

Enxugando a Linha de Produção com Robô para a Paletização de Evaporadores de Aparelhos Condicionadores de Ar

Alan Gomes* Carlos Nascimento* César Silva* Nelson Gouvêa*
Alexandre Périco**Ivana Bernardo** Kjeldson Sodre**
Marcos Souza**Ricardo Moura** Ueliton Rodrigues**

*LG Electronics, Manaus, AM, Brasil, (e-mails:alangomes.junior@lge.com, carlos.nascimento@lge.com, cesarda.silva@lge.com, nelson.gouvea@lge.com).

**Fundação Desembargador Paulo dos Anjos Feitoza - FPF tech, Manaus - AM, Brasil, (e-mails: alexandre.perico@fpf.br, ivana.bernardo@fpf.br, kjeldson.sodre@fpf.br, marcos.souza@fpf.br, ricardo.moura@fpf.br, ueliton.rodriques@fpf.br).

Abstract: The demands of the market every day require intelligent systems that can operate with flexibility, speed, precision, and repeatability. Robotics presents itself as the most sought-after solution in the automation of processes. Among the diversified activities for robots in industrial applications, product-handling operations predominate. Based on this predominance, palletizing is framed as an operation that facilitates and improves the performance of the process. This article has the objective and challenge to present a prototype for the simultaneous palletization of two cartons and two evaporators using mechanical mechanisms and servo drives to grip the evaporators, in addition to the vacuum system gripper, as it is used effectively with industrial robots, to grab the cardboards. This process was carried out manually by a delicate assembly line where operators suffered from wear, fatigue, and RSI (Repetitive Strain Injury).

Resumo: As demandas do mercado a cada dia requerem sistemas inteligentes que possam operar com flexibilidade, velocidade, precisão e repetitividade. A robótica apresenta-se como a solução mais procurada na automatização de processos. Dentre as diversificadas atividades para robôs em aplicações industriais predomina a operação de manuseio de produtos. Com base nessa predominância a paletização está enquadrada como uma operação que facilita e melhora o desempenho do processo. Este artigo tem o objetivo e desafio de apresentar um protótipo para a paletização simultânea de dois papelões e dois evaporadores usando mecanismos mecânicos e de servo acionamentos para capturar evaporadores, além da garra de sistema a vácuo, por ser usado de forma eficaz com robôs industriais, para agarrar os papelões. Esse processo era realizado manualmente por uma linha de montagem delicada onde os operadores sofriam com desgaste, fadiga e LER (Lesão por Esforço Repetitivo).

Keywords: Mechanical grippers; servo drivers; vacuum grippers, palletizing; evaporators; smart factory.

Palavras-chaves: Garras mecânicas; servo acionamentos; garras a vácuo; braço robótico; evaporadores; sistemas inteligentes.

1. INTRODUÇÃO

A LG Electronics é uma empresa especializada na fabricação de aparelhos de ar-condicionado modelo Split, compostos por diversos componentes que precisam ser manipulados e transportados para diferentes locais. Um dos componentes que precisam ser transportados são os evaporadores de ar que são paletizados de forma manual pelo operador causando fadiga e desgaste. Diante desse cenário, a LG identificou oportunidades de melhoria no processo de paletização de evaporadores, com o objetivo de aprimorar indicadores de desempenho como rendimento, flexibilidade operacional, custo de propriedade e facilidade de treinamento (Dzitac et al., 2008).




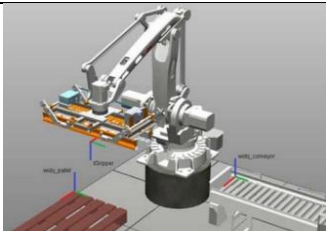

Manter a competitividade no mercado e atender às expectativas da empresa em relação aos indicadores de desempenho requer que a empresa invista em soluções para

aprimorar o processo de paletização, incluindo o uso de tecnologias e a otimização do fluxo de trabalho, a fim de garantir a precisão desse processo.

Dessa forma, a empresa tem como objetivo aprimorar a paletização dos evaporadores, que é uma parte fundamental do processo de produção. Em seu processo, a paletização refere-se à organização dos evaporadores empilhados em paletes, entre folhas de papelão. Esse empilhamento possibilita que sejam facilmente armazenados e transportados, bem como as folhas de papelão previnem o atrito que poderia ocorrer entre os evaporadores, caso eles fossem empilhados diretamente uns sobre os outros.

Para atender o processo de paletização, primeiramente, foram feitas pesquisas de trabalhos relacionados para buscar os tipos de garras utilizados para pegar ou paletizar produtos, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Tipos de garras para automatizar produtos.

Garra	Característica
 <p>Fig. 1: Garra paletizadora de caixas (Fengyan and Chao, 2008).</p>	Garra para paletizar caixas em paletes.
 <p>Fig. 2: Garra para manipular alimentos (Sam e Neft, 2008).</p>	Garra flexível para manipulação de alimentos para pegar laranjas, maçãs, peras e entre outros alimentos de tamanho médio.
 <p>Fig. 3: Efetador do tipo ventosa (Fiegenbaum et al., 2016).</p>	Efetador do tipo ventosa para tarefas do tipo pega-e-posiciona (<i>pick-and-place</i>), ou seja, de tarefas que consistem em pegar peças variadas em um determinado local e levá-las até outra posição definida.
 <p>Fig. 4: Garra paletizadora de caixas (Moura e Silva, 2018).</p>	Garra para paletizar caixas em paletes.
 <p>Fig. 5: Braço mecânico para separação de pedidos (Placidino et al., 2019).</p>	Braço mecânico responsável pela separação da madeira que será utilizada na montagem do móvel planejado.

Conforme apresentado, há uma variedade de tipos de garras disponíveis para diferentes finalidades de paletização. No entanto, nenhuma dessas alternativas é adequada para atender à necessidade específica de paletizar papelões e evaporadores simultaneamente.

Atualmente, o processo manual pode causar, no operador, desgaste, fadiga ou resultar em Lesões por Esforço Repetitivo (LER), uma vez que se curvar várias vezes para empilhar os produtos conforme mostrado na Fig. 6. Por esse motivo, foi desenvolvido um protótipo para aperfeiçoar o processo manual de preparação de paletização na linha de produção de evaporadores da empresa.



Fig. 6: Local de trabalho manual paletização de evaporadores.

O propósito do protótipo de linha de produção com paletização de evaporadores não é aumentar a produção, mas sim reduzir a fadiga e o risco de LER. A Fig. 7 mostra o conceito geral desse protótipo, iniciando com a alimentação do buffer de paletes vazios na esteira de entrada/saída (1), passando pelas três esteiras inferiores de movimentação (2) e levando para a esteira de elevação para retorno dos paletes (3), onde será liberado para as duas esteiras superiores de movimentação (4) até chegar à esteira de paletização (5). Nesse momento o robô irá pegar os papelões no alimentador de papelão (6), em paralelo, o tombador (7) irá realizar os tombamentos dos evaporadores que vem da linha de produção do módulo *Transfer* (8) para o robô que já estar com os papelões peguem os evaporadores e leve até a esteira de paletização (5). As etapas de 5 a 8 se repetem até atingir o limite programado de evaporadores que serão levados para a esteira de entrada/saída (1).

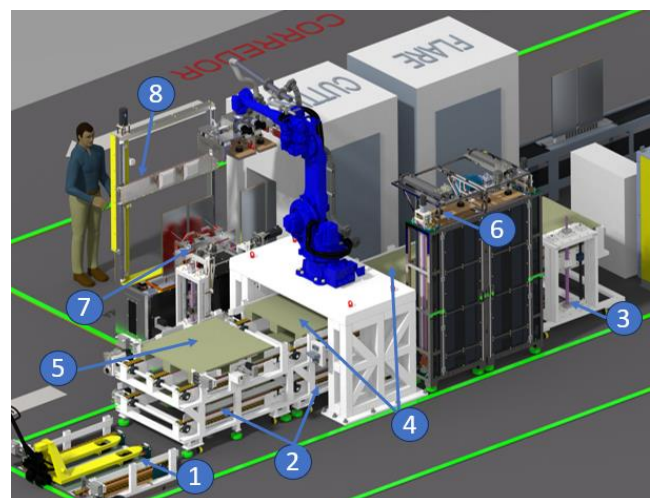


Fig. 7: Módulos de desenvolvimento da paletização de evaporadores.

A solução do conceito geral do protótipo está apta para a integração com soluções de indústria 4.0 que a LG *Electronics* venha a adotar em sua planta em Manaus, permitindo assim sua adequação ao conceito de sistemas de produção autônomos previstos pelo *Smart Factory* (Fábrica Inteligente) que é a inteligência descentralizada e interligada. Isso significa que cada máquina, dispositivo, sensor, até mesmo o produto, precisa se comunicar abertamente entre si e, finalmente, também interagir entre si, conforme Kurth et al. (2016).

O objetivo desse artigo é descrever o módulo das garras dos papelões e evaporadores que interage com a esteira de paletização (5), alimentador de papelão (6) e tombador (7). A justificativa desse módulo se baseia nas pesquisas bibliográficas que usam as garras, ventosas e a tarefa de *pick and place* para manipular diversos objetos de forma a automatizar o processo produtivo.

2. MATERIAS E MÉTODOS

Nesse momento será descrita a metodologia utilizada para o desenvolvimento do módulo das garras dos papelões e dos evaporadores da linha de produção.

A metodologia se baseou em pesquisa de natureza aplicada, onde busca resolver problemas práticos e aplicar os resultados em situações reais. Ela busca aplicar conhecimentos teóricos e científicos em situações concretas, com o intuito de desenvolver novos produtos, processos ou serviços, ou melhorar os já existentes (Lakatos, 1991). Além disso, foram definidas duas etapas para esse projeto, conforme descrito a seguir:

2.1 Levantamento e planejamento dos requisitos

Nessa etapa foram feitos os levantamentos dos requisitos funcionais que descrevem o que o projeto deve fazer, ou seja, as funcionalidades que deve oferecer e, não funcionais que descrevem as características que o projeto deve ter, mas não estão relacionados às funcionalidades em si. Para o levantamento desses requisitos foram realizadas visitas à linha de produção para entender o funcionamento do processo atual e, entender o que é preciso automatizar, além de coletas de dados, tais como: modelos dos produtos, *takt time* da linha, espaço disponível para o módulo, como o módulo irá integrar com outros módulos, entre outros.

A próxima etapa foi realizar *workshop* colaborativo para o planejamento dos requisitos baseado na metodologia do *Lean Inception* que, segundo Caroli (2018), permite criar uma agenda entre os *Stakeholders* que são quaisquer pessoas impactadas pelo projeto, como por exemplo patrocinadores, usuários finais, jurídico, vendas e marketing e o membro ativo que é a pessoa/equipe diretamente envolvida na compreensão e implementação do produto, exemplo, *Product Owners*, desenvolvedores, testadores e especialistas na experiência do usuário.

O *workshop* contou com a presença do time de técnico e colaboradores da fábrica para entendimento do processo produtivo e garantir que suas necessidades e expectativas sejam compreendidas desde o início. Nesse momento, foram refinados os requisitos e alinhados os objetivos e expectativas do projeto.

2.2 Projeto, Montagem e Integração

Durante essa fase, foram criados os módulos das garras dos papelões e das garras dos evaporadores. A concepção do conceito teve início com o desenvolvimento da parte mecânica e de automação, de acordo com os requisitos e planos estabelecidos durante as visitas e workshop.

Para a construção da parte mecânica foi utilizado o *software* PTC CREO de modelagem de sólidos com recursos paramétricos complexos em 2D, 3D e modelagem de desenhos. O termo paramétrico significa que as definições geométricas do projeto, como dimensões, podem variar a qualquer momento no processo de projeto. A abordagem de criação de recursos tridimensionais usando esboços bidimensionais é uma maneira eficaz de construir modelos sólidos, segundo Shih (2013) e Gladkova et al. (2021).

Para a montagem do processo de automação, foi usado o *Bill of Material* (BOM) ou Lista de Materiais que nada mais é do que um documento que lista os componentes necessários para fabricar ou montar um produto, Tozawa (2009). A lista de materiais incluiu: tipo de robô que irá movimentar garras mecânicas, servo acionamentos, garras com ventosas, sensores, entre outros. Após a montagem, a integração com a programação foi realizada por meio de um Controlador Lógico Programável (CLP) e linguagem *Ladder*. Segundo Gharieb (2006), essa linguagem é comumente utilizada em aplicações CLP, pois substitui os painéis de controle elétrico que utilizam relés e fios para controlar e monitorar sistemas elétricos e/ou eletrônicos.

3. DESENVOLVIMENTO DO MÓDULO DAS GARRAS DOS EVAPORADORES

A fim de compreender o progresso do projeto, é importante entender o tempo de operação do processo manual, a escolha do robô e das garras onde foi o desafio que motivou a automação da paletização de evaporadores de ar-condicionado.

3.1 Processo manual de paletização

No processo atual de paletização, o operador precisa paletizar dois papelões e dois evaporadores no *takt time* de 19 segundos, o que corresponde a 9,5 segundos por evaporador. Isso resulta em 400 operações de empilhamento manual por hora. Em um turno de produção com duração de 8 horas, cada operador realiza cerca de 3.200 operações de empilhamento manual.

Nesse contexto apresentado, esse posto de paletização é suscetível a problemas, como a geração de riscos ergonômicos e a fadiga operacional devido à alta repetibilidade. Sendo assim, os robôs industriais são frequentemente associados à flexibilidade e agilidade que são atributos altamente valorizados para redução de custos e aumento de produtividade, conforme Moura et al. (2018).

Entendido o processo manual, o próximo passo foi escolher o robô que irá movimentar os papelões e evaporadores nas garras.

3.2 Braço do robô

O modelo escolhido para o protótipo das garras foi o Motoman GP88 por vários fatores, como, por exemplo, raio de trabalho, valor de carga que ele suporta e velocidade de operação e espaço disponível na empresa. Além de sua versatilidade, uma vez que o robô é dotado de 6 graus de liberdade. Nesse sentido, o modelo selecionado apresenta alcance máximo de 2.236 mm, capacidade de carga de no máximo 88 kg, pode se mover em seis direções diferentes com alta velocidade e possui um peso total de 630 kg, descrito por Kamil (2021). Importante ressaltar que a estrutura do braço do robô deve ter alta rigidez, de modo a reduzir a vibração causada pela alta velocidade de aceleração e desaceleração, como cita Wang et al. (2020).

Dentro dessas especificações, o primeiro desafio foi desenvolver garras com peso inferior a 88 kg, que é o peso máximo suportado pelo robô GP88. O primeiro protótipo, com duas garras e dois evaporadores pesando 3 kg cada, totalizou 95 kg, ultrapassando a carga máxima permitida pelo robô. Em virtude disso, surgiu a necessidade de redesenhar o protótipo que a princípio foi feito em aço SAE 1020 e trocou para o alumínio AL 6061 por ser mais utilizado na indústria e possuir o menor peso, além de mudar as guias lineares OBR-45-E para OBR-A-35E que deu um ganho de 10,32 kg a menos. Após mudanças mecânicas foi realizado a simulação do esforço do robô com a garra.

3.3 Simulação do Esforço do Robô com a garra

Para a simulação do esforço do robô foi utilizado o *software* MotoSize que é usado para a programação de robôs desenvolvido pela Yaskawa, onde possui a característica de auxiliar na seleção do modelo de robô MOTOMAN adequado com base na carga e os benefícios de ajudar a determinar qual modelo de robô selecionar para sua aplicação e fornece relatórios que podem ser usados para especificações de aplicativos ou documentação impressa, conforme especificações técnicas da Yaskawa Europe GmbH (2023).

3.3.1 Passos para inserção dos valores na garra

Inicialmente foram inseridos os valores referentes as dimensões da garra em relação ao eixo T-Axis do robô. As dimensões são as seguintes conforme a Fig. 8:

Input Parameters

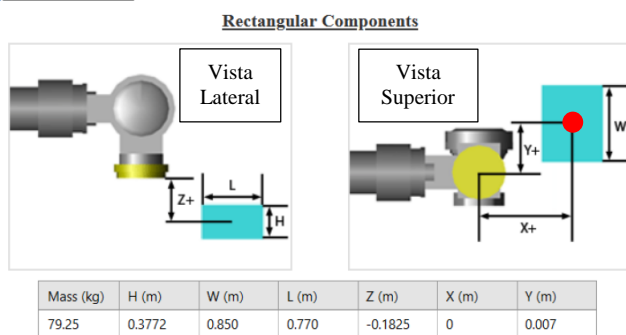


Fig. 8: Simulação dos valores de parâmetros dimensionais do MotoSize.

A Tabela 2 mostra a representação das dimensões da garra no eixo T-Axis do robô.

Tabela 2. Dimensional dos valores de parâmetros

Dimensional	
L	Comprimento da garra.
H	Altura da garra.
W	Largura da garra.
X+	Distância do centro da garra para o flange do robô em relação ao L.
Y+	Distância do centro da garra para o flange do robô em relação ao W.
Z+	Distância do flange do robô para o centro de massa.

O ponto vermelho na Fig. 8 (lado direito) representam o centro de massa, ou seja, o ponto onde a massa total da garra do robô é concentrada. O centro de massa foi importante porque permitiu entender o movimento do robô e as forças externas. Segundo Zenaide (2012), quando uma força é aplicada a um objeto, ele se moverá de maneira que o centro de massa se mova de acordo com a lei da inércia de Newton que afirma que um objeto em movimento continuará a se mover com velocidade constante ao longo de uma linha reta, a menos que uma força externa atue sobre ele.

Após inserir os valores das dimensões, o *software* gerou novos parâmetros que possibilitaram a análise de desempenho de esforço do robô como mostra a seção 3.3.2.

3.3.2 Passos para inserção da massa total da garra e resultado da simulação

Antes de mostrar os resultados da simulação será mostrado alguns conceitos que norteiam os valores inseridos e resultantes:

- *Payload* é a carga máxima suportada pelo robô GP88.
- Momento (*moment*) é uma medida da quantidade de força necessária para girar os papelões com os evaporadores.
- Momento de inércia (*moment of inertia*) é uma medida da resistência da garra a mudanças em sua velocidade angular.
- T-Axis no robô GP88 é um eixo de rotação adicional que está localizado no punho do robô. O eixo-T pode ser usado para girar a garra do robô em torno de seu eixo longitudinal.
- B-Axis é o eixo de movimento no robô GP88 que permite que o punho do robô se incline para posicionar a garra em paralelo com os evaporadores no *pick and place*.

Na Fig. 9, foram inseridos o modelo do robô GP88 (1), que resultou na carga máxima (2) de *payload*, momento máximo (*moment*) e momento de inércia máxima (*moment of inertia*). Em seguida, foram inseridos os valores de parâmetros (3), os quais foram calculados na Fig. 8, e que resultaram nos percentuais (4) que direcionaram o seguimento do desenvolvimento do protótipo.

Em suma, a simulação fez a comparação de valores de massa máxima que o braço robótico é capaz de suportar (*Payload – Mass = 88 kg*) em comparação com a massa da garra desenvolvida (79,25 kg) (3). Esse valor de massa representa 90,1% da capacidade total do GP88 (4). Além de mostrar o

momento e o momento de inércia de 2,6% e 79% para o eixo T-Axis e o momento e o momento de inércia de 1,9% e 16,2% para o eixo B-Axis (4). Para um melhor entendimento, a Fig.

9 demonstra os eixos T e B (5), os quais estão localizados na extremidade do braço do robô.

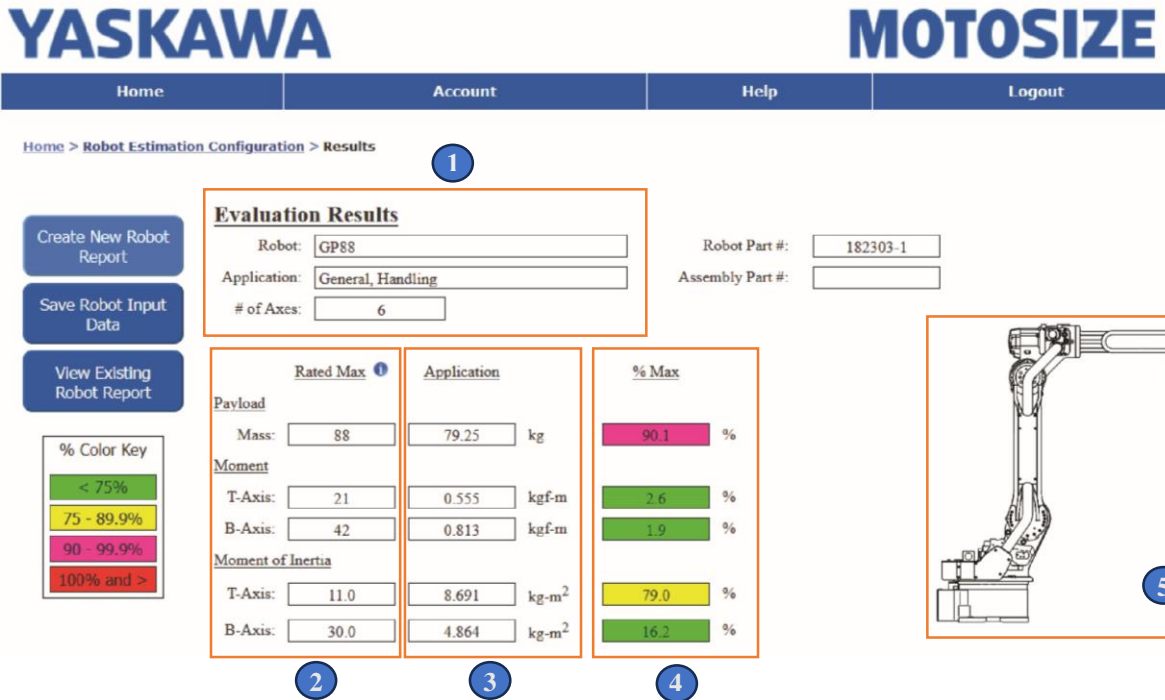


Fig. 9: Simulação de movimentação do robô com as garras.

3.4 Desenvolvimento das garras dos evaporadores

Observado que no processo manual o palete transporta dois papelões e dois evaporadores simultaneamente, deparou-se com o segundo desafio em desenvolver uma ferramenta com duas garras capazes de segurar simultaneamente dois papelões e dois evaporadores. Estudos feitos levaram as seguintes soluções:

- Para a pegada dos papelões foram feitos testes de desempenho com as ventosas *Flat* (Lisa) e ventosa *Bellows* (Sanfonada), onde observou-se que para a ventosa *Flat* os papelões caíam durante a movimentação do robô o que não ocorreu com a ventosa *Bellows*. A Fig. 10 mostra os modelos de ventosas.



Fig. 10: Ventosa Flat (1) e Ventosa Bellows (2).

- Para a pegada dos evaporadores foi feito o estudo da escolha do servo acionamentos, pois os modelos de evaporadores possuem dimensões diferentes o que ocasiona a modelagem de receitas diferentes para o posicionamento dos servos.

A Fig. 11 mostra como as garras foram fabricadas, onde a garra externa (1) captura os diferentes modelos de evaporadores usando servo acionamentos, a garra central (2) serve para centralizar e auxiliar na pegada do produto usando atuadores pneumáticos, o conjunto de ventosa (3) é composto por quatro ventosas acionadas por ar comprimido, que são responsáveis por capturar e movimentar os papelões, o sensor a laser (4) que mede a distância da garra para o evaporador, essa medida será usada como referência para a programação do braço robótico no modo paletização, verificando a cada ciclo a distância entre os produtos e o vacuostato (5) responsável em controlar e manter a pressão de 4 bar, em um sistema de vácuo, além de verificar o momento de liberar o produto, através do sopro, para paletizar.

A garra é composta por dois servos motores (6) responsáveis por garantir a abertura e fechamento preciso do conjunto de garras externa (1) e interna (2). Dessa maneira, o módulo se torna flexível para modelos de evaporadores futuros, fazendo com que a necessidade de confecção de uma nova garra para novo produtos não seja necessária.

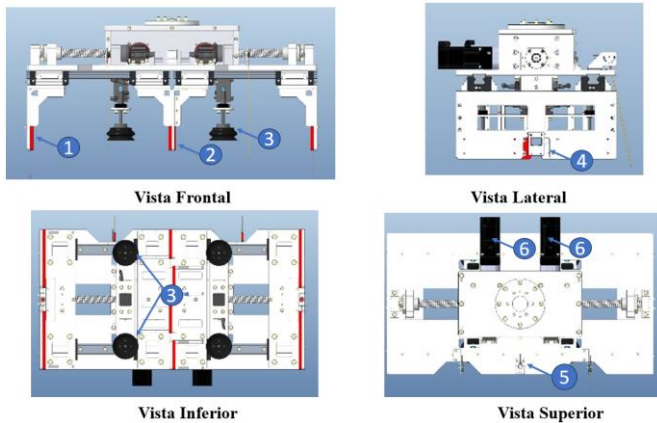


Fig. 11: Módulo de desenvolvimento da garra dos evaporadores em 3D.

Após o desenvolvimento do módulo da garra deu-se início a integração da automação.

3.4.2 Arquitetura da automação e lógica de programação

A Fig. 12 mostra a arquitetura de comunicação entre os controladores e os dispositivos da garra. Inicialmente os sensores, ventosas e atuadores foram ligados na placa digital I/O do controlador do robô. Já os servos motores precisaram se comunicar através do *ethercat* com o CLP 0, pois o controlador do robô não possui placa para comunicação *ethercat*. Já o módulo do tombador utiliza o digital I/O e *ethercat* do CLP1 para enviar informação para os demais controladores. A comunicação ethernet IP foi utilizada entre todos os controladores para facilitar a montagem e troca de informações.

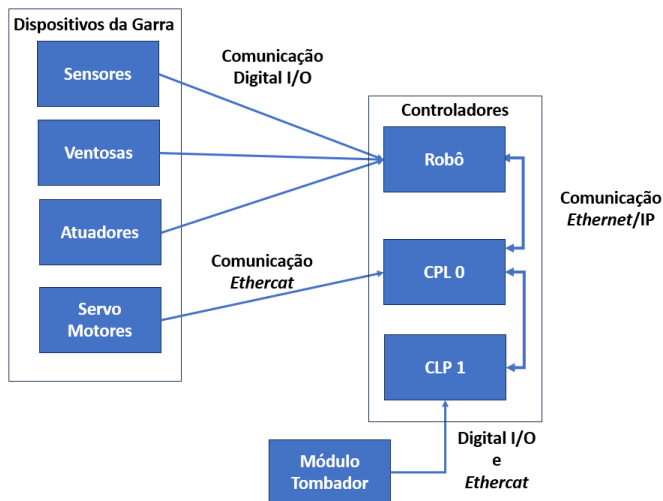


Fig. 12: Arquitetura de comunicação do módulo da garra.

Após a definição do robô, o desenvolvimento, a fabricação das garras dos evaporadores e a arquitetura foi feita a integração física no braço robótico GP88, a integração lógica e, posteriormente os testes para validar as integrações que levaram aos resultados e discussões do artigo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A obtenção do resultado do processo de integração dos módulos, parte física e lógica, iniciou com o teste das garras a vácuo segurando os papelões (1) e o teste das garras pneumáticas e servo acionamento (2) segurando os evaporadores e a figura a garra do robô GP88 (3), conforme (Fig. 13).

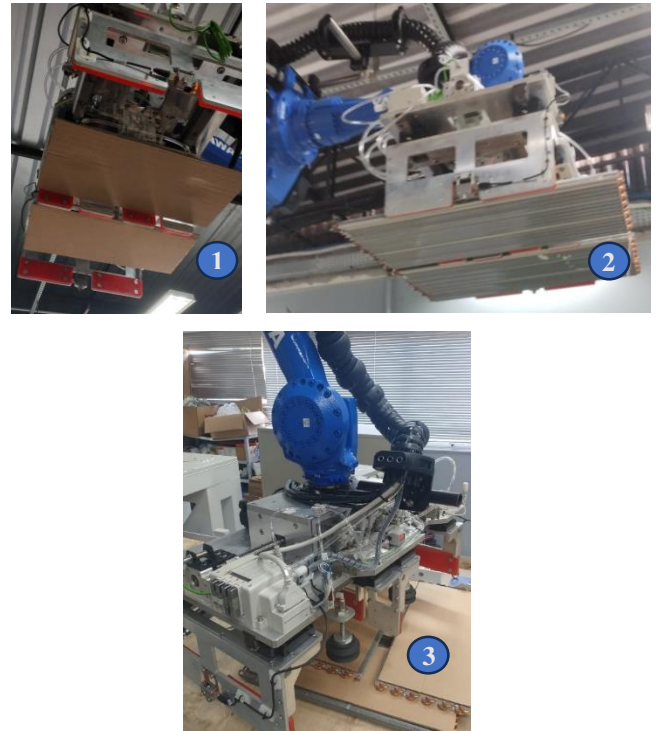


Fig. 13: Integração da garra no robô.

4.1 Integração Lógica

Para a integração lógica, utilizou-se da programação por meio de um Controlador Lógico Programável (CLP), que foi implementado utilizando a linguagem *Ladder*, como ilustra a Fig. 14 mostrando um trecho de código que representa o fechamento da garra conforme modelos.

Primeiramente são feitas as condições para acionamento dos servos da garra (1) e o bit de memória D001100.4 representa o acionamento dos servos para o fechamento da garra (2). Após isso, a função XDST representa a comunicação *Ethercat* que fecha a garra através dos servos motores conforme o modelo inserido em R00102 (3).

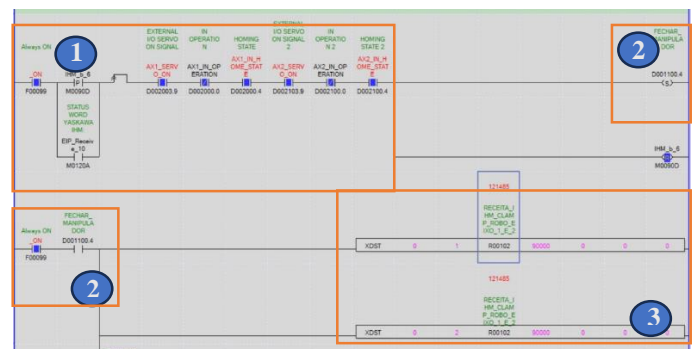


Fig. 14: Trecho do Diagrama *Ladder* que representa o fechamento da garra conforme modelos.

4.2 Trajetória do robô e garra

Após a integração lógica, foram realizados os testes de possíveis trajetórias do robô com a garra. A partir do ponto de origem o robô rotaciona 90 graus para pegar dois papelões (1), em seguida, retorna ao ponto de origem esperando o módulo tombador liberar os dois evaporadores pelo comando do operador para a garra fazer a pega dos produtos (2) e, finalizando o robô vai para a área de paletização (3). Nesse momento ele realiza o giro de 45 graus da garra a cada camada.

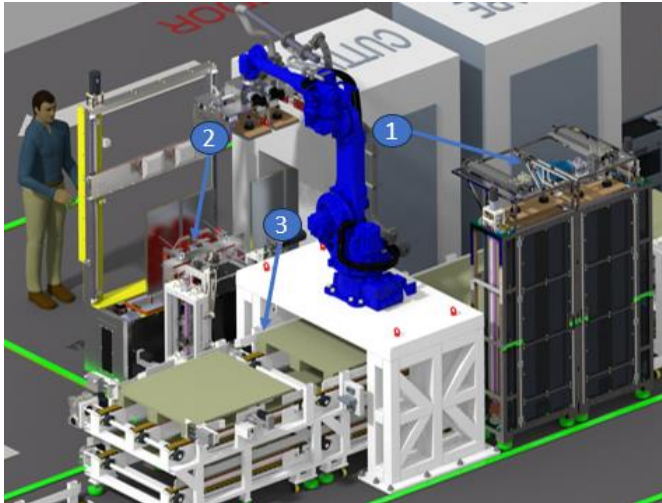


Fig. 15: Trajetória robô com a garra.

Nos primeiros testes de trajetória observou-se que não atingiu o *takt time* de 19 segundos do processo manual, e sim de 24 segundos. Estudos sugeriu novas possibilidades de trajetórias e velocidades por trecho percorridos pelo robô.

Para as trajetórias de movimentação no manipulador robótico, seria necessário a interpolação dos pontos de posição mudando algumas rotas em linhas retangulares para linhas circulares e, aumentar as velocidades para os trechos que o robô não está manipulando os papelões e os evaporadores. Também para o bom desempenho do robô foi necessário aumentar a velocidade do módulo tombador.

Como a proposta é desenvolver o protótipo para eliminar o desgaste, fadiga e LER do operador em empilhar os papelões com paletes, a análise de trajetória será discutida em outro momento quando estiver instalado na linha de produção interagindo com outros módulos automatizados.

4.3 Pegada dos papelões e evaporadores

Nos testes da pegada dos papelões com as quatro ventosas, duas para cada garra, validou-se a correta forma de manipular os papelões sem soltar usando a ventosa tipos *Bellows* já validado no estudo do desenvolvimento do protótipo. Nesse momento, observou-se que os papelões não ficavam nas posições corretas na paletização e, estudo constatou que a troca das válvulas de vácuo simples por válvula de vácuo com sopro operou de forma eficaz.

Já para os testes da pegada dos dois evaporadores, com sistema pneumático e servos acionamento, validou-se através da forma

de posicionamento dos servos sem amassá-los. Além disso, foi fundamental testar os sensores de detecção dos produtos para garantir que o robô conseguisse pegá-los com segurança e precisão.

Partindo para uma análise mais detalhada das garras, constatou-se que as garras para captura de evaporadores têm capacidade de manipulação do produto em uma faixa mínima de 255 mm e máxima de 370 mm. Permitindo flexibilidade para atendimento de novos produtos nessa faixa dimensional desde que não ultrapasse a carga útil do robô de 88 kg. O cálculo para encontrar o peso máximo atual é descrito no (1) e (2), onde C_R representa a carga útil do robô, P_G representa o peso da garra, P_{EVA} indica o peso do evaporador mais pesado.

$$C_R = P_G + (2 \times P_{EVA}) \quad (1)$$

$$C_R = 79,25 + (2 \times 3) = 85,25 \text{ kg} \quad (2)$$

Se novos produtos evaporadores forem inseridos, dentro da dimensional das garras, a ferramenta atual suportará, aproximadamente 4 kg em cada garra, conforme calculado usando o (3).

$$C_R = 79,25 + (2 \times 4) = 87,25 \text{ kg} \quad (3)$$

Para novos produtos evaporadores com dimensionais fora da faixa de manipulação da ferramenta da garra é necessária uma avaliação de possíveis modificações.

Para enriquecer as discussões sobre o artigo, foi realizada uma análise comparativa das pesquisas bibliográficas sobre os diferentes tipos de garras paletizadoras. Conforme indicado pelas pesquisas, é comum o uso de garra pneumática e servo acionamento para agarrar produtos, enquanto apenas o artigo, “Desenvolvimento de uma garra robótica do tipo ventosa para um robô *gantry* com acionamento pneumático” de Fiegenbaum (2016), apresentou o uso de pneumática e ventosa para mover a peça para diferentes locais. Esses dados evidenciam a importância do desenvolvimento do módulo dos papelões e evaporadores, projetado especificamente para atender às atividades de paletização e evaporadores de ar-condicionado, e que não possui concorrentes no mercado.

5. CONCLUSÃO

Após o levantamento dos requisitos, planejamento, projeto e fabricação das garras, foi possível vencer o desafio de acoplar o mecanismo de servo acionamento e pneumática em um robô de seis eixos. A ferramenta para paletização de evaporadores teve uma grande importância na linha de produção por terem sido projetadas para se adaptar a diferentes modelos de evaporadores.

O uso de robôs industrializados trouxe como benefício a segurança e qualidade de vida do operador. Visto que, robôs podem realizar esforço repetitivo sem nenhum prejuízo. Diferentemente do operador que corre risco de diversas naturezas, seja por fadiga ou lesão por esforço repetitivo.

Por fim, reiterando sobre a alteração na trajetória do robô, embora os resultados dos testes funcionais sejam importantes para validação do protótipo, a etapa de melhoria de desempenho nas trajetórias do robô e garra só poderão ser efetuadas na sua total integridade quando estiver na linha de produção com os operadores interagindo com o processo

automatizado e integrando-o com os outros módulos que o antecede.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem à LG *Electronics* do Brasil Ltda e FPF tech – Fundação Desembargador Paulo dos Anjos Feitoza, pelos investimentos, confiança e parceria estabelecida para o desenvolvimento do módulo Paletização de Evaporadores de Aparelhos Condicionadores de Ar modelo Split e, produção deste artigo.

REFERÊNCIAS

- Caroli, P. (2018). *Lean Inception: How to Align People and Build the Right Product*. 1 ed. Porto Alegre: Caroli, 2018.
- Dzitic, P. and Mazid, A.M. (2008). An efficient control configuration development for a high-speed robotic palletizing system. *IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics*. pp. 140-145. DOI: <https://doi.org/10.1109/ramech.2008.4681379>.
- Fengyan, N., Gang, W. and Chao, Y. (2008). Application of self-adaptive fuzzy control in the MDJ palletizer. *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)*. pp. 859-863. DOI: <https://doi.org/10.1109/icitca.2008.393>.
- Fiegenbaum, A., Mantovani, I. J., Bueno, F. O., & Valdiero, A. C. (2016). Desenvolvimento de uma garra robótica do tipo ventosa para um robô gantry com acionamento pneumático. *Salão Do Conhecimento*. URL <https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/6946>.
- Gharieb, W. (2006). *Software Quality in Ladder Programming*. *IEEE International Conference on Computer Engineering and Systems*, pp. 150-154. DOI: 10.1109/ICCES.2006.320440.
- Gladkova, O. et al. (2021). Adaptation of CAD-system creo for development of individual spinal implant. *IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*, pp. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.1109/cadsm52681.2021.9385210>.
- Horný, K. (2021). Automatické vytváření trajektorie robota pro svařování. Thesis (MS). *České vysoké učení technické v Praze. Vypočetní a informační centrum, Praze*. unpublished.
- Johari, N.A., Haron, H. and Jaya, A.S. (2007). Robotic Modeling and simulation of palletizer robot using workspace5. *Computer Graphics, Imaging and Visualisation (CGIV 2007)*. pp. 217-22. DOI: <https://doi.org/10.1109/cgiv.2007.73>.
- Kurth, M., Schleyer, C. and Feuser, D. (2016). Smart Factory and education: An integrated automation concept. *IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*. pp. 1057-1061. DOI: <https://doi.org/10.1109/iciea.2016.7603738>.
- Lakatos, E. M.; Marconi, M. A. *Metodologia científica*. São Paulo: Atlas, 1991.
- Lukac, D. (2015). Examples of best practice of university-industry collaboration in the domain of electro-CAD application by using EPLAN P8 and E-learning systems. *38th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, pp. 804-808. DOI: <https://doi.org/10.1109/mipro.2015.7160381>.
- Moura, F.M. and Silva, M.F. (2018). Application for automatic programming of Palletizing Robots, *IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)*. pp. 48-53. DOI: <https://doi.org/10.1109/icarsc.2018.8374159>.
- Placidino, J. A., Cruz, J. A. S. da e Lobosco, A. (2019). A automação apoiando processos logísticos de uma empresa do setor de móveis planejados. *EnGeTec – Encontro de gestão e tecnologia - Desafios da inovação na nova economia e na sociedade do conhecimento - São Paulo, Brasil, 3 & 4*. Dezembro de 2019.
- Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., Madsen and Skov, E.. (2014). The smart factory: Exploring adaptive and flexible manufacturing solutions. *Procedia Engineering*, 69, pp. 1184-1190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.108>.
- Sam, R. and Nefti, S. (2008). Design and development of flexible robotic gripper for handling food products. *10th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, pp. 1684-1689. DOI: <https://doi.org/10.1109/icarcv.2008.4795780>.
- Shih, Randy H. (2013). *Parametric Modeling with Creo Parametric 2.0*. SDC Publications; 1st edition. ISBN: 978-58503-818-3.
- Tozawa, Y., & Yotsukura, M. (2009). Integration of Bills of Material towards a Communication Tool. (2009). *WRI World Congress on Computer Science and Information Engineering*. DOI:10.1109/csie.2009.971.
- Tyrin, I. et al. (2012). Multi-agent System ‘Smart Factory’ for real-time workshop management: Results of design & implementation for Izhevsk Axion-Holding Factory. *Proceedings of 2012 IEEE 17th International Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA 2012)*. pp. 1-4. Available at: <https://doi.org/10.1109/etfa.2012.6489694>.
- Wang, Z. and Ran, L.-yi (2020). Research on arm of an improved palletizing robot with parallel four-bar linkage. *5th International Conference on Mechanical, Control and Computer Engineering (ICMCCE)*, pp. 326-329. DOI: <https://doi.org/10.1109/icmce51767.2020.00079>.
- Yaskawa Europe GmbH (2023). Disponível em: https://www.yaskawa.eu.com/products/software/productdetail/product/motosize_1687. Acesso em: 16 de agosto de 2023.
- Zenaide, V. (2012). *As Três Leis de Newton*. Editora: Schoba.