ângulos de 90 graus entre si para formar os eixos X, Y, e Z do plano cartesiano, e um atuador pneumático foi fixado na ponta do eixo Z junto com um mecanismo de abertura e fechamento para ser a garra de pega e deixada.

5 SOFTWARES E PROGRAMAÇÃO PARA AUTOMAÇÃO

5.1 XG 5000

Para programar no CLP da LS, foi utilizado o software XG 5000, nele é possível desenvolver o Back End dos acionamentos manuais e automáticos do robô cartesiano. É através deste software que foi programado em Ladder a máquina de estado para atender o funcionamento específico deste protótipo.

Figura 39 - Tela do software XG5000



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Na programação em ladder o primeiro passo foi definir os endereços correspondentes aos acionamentos dos servos motores pela ethernet/IP. A faixa de endereços já é pré-definida pelo software: U01.00.0 representa o primeiro servo da rede, U01.00.1 é o segundo servo, U01.00.2 é o terceiro servo e assim por diante. A partir destes endereços tem-se uma série de acionamentos virtuais disponíveis como servo On, parada de emergência, verificação de conexão, entre outros.

Uma vez definido os endereços de controle dos servos, inseriu-se as funções para a aplicação específica, que também já são pré-definidas pelo XG5000. A função XDST refere ao controle de movimento direto (Direct start) dos servos. A figura 40 é

do manual da fabricante e indica as variáveis que representam o controle do dispositivo.

Figura 40 - Função XDST para comando direto do servo



Area setting

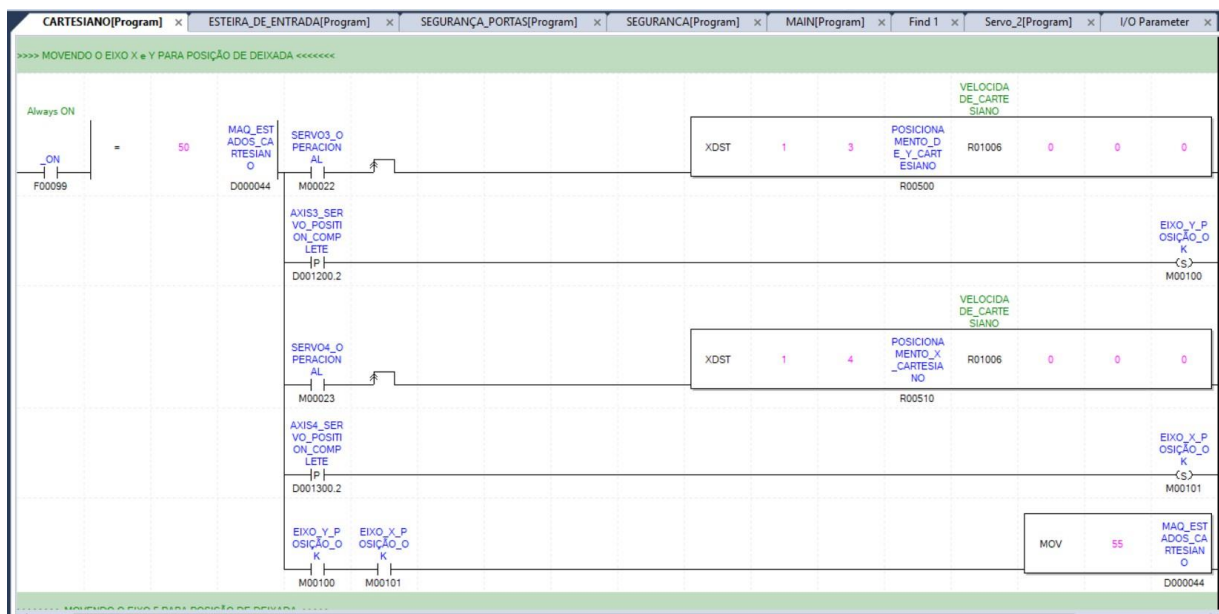
Operand	Content	Data size
sl	Base (x) and slot (y) number with positioning module: h00xy	WORD
ax	Axis to execute direct start command : 1 ~ 8(Real axis)	WORD
n1	Target position	DINT
n2	Target speed	DWORD
n3	Dwell time	WORD
n4	M code No.	WORD
n5	Control word	WORD

Fonte: XGT Series user manual (2014)

Existe também a função XSTP, que pausa imediatamente o servo ao satisfazer alguma lógica do ladder. Combinando as funções XDST e XSTP foi possível criar uma lógica automática de funcionamento dos servos que em conjunto formaram o cartesiano.

Foi necessário também inserir na lógica outros dispositivos como sensores e válvulas para o acionamento automático da garra, sinal de receber pacote, sinal de caixa organizadora completa, entre outros. A figura 41 representa uma parte da lógica ladder desenvolvida para movimento simultâneo dos eixos X e Y para deixada do produto no ponto final.

Figura 41 - Lógica de acionamento dos eixos X e Y



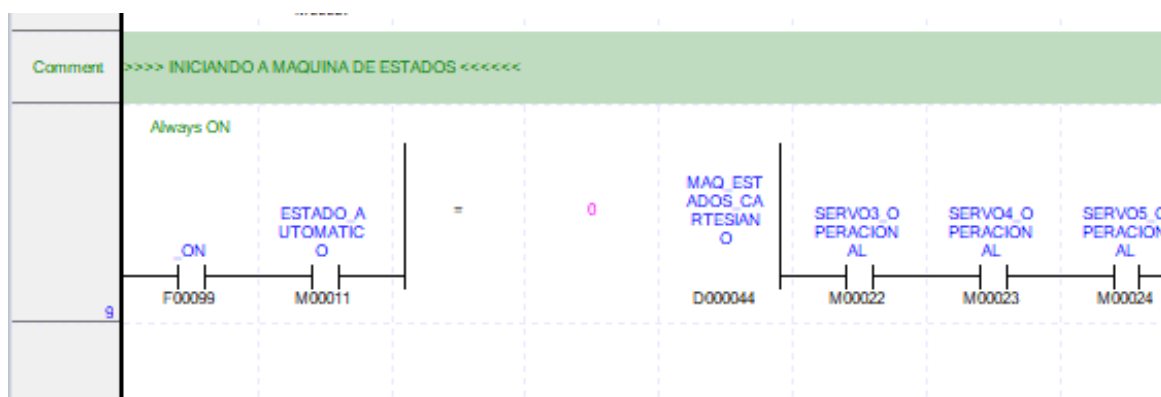
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A estrutura do programa em ladder foi desenvolvida não somente para o funcionamento automático do mecanismo, mas também se levou em consideração boas práticas de programação, facilidade de acesso e manutenção do código caso a equipe de automação da empresa contratante necessite fazer alguma adição na lógica do programa.

Uma técnica utilizada para melhor estruturar o programa ladder foi a máquina de estados. A máquina de estados consiste em categorizar e identificar cada linha do programa como uma forma de acionamento macro e verificação em tempo real de cada etapa do código.

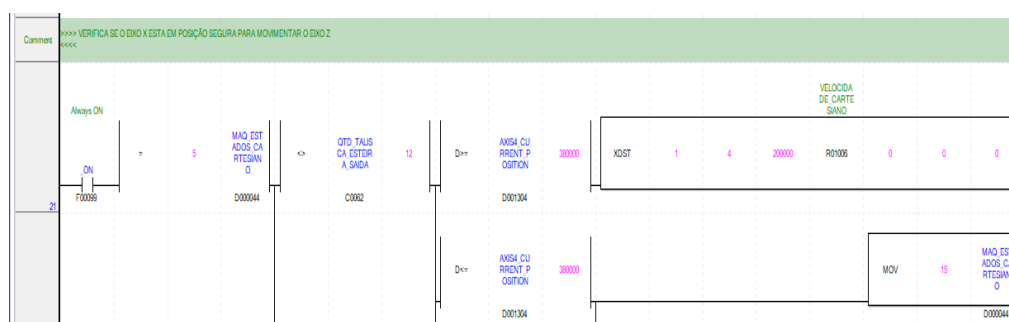
O primeiro passo foi dedicar uma memória virtual para representar a máquina de estado do robô cartesiano (Figura 42), e para cada acionamento do processo a máquina de estados muda de valor. A memória escolhida foi D000044.

É importante ressaltar que é preciso assumir somente um valor por vez, para que se tenha controle do código no modo automático, esse valor pode ser demonstrado pela IHM para acompanhamento.

Figura 42 – Máquina de D00044 sendo iniciada

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Na figura 43, quando a memória D00044 assume o valor 5 (D000044 = 5), somente o eixo X se movimenta. Quando o eixo chega na posição final, a função MOV 15 para D000044 é acionada, e a máquina de estado assume o valor 15. A máquina de estado 15 representa o comando de fechar a garra (D000044 = 15).

Figura 43 – Máquina de estados acionando somente eixo X

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Em seguida, após a conclusão do fechamento da garra com o resultado lógico positivo M2063 (AV_FECHADO_GARRA), aciona-se a função MOV 20 para D000044. Quando D00044 assume o valor 20, somente o eixo Y se move.

A tabela 2 mostra os valores da máquina de estado bem como sua função de acionamento.

Tabela 2 – Máquina de Estados do robô cartesiano

Valor para D00044	Acionamento
0	Iniciando Máquina de Estados

5	Verifica se eixo X está em Origem
10	Verifica se eixo Y está em Origem
15	Fechar Garra para iniciar
20	Mover eixo Y para posição de pega
25	Mover eixo X para posição de pega
30	Mover eixo Z para posição de pega
35	Cartesiano pronto para receber pacote
40	Move eixo Z para posição superior
45	Escolha de posição de deixada
50	Move eixo Y para posição de deixada
55	Move eixo X para posição de deixada
60	Verifica se tem caixa na posição
65	Abrir garra para despejo do pacote
70	Fechar garra após despejo do pacote
75	Verificação de pacotes na caixa

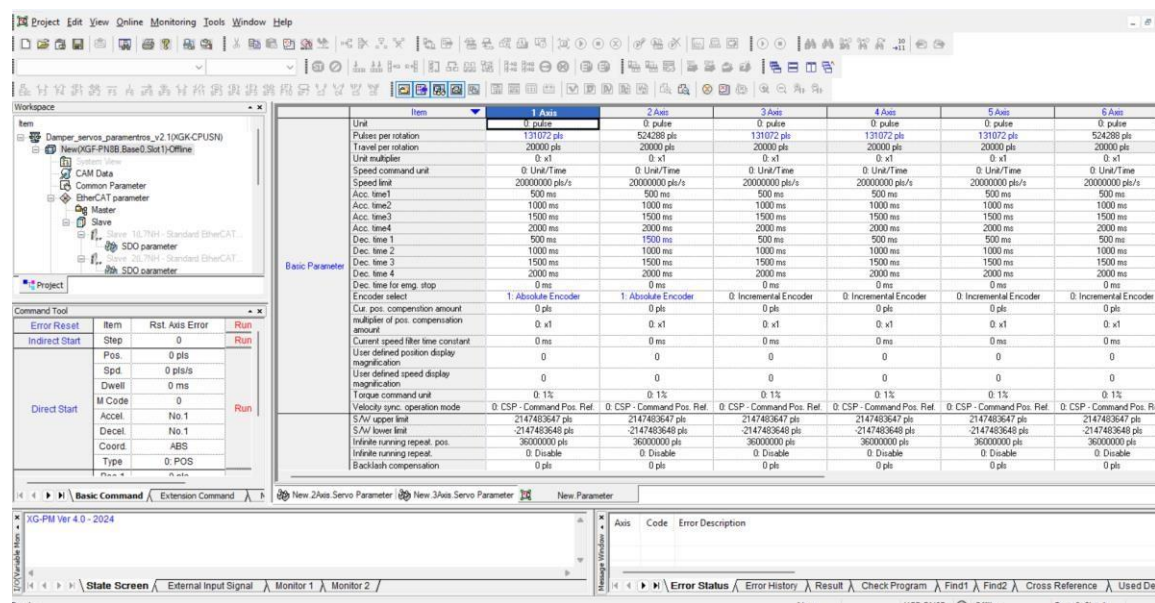
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Em resumo, toda vez que uma máquina de estado executa um acionamento, sobrescreve-se o valor para a próxima etapa e assim por diante.

5.2 XG-PM

Neste programa, parametrizou-se as características dos servos motores para a aplicação desejada. Parâmetros como Engrenagem Eletrônica, tipo de Encoder, Velocidade em JOG, velocidade em Automático, Unidade de Usuário (UU), curva de aceleração/desaceleração e Pulso por Rotação são essenciais para se ter controle e precisão adequada do robô cartesiano.

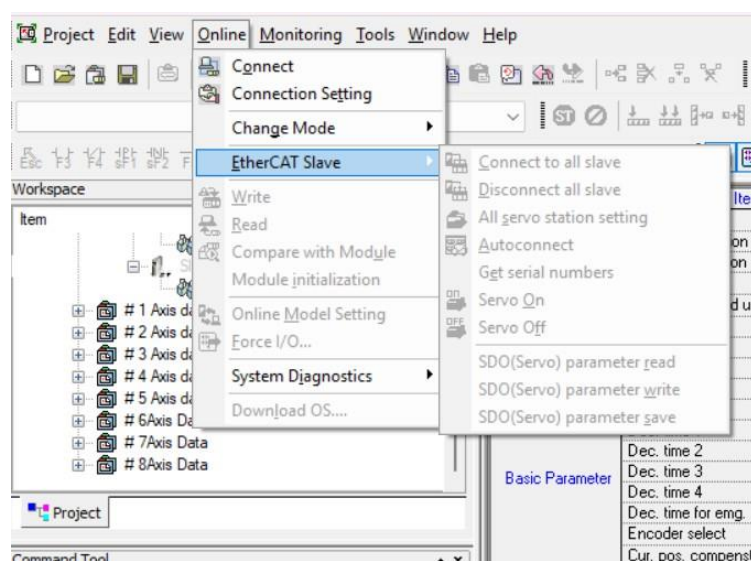
Figura 44 - Tela do software XG-PM



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O primeiro passo foi de reconhecer os servos da rede EtherCat. Ao entrar no menu *Online*, selecionar *EtherCAT Slaves* e em seguida *connect to all slaves*, como mostra a figura 45. Após servos conectados, este software faz o reconhecimento automático da ordem dos servos mostrando o status em tempo real de seus principais parâmetros como velocidade e torque e lista de alarmes se houver.

Figura 45 - Tela de menu do XG-PM para conectar todos os servos



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Ao se conectar com um servo amplificador, o software preenche muitos parâmetros como definição de fábrica, como características elétricas do servo motor atual e tipo de encoder. Entretanto, existe dois parâmetros que são imprescindíveis o preenchimento manual pelo usuário que é o Motor Revolutions e Shaft Revolution, parâmetros esses que indicam a referência de como o motor irá se comportar com o mecanismo em que será instalado.

Para determinar o Motor Revolution e o Shaft Revolution, foi necessário consultar o manual do fabricante para se definir a engrenagem eletrônica do mecanismo. A engrenagem eletrônica é uma forma de ensinar o servo motor como ele deve se comportar em posição e velocidade em um determinado eixo. Para isso, é preciso inserir dados das características do mecanismo.

Na figura 46, o sistema fuso linear foi escolhido pois o princípio de funcionamento dos atuadores elétricos escolhidos para este projeto. Neste caso, levou-se em consideração o diâmetro do fuso e o tipo de encoder para determinar a engrenagem eletrônica.

No caso do eixo Z, o passo da rosca do fuso é de 10 milímetros e o encoder é do tipo 4 (131072 pulsos por volta). A figura 46 mostra esses valores sendo inseridos no software.

Figura 46 - Exemplo de configuração de engrenagem eletrônica para um eixo de fuso linear

Apparatus specification	 Pitch: 10 mm, Reduction gear ratio: 1/1
User Unit	1 um (0.001 mm)
Encoder specification	19-bit (524288 PPR)
Amount of load movement/revolution	10 [mm] = 10000 [User Unit]
Electric gear settings	Motor Revolutions: 524288 Shaft Revolutions: 10000

Fonte: XDL-N7NH Series user manual (2014)

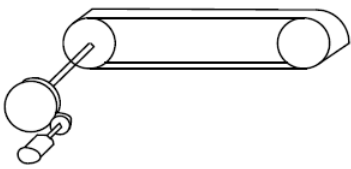
Figura 47 - Inserindo os valores de Motor revolutions e Shaft revolutions no bloco de parâmetros do eixo Z

Parameter type		Parameter change during operation				
All		☐ Param. change during Op. Note) *Apply after power cycle				
Index	Name	Unit	Current Value	Initial Value	Access	
6080:00	Maximum Motor Speed	rpm	5000	0	ro	
6081:00	Profile Velocity	UU/s	200000	200000	rw	
6083:00	Profile Acceleration	UU/s ²	200000	200000	rw	
6084:00	Profile Deceleration	UU/s ²	200000	200000	rw	
6085:00	Quick Stop Deceleration	UU/s ²	2000	2000	rw	
6087:00	Torque Slope	0.1%/s	1000	1000	rw	
6091:00	Gear Ratio	-	2	2	ro	
6091:01	Motor revolutions*	-	131072	1	rw	
6091:02	Shaft revolutions*	-	10000	1	rw	
6098:00	Homing Method	-	1	34	rw	
6099:00	Homing Speeds	-	2	2	ro	
6099:01	Speed during search for switch	UU/s	50000	32	rw	
6099:02	Speed during search for zero	UU/s	10000	160	rw	
609A:00	Homing Acceleration	UU/s ²	200000	200000	rw	
60B0:00	Position Offset	UU	0	0	rw	
60B1:00	Velocity Offset	UU/s	0	0	rw	
60B2:00	Torque Offset	0.1%	0	0	rw	
60B8:00	Touch Probe Function	-	0	51	rw	
60B9:00	Touch Probe Status	-	0		ro	

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Para o caso do eixo X do cartesiano, o atuador elétrico tem seu princípio de funcionamento por correia dentada. Nesta aplicação utilizasse outra forma de cálculo que é específica para sistemas de polias e correias como mostra a figura 48 do manual do fabricante.

Figura 48 - Exemplo de engrenagem eletrônica para polia e correia dentada

Apparatus specification	 Reduction gear ratio: 10/1, Pulley diameter: 100 mm
User Unit	1 um (0.001 mm)
Encoder specification	19-bit (524288 PPR)
Amount of load movement/revolution	$PI * 100/10/0.001 = 31416$
Electric gear settings	Motor Revolutions: 524288 Shaft Revolutions: 31416

Fonte: XDL-N7NH Series user manual (2014)

Para este cálculo utilizou-se a fórmula:

$$engrenagem\ eletrônica = \frac{\pi \times Diâmetro\ da\ polia}{relação\ de\ redução}$$

O diâmetro da polia do atuador elétrico é 26 milímetros e o motor redutor possui uma relação de redução de 50 para 1. Substituindo os valores na fórmula temos:

$$engrenagem\ eletrônica = \frac{\pi \times 26}{\frac{50}{0.001}}$$

Resolvendo a fração temos:

$$engrenagem\ eletrônica = 1.633,62$$

Após valor encontrado, inseriu-se os valores de Motor Revolution = 131072 e o Shaft Revolution = 163362 no bloco de parâmetros do eixo X como mostra a figura 49.

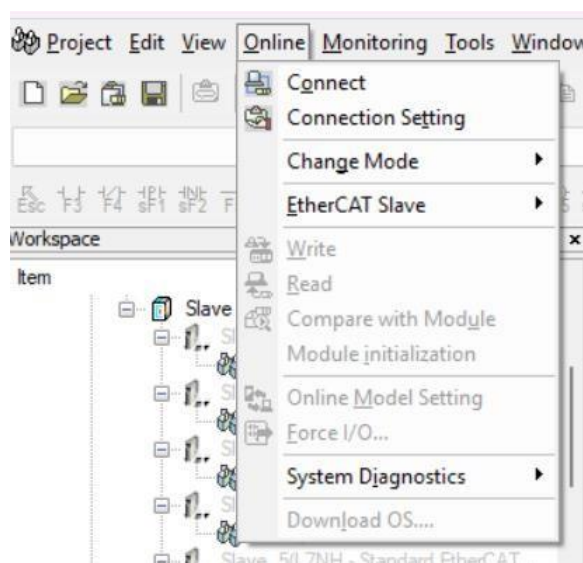
Figura 49 - Inserindo valores da engrenagem eletrônica do eixo X

Parameter type		Parameter change during operation				
All		☐ Param. change during Op. Note) *Apply after power cycle				
☒	Index	Name	Unit	Current Value	Initial Value	Access
☒	6083:00	Profile Acceleration	UU/s^2	200000	200000	rw
☒	6084:00	Profile Deceleration	UU/s^2	200000	200000	rw
☒	6085:00	Quick Stop Deceleration	UU/s^2	10000	2000	rw
☒	6087:00	Torque Slope	0.1%/s	1000	1000	rw
☒	6091:00	Gear Ratio	-	2	2	ro
☒	6091:01	Motor revolutions*	-	131072	1	rw
☒	6091:02	Shaft revolutions*	-	163362	1	rw
☒	6098:00	Homing Method	-	1	34	rw
☒	6099:00	Homing Speeds	-	2	2	ro
☒	6099:01	Speed during search for switch	UU/s	20000	32	rw
☒	6099:02	Speed during search for zero	UU/s	10000	160	rw
☒	609A:00	Homing Acceleration	UU/s^2	200000	200000	rw
☒	60B0:00	Position Offset	UU	0	0	rw
☒	60B1:00	Velocity Offset	UU/s	0	0	rw
☒	60B2:00	Torque Offset	0.1%	0	0	rw
☒	60B8:00	Touch Probe Function	-	0	51	rw
☒	60B9:00	Touch Probe Status	-	0		ro
☒	60BA:00	Touch Probe 1 Positive Edge Position Value	UU	0		ro
☒	60BB:00	Touch Probe 1 Negative Edge Position Value	UU	0		ro

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Após fazer a inserção dos valores das engrenagens eletrônicas de todos os eixos, escreveu-se os parâmetros para os servos na guia online, em seguida Write, Figura 50. Com isso os servos já estão prontos para serem atuados conforme parametrizados para a aplicação.

Figura 50 - Escrevendo o programa para os servos

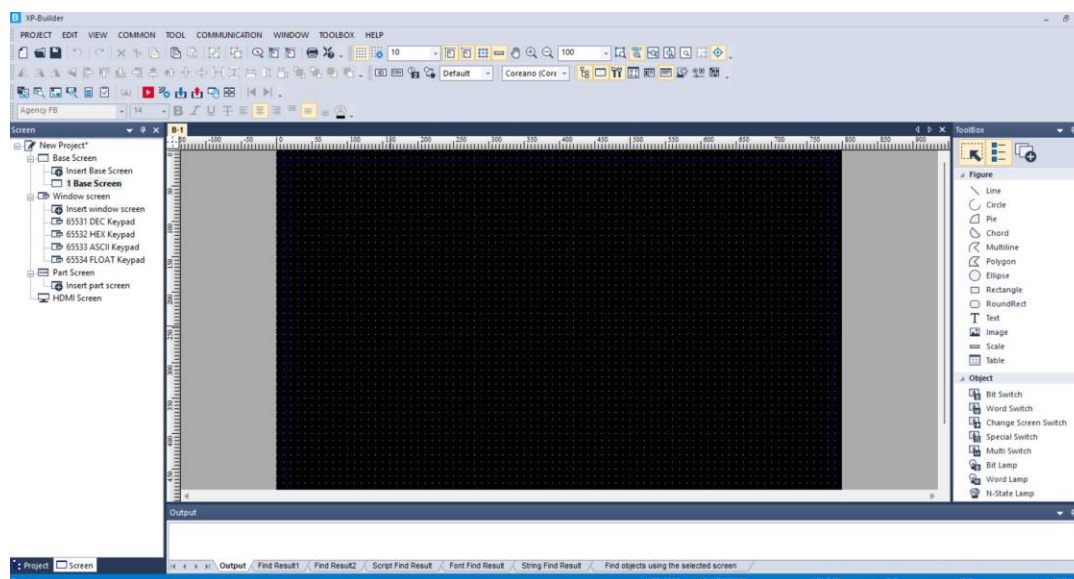


Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

5.3 XP-BUILDER

O XP-Builder é o software usado para a modelagem das telas da IHM, para este projeto, as telas serviram como o Front End para os usuários. Telas como Operação dos Servos, tela principal, comandos manuais e automático foram desenvolvidas conforme a necessidade do operador caso precise fazer um novo setup de produção.

Figura 51 – Tela inicial do software XP-BUILDER



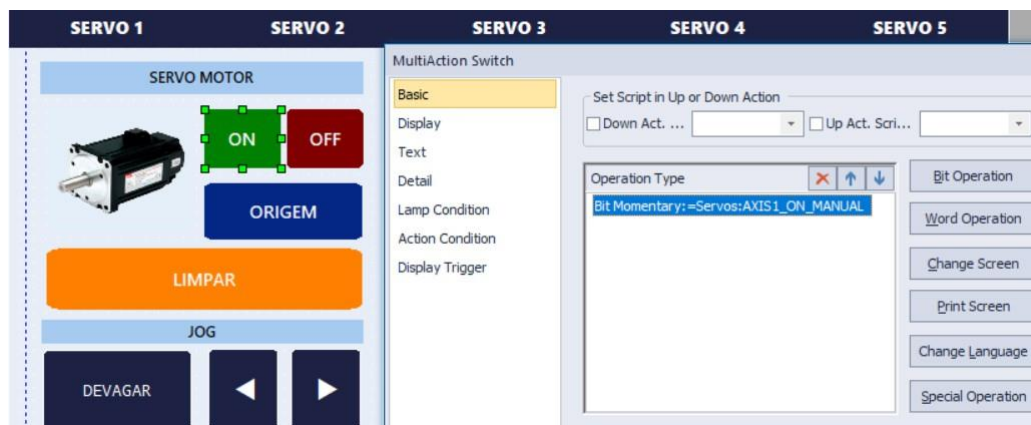
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Inseriu-se botões de comandos e associou-os com as respectivas memórias do CLP como mostra a figura 52. Botões como servo On, Servo Off e sentidos de rotação foram inseridos nas telas.

Algumas telas foram determinadas pelo cliente final como sendo imprescindíveis:

- Tela principal: Comandos de acionamento de automático e status da máquina.
- Tela de manual: Comandos manuais de cada eixo isoladamente.
- Tela de produção: Informa números de quantidade produzidas, tempo de ciclo, entre outros.
- Tela de alarme: Mensagens indicando origem da falha com datas.

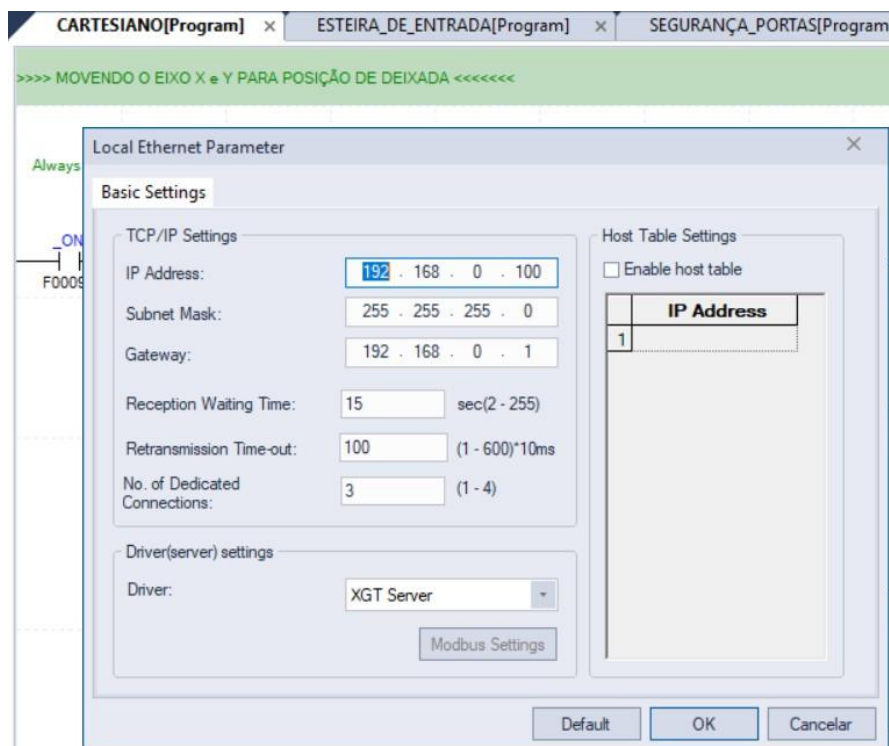
Figura 52 - Tela de comando do servo 1 e sua respectiva memória de acionamento do CLP



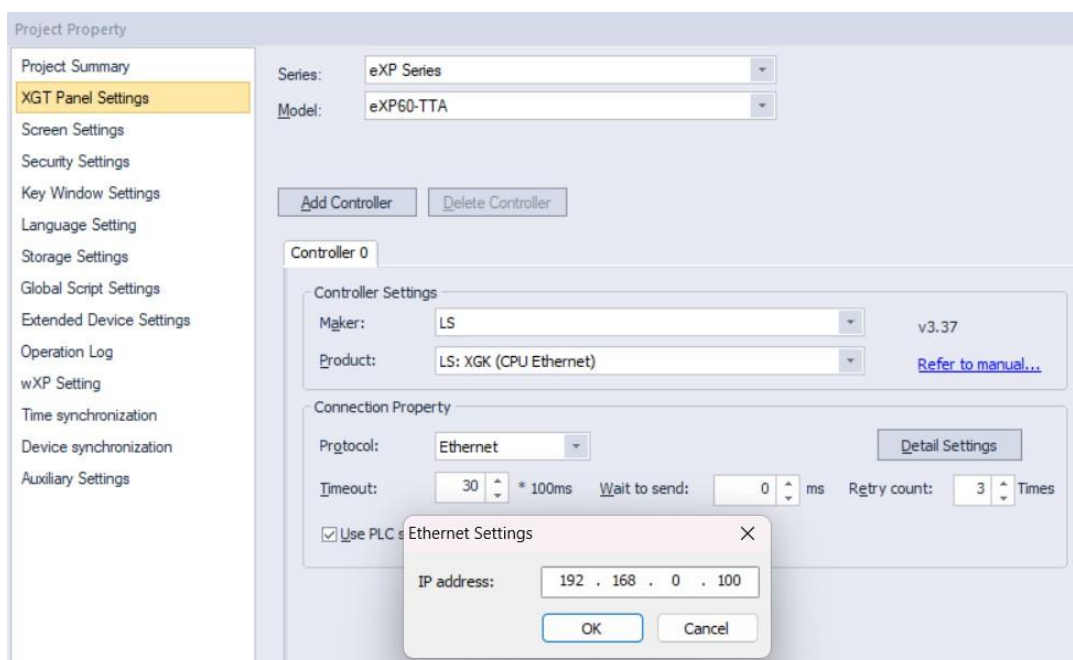
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Após modelagem das telas feitas, estabeleceu-se a comunicação Ethernet/IP inserindo os endereços de IP tanto no software do CLP (XG5000) quanto do software da IHM (XP-builder) como mostra a figura 53 e figura 54.

Figura 53 - Tela de configuração de Ethernet no software XG5000



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 54 - Tela de configuração de Ethernet do XP-Builder

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Após configurações feitos, A IHM está apta para estar conectada com o CLP e receber os dados referentes aos servos bem como seus alarmes.

6 TRAJETÓRIA DO CARTESIANO

Conforme a programação, os atuadores que representam os eixos do robô cartesiano precisam seguir uma trajetória para atender o processo de pega e deixada do produto.

Segue-se assim, um planejamento dos pontos de parada de cada eixo visando alcançar a capacidade de produção e tempo de processo (Takt Time).

O primeiro ponto (P1) refere-se a origem do robô cartesiano, toda vez que a máquina é ligada, é preciso acionar o comando de origem dos eixos, essa função é fundamental para o referenciamento adequado do robô.

A figura 55 mostra a posição de origem do mecanismo: eixo X próximo ao ponto de pega do produto; o eixo Y fica o mais distante possível do ponto de pega; e o eixo Z fica completamente recuado para não entrar em contato em nenhum outro mecanismo em caso parada de emergência.

Figura 55 - Posição de origem do cartesiano (P1)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Após o cartesiano está em seu ponto de origem, é dado o início do modo automático do robô. O segundo ponto (P2) é o ponto de recebimento do pacote: O eixo X permanece no mesmo lugar do ponto de origem, já o eixo Y move-se em direção a esteira de despejo do pacote e o eixo Z move-se para o ponto inferior para recebimento do produto, como mostra a figura 56.

Figura 56 - Posição de Pega do cartesiano (P2)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O Terceiro ponto do cartesiano, P3, segue após o recebimento do produto pela garra do robô: os eixos X e Y permanecem no mesmo lugar, o eixo Z vai para o ponto superior, distante de quaisquer mecanismos para iniciar o próximo passo.

A partir deste ponto, para se executar o próximo passo, é levado em consideração a deixada do pacote anterior, pois os pacotes são preenchidos dentro da caixa organizadora em camadas.

Figura 57 - Posição de subida do eixo Z (P3)

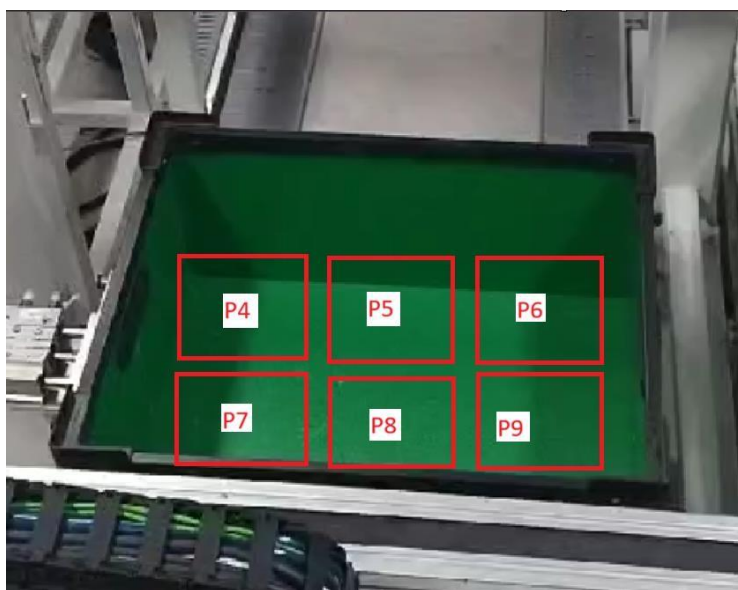


Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O passo seguinte são os pontos P4, P5, P6, P7, P8 e P9. O eixo Z permanece o mesmo (ponto superior), porém os eixos X e Y movem-se simultaneamente para o ponto de deixada do pacote na caixa organizadora.

Definiu-se vários pontos de deixada dentro da área útil da caixa organizadora como mostra a figura 58. No próximo ciclo, a partir do ponto de deixada anterior, os eixos X e Y movem-se para o ponto imediatamente seguinte.

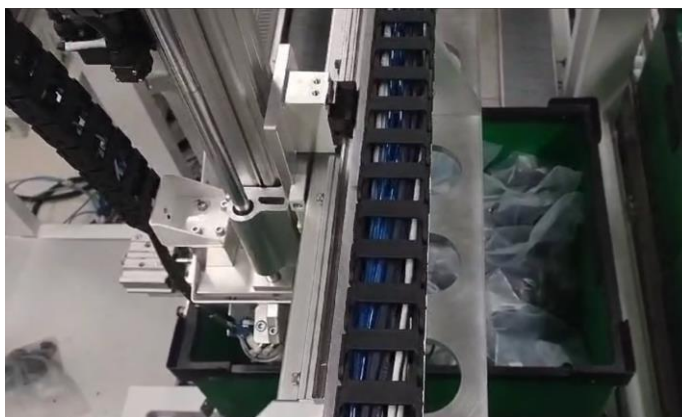
Figura 58 - Disposição da área útil da caixa organizadora



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A figura 59 mostra o robô cartesiano em uma segunda camada de pacotes, deixando o produto no ponto P7.

Figura 59 - Posição de deixada P7 do cartesiano



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O último passo não corresponde a nenhum movimento dos eixos, mas sim da abertura da garra na ponta do eixo Z para liberar o pacote para dentro da caixa.

Figura 60 - Garra aberta do cartesiano



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Após deixada do pacote no caixa organizadora, o sistema automático volta para o ponto P2 e assim, repete-se o ciclo conforme demanda da produção. Quando se atinge uma quantidade de pacotes deixados na caixa, configurados pela IHM, o robô cartesiano precisa enviar um sinal para a próxima automação para liberar a caixa cheia para o consumo na próxima linha de produção. Neste momento o cartesiano fica em estado de espera, até que a próxima caixa organizadora vazia entre na área de atuação do robô.

A tabela representa um resumo dos pontos do cartesiano bem como a descrição do processo.

Tabela 3 - Pontos do cartesiano

PONTO	DESCRIÇÃO
P1	Origem do cartesiano
P2	Pega do pacote na altura da esteira de despejo
P3	Eixo Z no ponto superior para altura da caixa organizadora

P4	Deixada no canto esquerdo superior da caixa organizadora
P5	Deixada no centro superior da caixa organizadora
P6	Deixada no canto direito superior da caixa organizadora
P7	Deixada no canto esquerdo inferior da caixa organizadora
P8	Deixada no centro inferior da caixa organizadora
P9	Deixada no canto direito inferior da caixa organizadora

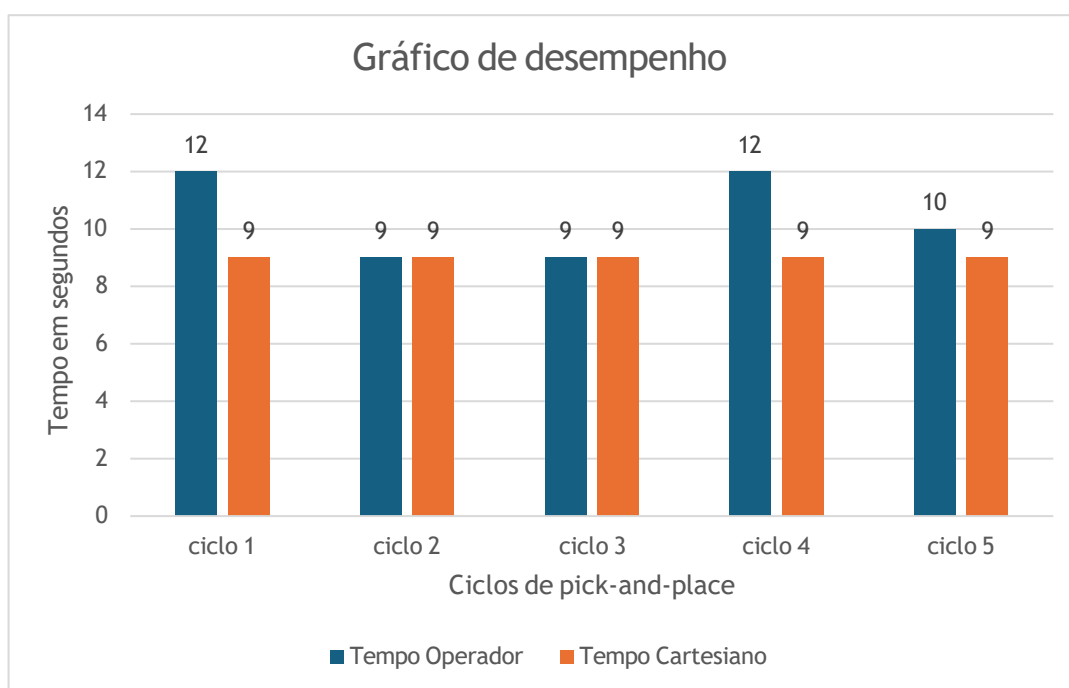
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

7 RESULTADOS

Após completar a instalação e programação, iniciaram-se os testes funcionais do protótipo. Começou-se o processo com uma velocidade baixa, cerca de 25% da sua velocidade total, para verificar a rigidez da estrutura metálica. Após esta etapa, segue-se para a verificação da trajetória do cartesiano levando em consideração a pega do produto bem como sua deixada na caixa organizadora.

Conforme gráfico 1, comparou-se o desempenho do robô cartesiano comparado com a operação manual do operador. Numa velocidade de 70% da sua velocidade total, o robô aproximou-se do tempo de operação manual. Este valor foi considerado viável para o contratante, sendo possível aumentar a velocidade caso seja necessário.

Gráfico 1 - Comparação do ciclo do operador/Cartesiano



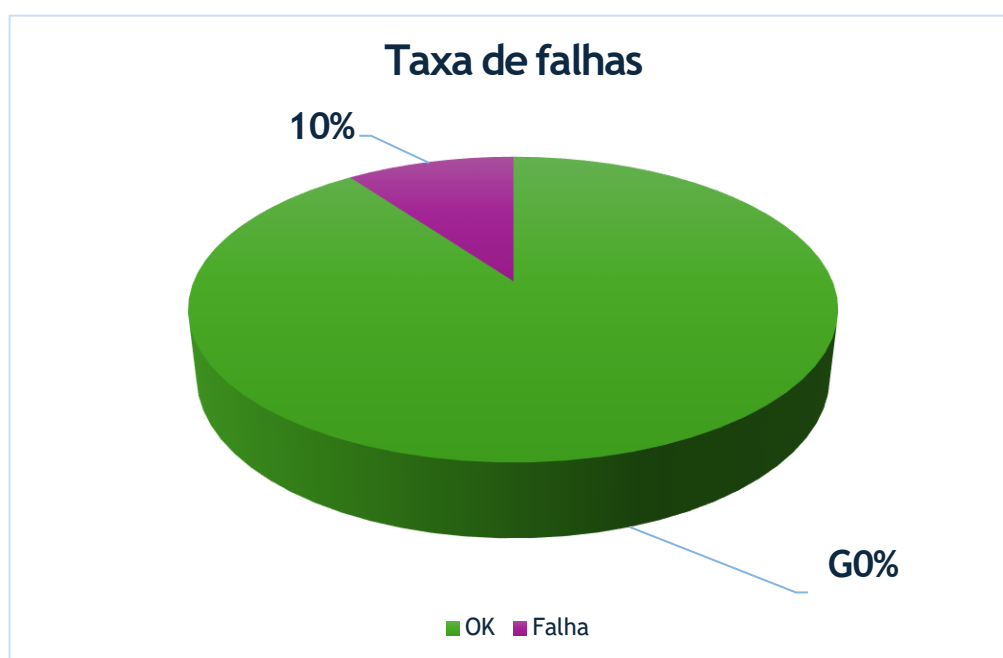
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A operação do cartesiano com uma velocidade acima não foi verificada, uma vez que é preciso analisar o desempenho das automações que estão em série com o robô. É possível que haja um acavalamiento da produção caso o cartesiano esteja mais rápido que o mecanismo seguinte.

Em se tratando de confiabilidade de processo, o gráfico 2 demonstra uma taxa em porcentagem de pacotes que foram transportados e quantas vezes houve falhas na trajetória. As falhas estão relacionadas com a organização do pacote na esteira de despejo, não tendo uma constância no seu posicionamento, dificultando a pega pela garra do cartesiano, fazendo com que o pacote caísse no trajeto devido a não estar inteiramente dentro da garra.

Após melhorias na parte mecânica da garra (grau de inclinação e abertura), chegou-se em um valor de 90% de grau de confiabilidade, a máquina foi considerada apta para seguir para os testes em fábrica.

Gráfico 2 - Confiabilidade do processo



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

8 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi de desenvolver um protótipo de robô cartesiano para fazer o transporte de cargas em uma indústria do polo industrial de Manaus. Os componentes que fizeram parte deste projeto foram os já utilizados pela automação industrial como CLP, IHM, servo motores, atuadores elétricos e pneumáticos.

Foram feitos testes funcionais para validação do protótipo, e notou-se primeiramente a baixa velocidade do robô, que estava interferindo no tempo de ciclo da produção. Após aumentar a velocidade dos eixos, novos testes foram feitos e o protótipo mostrou-se robusto e satisfatório, transportando com 10% de falhas, cerca de mil e duzentos pacotes.

A observação mais relevante foi a instabilidade da contagem no momento do despejo e recebimento do pacote pelo cartesiano, pois o sensor muitas vezes não contabilizava o produto que passou devido a transparência do plástico, mesmo a troca para um sensor mais sensível o problema persistiu.

Como a limitação da contagem dos produtos foi significativa, uma melhoria futura seria acrescentar um sistema automático de pesagem integrado com o robô cartesiano visando ter um retorno de valor para concluir que a caixa organizadora está cheia e não ultrapassar o limite de peso para o usuário carregá-la levando em consideração a ergonomia. Esse sistema deve ter uma interação com o usuário pela IHM para que possa ser escolhido o peso da carga conforme a necessidade.

O protótipo em testes de laboratório passou por diversas fases de aprovação da empresa contratante como conformidade das ligações elétricas, pontos de manutenção, tempo do processo para produção e mostrou-se apto para ir para as dependências do chão de fábrica, demonstrando um ótimo desempenho em se tratando de redução de tempo de ciclo comparado com a operação manual.

Concluiu-se que a automação industrial pode ter um alto custo de construção e é necessária uma equipe especializada para o desenvolvimento, entretanto os resultados mostram-se uma melhoria significativa na qualidade do produto e redução de tempo de processo.

REFERÊNCIAS

ANASTACIO, B. P.; PIRES, D. M. G.; DE L. A. MAGALHÃES E MARCELO P. DIAS, J. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO**. Associação Propagadora Esdeva, 2020.

ANDRADE, VICTOR; MOREIRA, MATHEUS. **ROBÓTICA INDUSTRIAL E SUAS APLICAÇÕES**. Taubaté - SP: Universidade de Taubaté, 2020 - Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/6007/1/Victor%20Maia%20Silvino%20Andrade%20%20Matheus%20de%20Oliveira%20Moreira.pdf>. Acesso em: 02 de nov de 2024.

BONFIM, N.D; NORIEGA, CARLOS. **Integration of Robots in Industrial Process Automation: Advantages, Challenges, and Perspectives**. *Engenharias*, jun. 2023. Disponível em < <https://revistaft.com.br/a-integracao-de-robos-na-automacao-de-processos-industriais-vantagens-desafios-e-perspectivas/>> Acesso em 10 de dez.

COPELI, Elétrica. **Controlador lógico programável(CLP)**. 1 fotografia. Disponível em: <https://eletricacopeli.com.br/produtos/automacaoeprotecao/automacao/controlador-logico-programavel-clp>. Acesso em 11 dez. 2024

DA SILVA MOREIRA, C. A. **Sensores industriais: Finalidade e aplicações dos sensores industriais**. https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/66244/1/CARLOS_ADOLFO_DA_SILVA_MOREIRA.pdf: Faculdade Anhanguera de Jacaré, 2021.

DE PROGRAMAÇÃO POR FLUXOGRAMA, C. 5. —. E. DE P. P. D. DE T. C. 6. —. E. **Métodos e Técnicas**. Disponível em: <https://editorascienza.com.br/ebook/rafael_manfrin_v_1.pdf?srsId=AfmBOopIFO1rfMnlX0glxODCM9nyrTFsZVRGhg45vbMXEgEJJeb_h7GC>. Acesso em: 19 out. 2024.

FENERICK, JESSICA APARECIDA; VOLANTE C. R., AUTOMAÇÃO: introdução a robótica industrial. **Interface Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 734–745, 2020. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/805/510> Acesso em: 02 nov 2024. *International Federation of Robotics*. (n.d.). Ifr.org. <https://ifr.org/standardisation>.

JAVOID, M. et al. **Significance of sensors for industry 4.0: Roles, capabilities, and applications**. *Sensors International*, v. 2, p. 100110, 2021.

KALATEC. Atuadores elétricos. Disponível em: <https://www.kalatec.com.br/atuator-linear-com-correia-dentada/>. Acesso em: 09 dez. 2024.

Lima, F. R., & Gomes, R. (2020). **Conceitos e tecnologias da Indústria 4.0: uma análise bibliométrica**. Rev. Bras. Inov., Campinas (SP), 19, e0200023, p. 1-30, 2020.

LUCIANO, E. D.; DALEFFE, A.; ROSA, M. da. **PROJETO ELETROELETRONICO DE UM BRAÇO ROBÓTICO DO TIPO SCARA UTILIZANDO COMANDO CNC**. Revista Vincci - Periódico Científico do UniSATC, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 237–261, 2020. Disponível em: <https://revistavincci.satc.edu.br/index.php/Revista-Vincci/article/view/188>. Acesso em: 11 dez. 2024.

LSIS Co., ltd. **Exemplo de configuração de engrenagem eletrônica para um eixo de fuso linear**. 2014. In: AC SERVO DRIVE XDL-L7NH Series User Manual, p. 5-13.

LSIS Co., ltd. **Exemplo de engrenagem eletrônica para polia e correia dentada**. 2014. In: AC SERVO DRIVE XDL-L7NH Series User Manual, p. 5-14.

LSIS Co., ltd. **Função XDST para comando direto do servo**. 2014. In: XGK/XGB Instructions and programming, XGT User Manual. p. 4.42.3.

MOREIRA, C.; ZANONI, J.; NETO, L.; MATSUO, M.; EL YOUSSEF, E.; MORATELLI, C. **Desenvolvimento de Um Robô Cartesiano Pick-and- Place Com 4 Graus de Liberdade**. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 9, n. 3, p. 70-79, 16 jul. 2024.

MOREIRA, C.A. **Linguagem Ladder aplicada para profissionais da ciência da computação** / Caio Augusto Moreira. Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA – Assis, ano. 2020. 69 p.

OLIVEIRA, J.C. **encoder e resolver**. 2018. 28. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenheiro Controle e Automação.) – Faculdade Anhanguera de Jacareí, 2018.

OLIVEIRA, Warnner; ROCHA, Elias et al. **Indústria 4.0 percepção dos trabalhadores da indústria alagoana sobre a quarta revolução industrial**. 2023. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/123456789/12128/1/Ind%20percep%20dos%20trabalhadores%20da%20ind%20stri%204.0%20sobre%20a%20quarta%20revolu%20%C3%A7%C3%A3o%20industrial>

%20percep%c3%a7%c3%a3o%20dos%20trabalhadores%20da%20ind%c3%bastr
%20a
lagoana%20sobre%20a%20quarta%20revolu%c3%a7%c3%a3o%20industrial.pdf .
Acesso em: 10 dez 2024.

ROISENBERG, Leandro. **Automação industrial**. 3 de jan. 2024. 1 fotografia.
Disponível em: <https://blog.lri.com.br/automacao-industrial-e-a-industria-automotiva/>.
Acesso em 5 de nov.2024

ROSÁRIO, J.M. Automação industrial. Editora Baraúna, 2009. SILVA, E. **COMO FUNCIONA A AUTOMAÇÃO NO BRASIL - PARTE I**. 2020. Disponível em: <https://clubedotrade.com.br/blog/automacao-no-brasil/>. Acesso em: 18 de outubro de 2024.

SANCHES, Wesley. **Estrutura metálica do cartesiano**. 2024. Figura gerada no software PTC CREO PARAMETRIC, desenvolvida por Wesley Sanches.
SD. **Servo Motor: o que é, como funciona e seu uso na robótica industrial**.
Disponível em: <<https://www.universal-robots.com/br/blog/servo-motor-o-que-%C3%A9-como-funciona-e-seu-uso-na-rob%C3%B3tica-industrial/>>. Acesso em: 22 de out. 2024.

SILVA, H. S.; DE SOUZA QUEIROZ JÚNIOR, I. **SOLUÇÕES LÓGICAS EM LINGUAGEM LADDER UTILIZANDO O TLP LOGIXPRO SIMULATION COMO FERRAMENTA DIDÁTICA PARA ROTEIROS DE AULAS PRÁTICAS DE CLP**.
Disponível em:
<<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/974b0181-31c7-4493-82dd-451a89be940c/content>>. Acesso em: 21 oct. 2024.

SUZANA. **Motores Industriais: o coração da geração de energia na indústria**.
Disponível em: <<https://www.antaesacoplamentos.com.br/blog/motores-industriais-o-coracao-da-geracao-de-energia-na-industria/>>. Acesso em: 10 dez. 2024.

TARRAGÔ, Rebeca. Tipos de robô. 18 de out. 2021. 1 fotografia. Disponível em: www.blog.igus.com.br/que-tipos-de-robos-igus-existem-e-qual-e-o-robo-certo-para-minha-aplicacao/. Acesso em: 5 de nov. 2024.

TECMAF. **Servo motor**. 1 fotografia. Disponível em:
<https://loja.tecmaf.com.br/servo-motor-239-nm-075-kw-3000-rpm-220v-com-freio-servo-driver>. Acesso em 11 dez.2024

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. Saraiva Educação SA, 2020.

VIARY S, P., FREITAS SANTOS, L., & PORTO FERREIRA, M. (2024). **Inteligência artificial na automação de processos industriais e seus impactos**. *Revista De Economia Mackenzie*, 21(1), 162–182. Recuperado de <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rem/article/view/16714>.

VIEIRA, Renato. **A Utilização e Importância do Controlador Logico Programável (PLC) na Automação Industrial**. 2022. 28 páginas. Trabalho De Conclusão De Curso (Graduação Em Engenharia de Controle e Automação) – Faculdade Pitágoras, Betim, 2022.