



REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA
FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

AUTOMAÇÃO DE TESTES FUNCIONAIS UTILIZANDO COBOT

AUTOMATION OF FUNCTIONAL TESTS USING COBOT

André Roberto da Silva^{1, i}
José Sérgio Medeiros Junior^{2, ii}
Paulo José Rodolpho^{3, iii}
Ronaldo Custódio de Souza^{4, iv}

Data de submissão: (12/09/2022) Data de aprovação: (14/12/2022)

RESUMO

Com as diversas inovações tecnológicas com o passar dos anos, é cada vez mais notória a busca incessante das indústrias por formas de garantir o controle de seus processos com a devida segurança aos seus funcionários, assim como viabilizar maneiras de reduzir custos nos processos industriais. Considerando este contexto, o projeto de pesquisa tem como objetivo elucidar o estudo de um processo automático de teste funcional e inspeção das chamas dos *cooktops* em uma empresa da linha branca. O processo manual realizado por operadores, será alterado através da integração entre robôs colaborativos, sistema de visão e controlador programável para um processo automático, de forma a realizar a inspeção de qualidade das chamas e os devidos testes funcionais no produto, a fim de garantir seu correto funcionamento. Toda aplicação terá validação a partir da execução de testes reais nos equipamentos e a observação do funcionamento da automação, sendo analisado o desempenho da célula nos quesitos de produtividade, qualidade da inspeção, assim como aspectos de segurança da célula automática. Após a implementação obtivemos um aumento de eficiência na identificação das falhas de 15 %, aumento da produtividade 0,46 pçs/hora homem trabalhada e redução de operadores.

Palavras-chave: Automação industrial; Robôs colaborativos; Sistema de visão.

¹ Especialista em Automação da Manufatura e Docente da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: andre.silva@sp.senai.br

² Especialista em Indústria 4.0 e Docente da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: jose.sjunior@sp.senai.br

³ Mestre em Ciência - Engenharia Mecânica e Docente da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: paulo.rodolpho@sp.senai.br

⁴ Especialista em Automação da Manufatura e Engenheiro de Processos. E-mail: ronaldo.custodio@hotmail.com

ABSTRACT

With the various technological innovations over the years, it is increasingly evident the incessant search by industries for ways to ensure the control of their processes with due safety to their employees, as well as to enable ways to reduce costs in industrial processes. . Considering this context, the research project aims to elucidate the study of an automatic process of functional testing and inspection of cooktop flames in a white goods company. The manual process performed by the operators will be changed through the integration between collaborative robots, vision system and programmable controller to an automatic process, in order to carry out the quality inspection of the flames and the proper functional tests on the product, in order to guarantee its correctness. operation. Every application will have validation from the execution of real tests on the equipment and the observation of the automation operation, being analyzed the cell performance in terms of productivity, inspection quality, as well as safety aspects of the automatic cell. After the implementation, we obtained a 15 % increase in efficiency in the identification of failures, an increase in productivity of 0,46 parts/person-hour and a reduction in operators.

Keywords: Industrial automation; Collaborative robots; Vision system.

1 INTRODUÇÃO

Segundo o autor Paul Krugman a produtividade e qualidade sempre foram os temas centrais da literatura econômica. Esse princípio tem a ver com eficiência, cujo aumento permite produzir mais com menos recursos e em menos tempo. Em busca de melhorar os meios de produção em massa, desde o início da era industrial as inovações tecnológicas tornaram-se essenciais para o desenvolvimento da indústria e dos meios de produção em massa.

A primeira revolução industrial que ocorreu durante o século XVIII, em meados de 1760 a 1840 na Inglaterra. Essa revolução foi impulsionada pela descoberta das máquinas a vapor e o surgimento das ferrovias. Com início no final do século XIX, a segunda revolução industrial teve como marco a eletricidade e a ampliação da linha de montagem, possibilitando assim uma expansão da produção em larga escala e aumento a produtividade na indústria. Durante a década de 1960 a terceira revolução industrial chegou e passou a ser considerada a revolução digital, com a proliferação e uso dos semicondutores, dos computadores, automação e robotização em linhas de produção. Essa revolução foi marcada por transformações profundas na produção e pela rapidez do desenvolvimento de novas tecnologias, fato que impactou as economias e as sociedades (SCHWAB, 2016).

O termo Indústria 4.0, também conhecido como a Quarta Revolução Industrial, teve citação pela primeira vez em 2011 na Alemanha. Essa revolução industrial está baseada nos princípios da terceira revolução industrial que na virada do século passou a usar a internet móvel, sensores e a inteligência artificial. Pode-se dizer que as tecnologias usadas nessa revolução não são todas novas, elas apenas foram sofisticadas e integradas transformando a indústria e a economia, além das relações de trabalho (SCHWAB, 2016).

Segundo a Fundação Dom Cabral, nove pilares são o que baseiam a quarta revolução industrial, sendo esses: manufatura aditiva, simulação, sistemas integrados, internet das coisas, big data, segurança da informação, nuvem, robôs autônomos e realidade aumentada.

O conceito de robótica na indústria 4.0 está relacionada a autonomia que os robôs possuem, e a capacidade de trabalharem em conjunto com o ser humano, surgindo assim o conceito de robô colaborativo entregando resultados comerciais mais eficientes tanto na produção quanto na qualidade final do produto (SCHWAB, 2016).

Com o foco em aumentar a segurança, produtividade e a diminuição dos erros através da automação, o presente estudo visa propor uma solução técnica para automação dos testes funcionais na linha de montagem de uma empresa de linha branca de fogões/*cooktop* em regime *turn-key* (virar a chave), por isso o estudo tem como objetivo executar o teste funcional completo do produto, que atualmente é executado manualmente por operadores que podem deixar falhas passarem por conta do atual sistema de inspeção não apresentar uma alta precisão.

O desenvolvimento do estudo proposto é desenvolver um sistema que executará ações para a inspeção e realizar testes que são feitos atualmente por operadores que são expostos a riscos de segurança na planta pois são expostos a periculosidade ao trabalharem expostos ao gás GLP e que poderão ser trocados por robôs colaborativos em postos independentes.

Os robôs executarão os testes verificando o torque dos manipuladores e ignição de cada queimador além da inspeção visual do espectro da chama do queimador do *cooktop*, diminuindo assim a exposição do operador aos riscos e garantindo uma precisão maior nos testes de qualidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A seguir serão descritos os conteúdos teóricos necessários para a fundamentação e desenvolvimento do projeto.

2.1 Revoluções industriais

Ao longo da história da indústria, ficou caracterizado que desde a primeira revolução industrial, a inovação tecnológica transformou a vida, o trabalho e a economia de forma profunda (SALESFORCE, 2018).

Atualmente, é classificado que passamos por três revoluções industriais e estamos vivendo o que é chamado de quarta revolução industrial. Todas essas revoluções moldaram a sociedade através do desenvolvimento da tecnologia e formas como melhorar o processo de fabricação da indústria, através da criação de máquinas, desenvolvimento da eletricidade e até a criação das tecnologias digitais (SALESFORCE, 2018).

Segundo o fundador do fórum econômico mundial e escritor do livro *The Fourth Industrial Revolution*, Dr. Klaus Schwab, uma revolução industrial é caracterizada pelo surgimento de novas tecnologias que provocam uma mudança profunda na economia e na sociedade (SCHWAB, 2016).

Por essa justificativa, é possível identificarmos todas as revoluções anteriores como desenvolvimento de alguma tecnologia como mostra a figura 1.

Figura 1: Evolução da Indústria



Fonte: Coelho (2016)

A primeira revolução Industrial foi marcante pois não revolucionou apenas a indústria, mas toda a sociedade. Ocasionalmente pela invenção da máquina a vapor, essa revolução teve início por volta dos anos de 1760 na Inglaterra com a intensa substituição dos métodos artesanais por máquinas e ferramentas além da exploração do carvão como fonte de energia alternativa. Essa revolução além de ter sido a primeira ela teve um profundo marco na história com a alteração dos processos de produção que apresentaram consequências significativas a nível econômico e social (TELES, 2017).

O artesão até o momento confeccionava e controlava todo processo de produção desde a extração da matéria prima até a comercialização do produto final, mas com a revolução industrial a manufatura passou para um sistema industrial escalonado, que um funcionário executava apenas uma função, assim acelerando a produção e aumentando os ganhos (TELES, 2017).

A segunda revolução industrial, teve início por volta de 1870 e finalizou-se com o fim da segunda guerra mundial em 1945. As evoluções na indústria continuaram principalmente na área elétrica, o que caracterizou a segunda revolução industrial. Outras invenções começaram a aparecer como o motor gasolina e os aviões. O pensamento científico também avançou causando toda a melhoria de invenções e processos.

Nessa mesma década as primeiras linhas de produção que viriam a permitir a produção em massa e a baixos custos. Pode-se definir a segunda revolução industrial com inovação e invenção, pois estes dois conceitos andaram juntos, pois é notório que a segunda revolução industrial pavimentou o mundo moderno (SCHWAB, 2016).

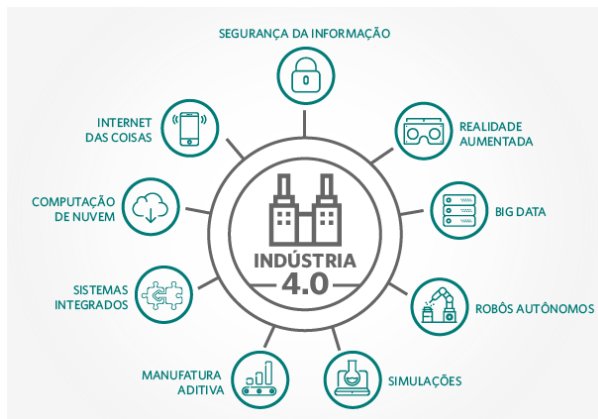
Na terceira revolução industrial, aconteceu nas décadas de 1950 a 1970 com o desenvolvimento da microeletrônica, informações que antes eram processadas de forma analógica foram substituídas por meios digitais com o uso dos semicondutores, computadores e automação cada vez mais presentes em linhas de produção, com a informação processada e armazenada de forma digital (SCHWAB, 2016).

A terceira revolução industrial impulsionou o fenômeno da transformação digital, essa revolução ganhou destaque a partir dos avanços tecnológicos aonde, todos os setores da economia se beneficiaram com as novas pesquisas voltadas para a tecnologia da computação, como o descobrimento da robótica, empregada nas linhas de montagem automatizadas. A

globalização auxiliou a produção e as relações comerciais entre os diversos países que procuravam se desenvolver (BEZERRA, 2019).

Por fim, a quarta revolução industrial, cada revolução industrial na história da evolução da indústria foi marcada por algumas características que definiram a época, na Indústria 4.0 uma das principais características é a incorporação da digitalização à atividade industrial, integrando tecnologias físicas e virtuais. Entre as principais, como visto na figura 2, podemos destacar: manufatura aditiva, simulação, sistemas integrados, internet das coisas, big data, segurança da informação, nuvem, robôs autônomos e realidade aumentada (GRILLETTI, 2017).

Figura 2: 9 pilares da quarta revolução industrial



Fonte: Grilletti (2017)

No início do século XXI, com o desenvolvimento da internet, sensores, softwares e hardwares cada vez mais sofisticados, iniciou-se uma transformação nas indústrias causando um impacto diretamente na competitividade, na sociedade e na economia de tal forma que está transformando até nos dias de hoje o mundo em que vivemos. Segundo os professores Erik Brattbjorn e Andrew McAfee do Massachusetts Institute of Technology, essa transformação foi apelidada como a segunda idade das máquinas e em 2011 na feira Industrial de Hannover, na Alemanha, falava-se em indústria 4.0 (SCHWAB, 2016).

O diferencial da quarta revolução industrial das anteriores é a comunicação entre sistemas. A evolução do processo de fabricação evoluiu de uma única célula automatizada para sistemas totalmente automatizados e integrados que se comunicam entre si, trazendo assim uma maior flexibilidade, velocidade, produtividade e qualidade dos sistemas produtivos. A feira de Hannover de 2017 teve como tema principal as aplicações das tecnologias que compõem a quarta revolução industrial. Essas tecnologias já são realidade na indústria e está transformando significativamente a forma de projetar, produzir e entregar a produção (LASI et. al., 2014).

A quarta revolução industrial não traz apenas um impacto em relação a digitalização de processos, o foco principal é a junção de várias tecnologias que forçam as empresas que pretendem a se manter no mercado repensarem no gerenciamento de seus processos e no desenvolvimento para o mercado (SCHWAB, 2016).

Segundo Schwab (2016), escreveu em seu livro *The Fourth Industrial Revolution*, as alterações nas expectativas dos clientes causaram transformações na indústria para atender a demanda oferecendo produtos mais inteligentes, novas formas de colaboração e a transformação do modelo operacional em um modelo digital.

A quarta revolução industrial provoca mudanças organizacionais que estão diretamente ligadas à melhoria de processos. Uma organização que oferece um produto ou um serviço deve ter cada um de seus processos alinhados dentro da cadeia de produção para que assim, a organização atinja os resultados esperados (SCHWAB, 2016).

2.2 *Cobot* - Robôs colaborativos

O avanço da robótica desde a sua criação está transformando a relação do ser humano e as máquinas em todo o mundo. Por causa dos avanços tecnológicos, os robôs estão se cada vez mais adaptáveis e flexíveis tornando-se mais autônomos. Os robôs já são utilizados fortemente na indústria, porém no conceito 4.0 eles tendem a ser mais independentes e colaborativos, podendo eles trabalhar ao lado dos humanos ou de forma autônoma e segura. Na indústria 4.0 os sensores aumentam a capacidade dos robôs de compreender e responder melhor o ambiente, e empenhando-se em tarefas variáveis podendo agora acessar informações remotas através da nuvem e assim se conectar a uma rede de outros robôs, essa inovação na robótica é o que define o conceito de robôs autônomos (SCHWAB, 2016).

Os robôs podem possuir diferentes níveis de autonomia na indústria, autonomia esta que vai desde robôs que são programados para realizar ações repetidas sem nenhuma variação e com um nível elevado de precisão por exemplo, ou mesmo robôs que podem ser caracterizados como máquinas inteligentes, capazes de trabalhar e circular sem supervisão direta humana, podendo aprender e se adequar à novas condições para realização de tarefas (GARCIA, 2016).

O emprego de robôs se torna indispensável quando o trabalho humano já não é capaz de ser feito de forma precisa, repetitiva e com redução de tempo de produção igual ao robô. O robô empregado no sistema de inspeção reduzirá as falhas causadas pela ótica humana melhorando assim a qualidade do produto. Quando é discutido o conceito de robótica na indústria 4.0, os robôs são configurados para trabalharem sozinhos de uma forma autônoma. Desse conceito é que seguiu o tema de robôs autônomos ou robôs colaborativos. Essa forma de trabalho faz com que as empresas sejam atendidas por robôs eficientes e capazes de lidar com situações e condições variadas. O avanço da robótica nessa área permitiu a interação para realização do trabalho de robôs e humanos simultaneamente e por isso o termo colaborativo, que é a solução do trabalho realizado conjunto entre humanos e robôs. (KOOTBALLY, 2016).

Inicialmente os robôs colaborativos foram desenvolvidos em 1999 na universidade de Northwestern em Evanston nos Estados Unidos pelos professores Edward Colgate e Michel Peshkin. Segundo os autores relatam no artigo *Cobot Architecture*, os robôs colaborativos foram projetados para interagir com o ser humano em um espaço de trabalho visando o uso dos robôs para força e resistência através da tomada de decisão dos operadores (PESHKIN, 2001).

O robô colaborativo na indústria 4.0 proporciona mais segurança aos trabalhadores reduzindo problemas trabalhistas para as empresas em relação a locais de trabalho insalubres podem ser substituídas por robôs, reduzindo assim além dos riscos de acidentes causados por ambientes de riscos eles podem diminuir os riscos ergonômicos, pois esses robôs podem realizar tarefas repetitivas melhorando assim os processos industriais (CHERUBINI, 2016). O quadro 1 mostra a comparação das habilidades entre robô e o ser humano.

Quadro 1: Comparação das habilidades entre robô e o ser humano

Robô Colaborativo	Ser humano
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Repetitividade ✓ Movimento simples ✓ Verificação visual elementar ✓ Confiável, tomada de decisão direta ✓ Padronização de tarefas relativo a diferentes variantes e modelos 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tarefas que exigem alta cognitividade/raciocínio ✓ Movimentos complexos e destreza ✓ Verificação visual complicada ✓ Tomada de decisão elaborada ✓ Adaptabilidade flexível para variantes de produto ✓ Adaptação a eventos inesperados

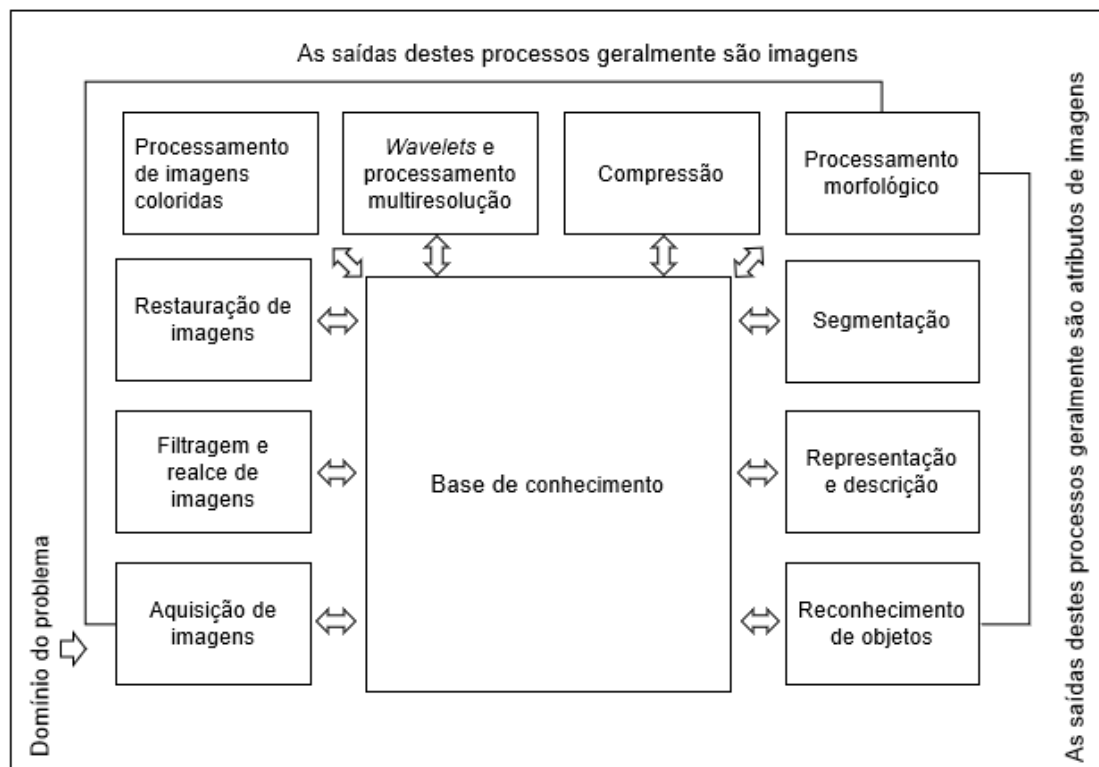
Fonte: Elaborado pelo autor adaptado de SCHOLER, et al (2015)

A colaboração entre os robôs e o ser humano faz com que o melhor desempenho de ambos seja assim aproveitado. A seguir é apresentado a tabela com a distribuição das habilidades entre robô e o ser humano (GROOVER, 2017).

2.3 Sistemas de visão artificial

De acordo com os autores Marques Filho e Vieira Neto (1999), o sistema de visão artificial (SVA) como um sistema computadorizado capaz de capturar, processar e interpretar imagens que correspondam a uma cena real. Para os autores Gonzalez e Woods (2001), escreveram um diagrama que representa as etapas fundamentais do processamento de imagens e reconhecimento de padrões, esse diagrama contém os passos fundamentais do processamento de imagem, conforme podemos ver na figura 3.

Figura 3: Etapas do processamento de imagem



Fonte: Elaborado pelo autor adaptado de Gonzales e Woods (2001)

Com o avanço da tecnologia, o aumento da capacidade de processamento dos computadores e sistemas embarcados juntamente com as novas arquiteturas empregadas nos sistemas de visão computacional tem possibilitado o avanço nas áreas de processamento de imagem aumentando as aplicações desses sistemas na inspeção industrial automática (DAVIES, 2012).

O desenvolvimento na área de sistemas de visão tem permitido a aplicação desses sistemas em algumas das atividades de inspeção que antes eram realizadas exclusivamente por humanos, e que agora abrem espaço para sistemas com inteligência artificial diminuindo assim a subjetividade de processos pois os sistemas de visão computacional é capaz de realizar a inspeção de forma repetitiva e em altas velocidades trazendo um resultado superior ao do ser humano por causa da subjetividade e falhas que o ser humano pode cometer (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

2.4 Controlador Programável

Durante a década de 60, a indústria automotiva estava aquecida e diante da crescente competitividade, as montadoras passaram a procurar melhorias no desempenho da indústria aumentando a produtividade das linhas de produção e a qualidade. Na época os sistemas de controle eram feitos de relés que dificultavam o processo pois era necessário a reformulação dos painéis e comandos gerando assim um trabalho que demandava tempo e com custo alto. A possível saída desse problema foi imaginada pela General Motors, que imaginou um sistema baseado no computador já que na época ele estava sendo escalado para diversos fins. Os critérios para o projeto de desenvolvimento do Controlador Programável (CP) foram determinados pela divisão *Hydramatic* em 1968 e o primeiro dispositivo que atendeu a essas especificações foi desenvolvido pela Gouls Modicon em 1969, onde as principais características desejadas nesse dispositivo eram o preço competitivo com o sistema de relés, dispositivos de entrada e saída facilmente substituíveis, a capacidade de trabalhar em ambiente industrial e de fácil programação (GEORGINI, 2009).

Os primeiros CP's foram usados nas operações de liga/desliga como os relés eram usados, porém o CP melhorou a instalação, pois era de fácil utilização economizando também espaço e energia, além de já possuírem indicadores que facilitavam a manutenção. Alterações na lógica do CP eram facilmente alteradas sem a necessidade de utilização de um grande período. Durante a década de 70 o CP foi aprimorado usando microprocessadores com mais flexibilidade e grau maior de inteligência facilitando assim configurações e programações mais complexas. Com a aperfeiçoamento do CP, na década de 80 com a expansão da automação industrial que possibilitou a comunicação em rede, que ainda hoje é uma das características indispensáveis no CP (GEORGINI, 2009).

O CP pode ser considerado como um computador Industrial, capaz de armazenar instruções para controle através de operações lógicas, manipulação de dados e comunicação em rede. A forma de operação do CP é sequencial como mostra a figura 4.

Figura 4: Fluxograma do funcionamento do CP



Fonte: Elaborado pelo autor adaptado de Georgini (2018)

Quando se fala em controle de processos e automação, o CP desempenha um papel essencial na aplicação de tecnologias que baseiam a atual revolução industrial.

2.5 Qualidade

As revoluções industriais e o constante avanço das tecnologias provocaram a melhoria dos processos de fabricação e automaticamente a qualidade do produto ou serviço final. A definição de qualidade pode ser definida como o conjunto de características que definem um bem ou serviço plenamente adequado ao uso para o qual foi concebido, atendendo a diversos critérios que identificam produtos que não estejam nos conformes, precavendo assim a insatisfação do cliente final (CAPINETTI; GEROLAMO, 2016).

Pode-se listar alguns critérios que compõem o conceito de qualidade, que segundo o autor Deming (1990), todos esses critérios caracterizam o conceito final de qualidade, que é a satisfação do cliente em primeiro lugar, segundo o autor. Operabilidade, segurança, tolerância a falhas, conforto, durabilidade, facilidade de manutenção entre outros são os critérios que estabelecem a qualidade.

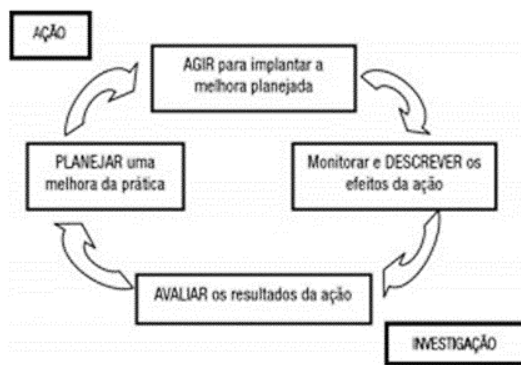
Assim como a tecnologia, os conceitos da gestão de qualidade estão constante desenvolvimento e por esse motivo a qualidade torna-se uma prática adotada dentro da estratégia competitiva entre as empresas para conquistar espaço e destaque no mercado, pois além de satisfazer o cliente final e reduzir desperdícios o uso da norma faz com que a empresa apresente um diferencial no mercado uma vez sendo certificada. Atualmente a gestão da qualidade é padronizada pela norma ISO 9001:2015 que estabelece atividades que focam

capacidade da empresa de implementar uma cultura da valorização da gestão da qualidade garantindo sua implementação, manutenção e melhoria criando assim um padrão para medir e analisar resultados para que assim seja possível implementar ações de melhoria. Essa norma define 7 características para gestão da qualidade em uma empresa. Essas características são o foco no cliente, liderança, abordagem dos processos, melhoria, tomada de decisão, engajamento das pessoas e gestão de relacionamento (CAPINETTI; GEROLAMO, 2016).

3 METODOLOGIA

A pesquisa abordada neste trabalho envolveu a participação ativa do autor e por este motivo o método de pesquisa adotado foi a pesquisa-ação. Esse tipo de pesquisa adota um ciclo que aprimora a prática, ou seja, essa prática adota o planejamento, a implementação, a descrição e avaliação para melhoria percorrendo todo o processo. Em busca de um processo com melhores resultados, percebeu-se que dentro do atual processo a subjetividade atrapalhava na qualidade final do produto, e diante disso que procurou-se aplicar metodologias para melhorar o processo (TRIPP, 2005). A figura 5 apresenta um diagrama para esse tipo de pesquisa.

Figura 5: Ciclo básico da pesquisa-ação



Fonte: TRIPP (2005)

Após a pesquisa, concluiu-se que o sistema que até então era manual passaria a ser feito por dois robôs colaborativos em postos independentes operando com um sistema de visão. Então foi feito o planejamento do processo com outra empresa para o desenvolvimento do projeto e em seguida foi feito o levantamento do cronograma do projeto para que em seguida o monitoramento e a avaliação dos resultados pudessem ser levantados para a que o ciclo da pesquisa-ação se completasse.

Os robôs executarão as manobras de girar os manípulos, verificando o torque e avaliando a ignição de cada queimador. Um sistema de visão artificial infravermelho fará a análise da chama mínima e máxima de cada queimador. As duas estações de testes se comunicarão com linha de montagem para solicitação/liberação de pallets de produtos, e com o sistema de teste funcional para checar vazão. Os resultados da avaliação visual e térmica das chamas dos produtos serão enviados para um sistema existente, capaz de comparar os padrões para aprovação ou rejeição do produto.

O sistema projetado também conta com um sistema de ventilação forçada o qual durante todo trabalho em automático só pode ser executado com o sistema em operação. A exaustão fica operante durante todo o trabalho, sugando o ar da célula e expelindo para o ambiente externo. A célula automática também é dotada de sensores de gás que no caso de

vazamento acionam uma central de gás e é cortado o gás da linha de montagem interrompendo o funcionamento da operação com retorno sendo possível somente se acionado pelo modo manual. O Ciclo do processo está descrito no quadro 2.

Quadro 2: Descritivo do ciclo do processo

1º	O palete com o <i>cooktop</i> é direcionado a uma das 02 estações para teste funcional. A linha indexa o palete, conecta gás, conecta eletricidade e dá sinal para início da automação.
2º	Os dois robôs executam todo o ciclo de teste funcional sendo que cada robô trabalha em sua estação correspondente
3º	Em cada queimador é analisado em chama alta e chama baixa, teste de vazão e verificação da chama pela câmera.
4º	PLC da linha comunica o resultado OK ou NOK ao sistema da linha e as informações sobre possíveis falhas encontradas pelo teste para gravação no TAG do produto.
5º	Produto é liberado com o resultado OK e caso produto estiver em condição NOK, será retirado após manipulador de produtos, área de embalagem.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3. O ciclo do processo conta com a classificação das falhas que estão descritas no quadro

Quadro 3: Classificação das falhas

Produto não está ligando (falha na conexão elétrica)
Queimador não deu ignição/chama
Controle de força/torque nos manipululos
Sistema não acoplou(gás)
Valores reprovador em teste de vazão
Chama não contínua e/ou errada

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 6 apresenta uma imagem da tela principal do sistema de inspeção.

Figura 6: Tela Principal Teste Funcional



Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir está descrito cada parte que o sistema executará para a realização do processo.

Tempo de ciclo: Tempo de duração completo da operação, a partir do reconhecimento da entrada do fogão no sistema até a liberação do mesmo após todos os testes terem sido realizados.

Tentativas ATEQ: É o número de tentativas para o teste de vazão do equipamento, para cada queimador em cada nível de chama. As tentativas são reiniciadas a cada transição de chama (Alta->baixa), e a mudança de queimador para realização do teste.

Habilita Robô: Habilita funcionamento do sistema com robô ou produção em modo manual.

OFF: caso a habilitação do robô esteja em *off*, a produção será manual, assim o método será realizado com o operador realizando os testes de vazão manualmente.

ON: se a produção estiver habilitada com o robô, esse método realizará os testes em cada botão, e a câmera fará o monitoramento das chamas.

STATUS ATEQ: essa parte mostra em que estado do ciclo o de tentativas o processo está.

Início ciclo: indica quando um novo processo se inicia.

Teste aprovado: Indica que o teste de vazão foi aprovado, em cada queimador e cada nível de chama. Cada nível de chama de cada queimador necessita de um sinal de aprovado, para que o produto seja aprovado no teste de vazão.

Teste reprovado: Indica que o teste de vazão foi reprovado, em cada queimador e cada nível de chama. Quando o teste é reprovado, automaticamente inicia-se uma nova tentativa até atingir o número máximo de tentativas que foi previamente definido no tentativas ATEQ.

STATUS CÂMERA: Modelo Câmera indica o número do programa que a câmera deverá executar para avaliar a chama. Cada queimador de cada produto possui um programa específico de acordo com o modelo para a análise específica de imagem.

Foto OK: Indica que o resultado da imagem analisada pela câmera de cada queimador e em cada nível de chama está aprovado.

Foto NOK: Indica que o resultado da imagem analisada pela câmera de cada queimador e em cada nível de chama, está reprovado.

A figura 7 apresenta a tela do robô em seguida a explanação de cada etapa do processo.

Figura 7: Tela Teste do robô



Fonte: Elaborado pelo autor.

Robô ON: Indica quando o Robô está ligado.

Em Home: Indica que o Robô e/se encontra em posição inicial para produção.

Emergência: Indica que o Robô está em emergência, assegurando segurança física, portas e botões de emergência acionados.

Falha: Indica que o Robô está em falha. A falha deverá ser visualizada na IHM do próprio Robô para que assim o técnico que opere o robô possa descrever um melhor diagnóstico.

Programa RUN: Essa etapa mostra que o programa de rotina do robô está em execução. Conforme o envio de programa do controlador para o robô e rotinas desenvolvidas no programa do robô.

Pos Chama Min: Robô está posicionado na chama mínima.

Pos Chama Max Cam: Robô está posicionado na chama máxima, momento de liberação do acionamento da câmera para captura de imagem.

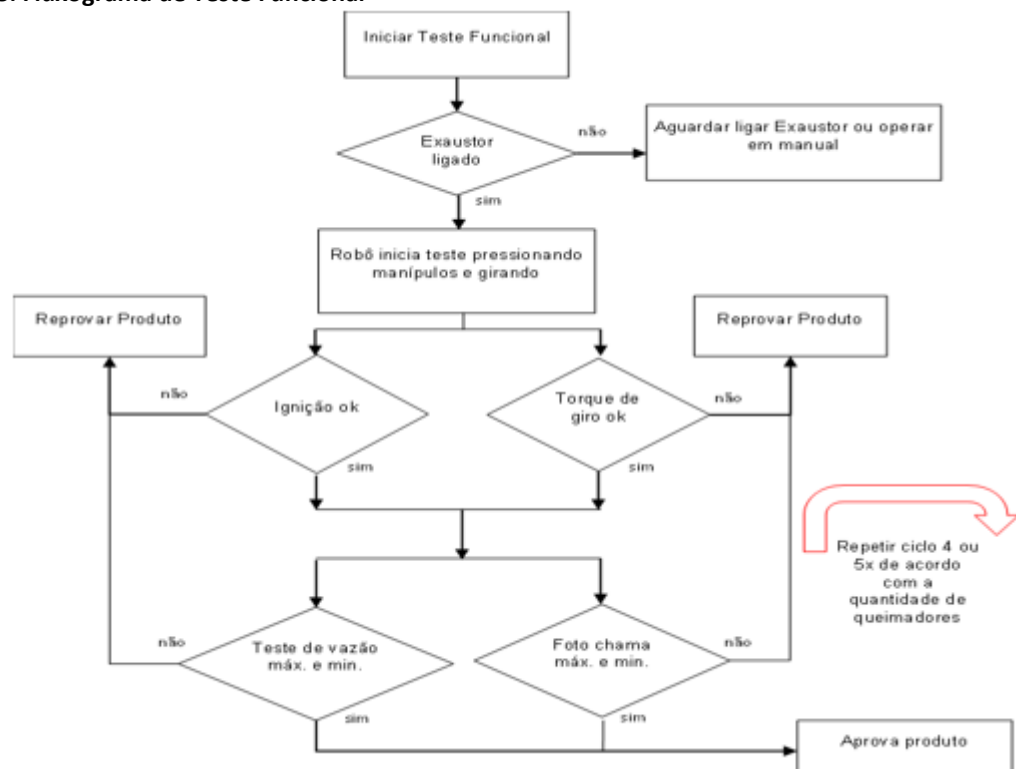
Pos Chama Max ATEQ: Quando o Robô inicia o giro para atingir a vazão de chama máxima, momento de liberação do acionamento do teste de vazão realizado pelo ATEQ.

Pos BT: Robô posicionado no botão indicado, na tela é possível ver até o BT5, que é referente o número de

Setpoint Força Botão: É a definição do valor para o teste de giro do botão em Nm (newton metro). Este valor será comparado com a leitura da célula de carga do robô. Se a leitura da célula de carga for igual ou maior, em qualquer botão, em qualquer nível de chama, todos os testes serão cancelados, então é gravado o defeito por falha do botão, o robô retira o TAG e o coloca sobre o produto e retorna para posição inicial assim como os servos de posicionamento da câmera.

A fim de melhor elucidar o ciclo do processo de funcionamento do teste funcional, segue na figura 8 o fluxo do processo de testes.

Figura 8: Fluxograma de Teste Funcional



Fonte: Elaborado pelo autor.

- equalização de potencial de toda massa metálica, contidas em áreas classificadas e adjacentes, tais como: linha de montagem, cabine e sistema de exaustão com o sistema de aterramento do prédio;
- todos os equipamentos de controle de processo, tomada de energia, botoeiras e botões de emergência, devem ser retirados do interior da cabine, na impossibilidade de fazê-lo, deverão ser realocados para as áreas controladas.

Diante disso, a utilização de um robô Ex para a aplicação no interior da célula foi descartada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o estudo, planejamento e implementação do projeto iniciaram-se os testes para validação do sistema. A seguir temos os resultados dos testes do manípulo manual e automático e os resultados dos testes de chama por visão.

4.1. Resultados do teste do manípulo manual e automático

Para validação dos resultados foi realizado o levantamento dos dados do atual sistema que é realizado por inspetores treinados para o controle de qualidade e funcionalidade.

O sistema de inspeção e controle é realizado nos queimadores da mesa e através de um equipamento para medir vazão dos registros. Onde também é analisado pelo inspetor a cor da chama e a extinção da mesma durante o manuseio do registro.

Após o término dos testes funcionais do produto o inspetor deve realizar a inspeção visual, na mesa de vidro deve inspecionar as seguintes características: riscos, amassados, contaminados, manchas, rebarbas, aspecto do cordão de silicone e falha no laser / imagem. Caso alguma dessas falhas fosse encontrada era necessário evidenciar as falhas com uma seta no produto e local a ser retrabalhado. As figuras 10 e 11 apresentam os testes nos manípulos realizados pelos operadores treinados.

Figura 10: Teste de variação de força do manípulo manual



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11: Teste de variação de força do manípulo manual



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o teste funcional com robôs e visão segue o mesmo padrão de controle e inspeção realizado no teste com fogo manual. Os itens abaixo serão verificados automaticamente pelo robô:

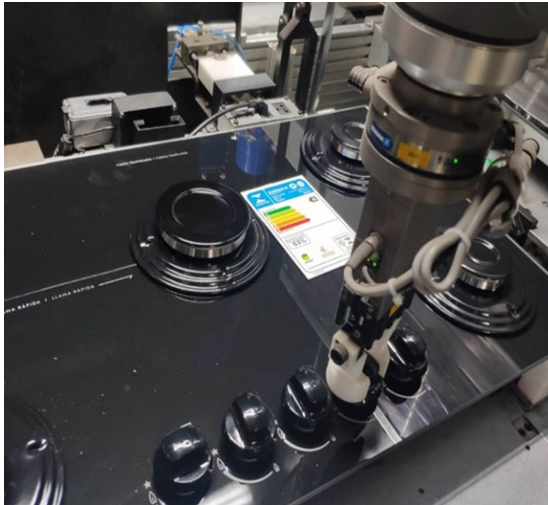
- a) Ignição dos queimadores da mesa;
- b) Registro Travado;
- c) Uniformidade da chama, extinção da chama durante o manuseio do registro;

O teste funcional realizado nesse sistema, segue as especificações a seguir:

- a) Para verificação da ignição do produto, o robô identificará ausência de chama, assim como ignição disparada através do sistema de visão e multimedidor respectivamente.
- b) Para verificação dos registros travados, os produtos deverão ser reprovados com torque de giro pressionado acima 2,5 Nm, torque de giro sem pressionamento 0,6 Nm e força de aperto acima de 45 N;
- c) A uniformidade da chama será verificada através do sistema de visão que identificará falhas no espectro da chama do fogão, para análise da vazão do gás será utilizado o mesmo equipamento (Ateq) que em modo manual.

As figuras 12 e 13 mostram o teste de força aplicado no manípulo.

Figura 12: Teste de variação de força com robô



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13: Teste de variação de força com robô



Fonte: Elaborado pelo autor.

As figuras 14 e 15 ilustram os testes de chama mínima e máxima sendo realizados pelo robô.

Figura 14: Teste de variação de força vazão mínima



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 15: Teste de variação de força vazão máxima



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2. Resultados dos testes de chama por visão

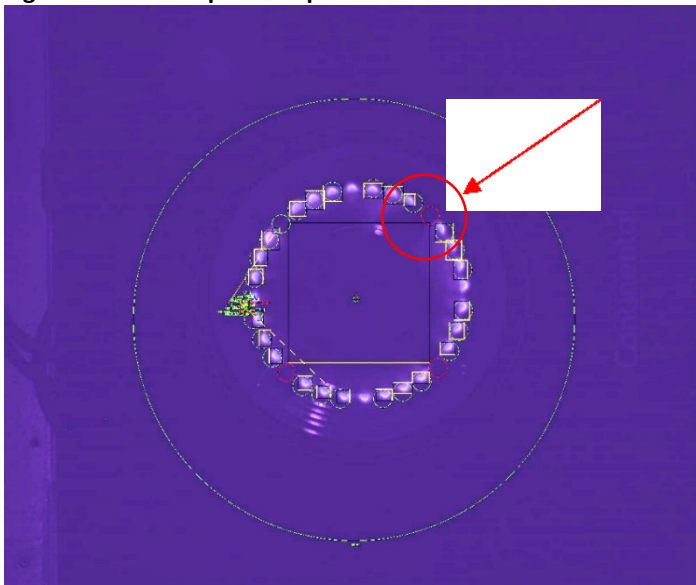
Cada queimador terá a verificação da ignição e da chama em condição mínima e máxima no mesmo momento em que é medida a força de aperto e torque de giro do manípulo. O sistema de visão acusará um círculo vermelho na foto quando o queimador apresentar defeito como mostra a imagem 16 e 17 a seguir, ambas tiradas durante o teste de chama mínima.

Figura 16: Teste reprovado pelo sistema



Fonte: Elaborado pelo autor.

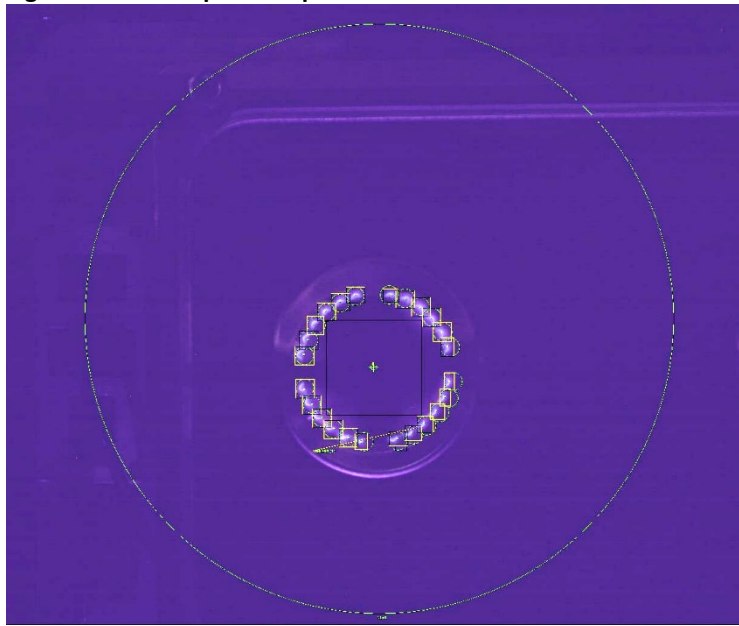
Figura 17: Teste reprovado pelo sistema



Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 18 demonstra uma imagem de um teste aprovado pelo sistema de visão implementado na célula de teste.

Figura 18: Teste Aprovado pelo sistema de visão artificial



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a instalação dos robôs houve um aumento da não conformidade, a quadro 4 mostra os dados coletados após uma semana do sistema em funcionamento e mostra o aumento do total de não conformidades, pois agora o sistema está calibrado de acordo com os padrões de qualidade, diminuindo assim a subjetividade do processo e aumentando a eficiência na identificação das falhas em 15% a mais em toda a linha.

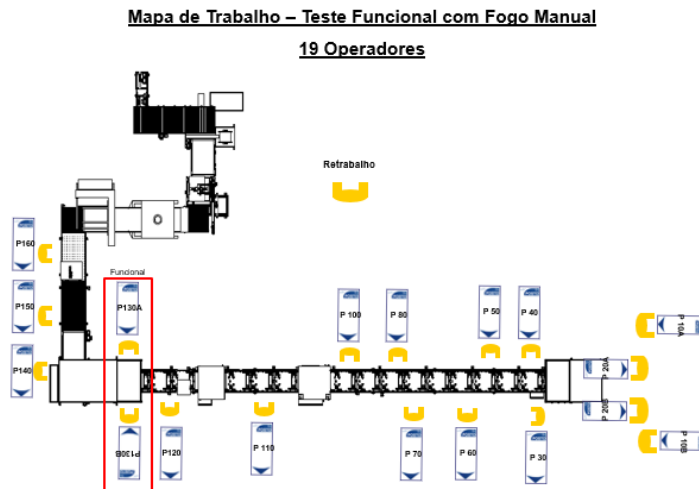
Quadro 4: Comparação dos resultados dos sistemas manuais e automáticos.

DESCRIÇÃO DA FALHA	MANUAL	AUTOMÁTICO
Falha Centelha	6	4
Foto NOK	1	13
Vazão NOK	6	8
Centelha Disparada	4	5
Botão Forçado	0	11
Total Não Conformidades	17	41

Fonte: Elaborado pelo autor.

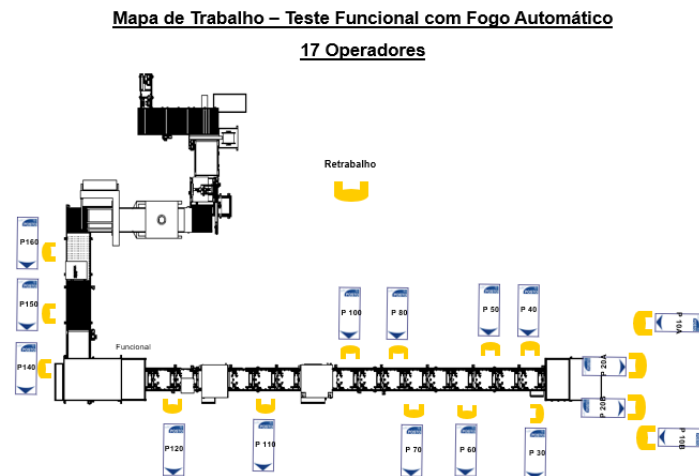
Esse aumento na identificação das falhas impacta diretamente na qualidade final pois somente os fogões que atendem os padrões estipulados pela fábrica vão para o cliente, diminuindo assim reclamações com o consumidor final. A automação desse processo reduziu o custo com mão de obra já que por conta do risco esses trabalhadores recebiam periculosidade por trabalhar em contato com gás a menos de 7 metros. A linha passou a operar com 2 operadores a menos nos dois turnos. Na figura 19 temos o layout da linha de produção com 19 operadores e o retângulo em vermelho mostrando onde o sistema irá operar. A figura 20 já mostra os 17 funcionários.

Figura 19: Layout da linha com teste funcional manual.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20: Layout da linha com teste funcional automático



Fonte: Elaborado pelo autor.

A quadro 5 mostra os indicadores medidos no teste funcional manual e o automático.

Quadro 5: Indicadores dos testes.

INDICADORES	TESTE FUNCIONAL MANUAL	TESTE FUNCIONAL AUTOMÁTICO
Operadores na linha de montagem	19	17
Cadência Média da Linha de Montagem(pçs/hora)	75	75
Produtividade Horária (pçs/Hora Homem trab.)	3,95	4,41
Cadência Máxima do Teste Funcional	120	100
Tempo de ciclo por Baía de Teste (segundos)	55,4	72

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar de termos uma cadência máxima menor no teste funcional automático, com a implantação da automação não tivemos impacto na linha, pois existem outros equipamentos e processos na linha de montagem que são gargalos e sofrerão impactos se elevamos acima de 75 pçs/hora, logo mesmo com a implantação da automação a cadência média da linha permaneceu a mesma.

5 CONCLUSÃO

A inspeção automática para melhora da qualidade final do produto está diretamente ligada a melhoria dos processos industriais e a segurança dos operadores, uma vez que antes da modernização do processo os operadores corriam riscos trabalhistas.

Baseado neste contexto, o objetivo deste trabalho foi acompanhar o desenvolvimento de um sistema de inspeção para que a subjetividade do processo fosse reduzida para fins de qualidade maiores.

Por meio da análise dos resultados, observou-se que os melhores resultados para a inspeção dos manípulos e dos queimadores teve um impacto positivo no sistema de qualidade da indústria, como mostra o quadro 5, a produtividade foi elevada em 0,46 pçs/Hora Homem Trabalhada, por isso conclui-se que a produção permaneceu praticamente a mesma, porém com menos pessoas expostas à riscos.

Outro fator a ser observado foi de que a automação do processo aumentou o número de não conformidade de foto NOK e botão forçado, sendo estes os defeitos que submetem a uma subjetividade de cada operador que dificilmente conseguimos mensurar e através da automação conseguimos padronizar o critério de aprovação. Desta forma o objetivo do projeto de proteger o cliente de prováveis produtos não conformes foi atingido pois encontrando as falhas no produto de forma objetiva e padronizada, evitou-se assim que esses produtos fossem enviados para o cliente final, trazendo assim subjetividade para o processo e qualidade no produto.

Para trabalhos futuros, sugere-se a implementação de sistemas que possibilitem a aquisição de imagens em menor tempo e robôs mais rápidos, uma vez que o atual robô é mais lento uma média de 50 peças por hora.

REFERÊNCIAS

- BEZERRA, Juliana. **Fases da Revolução Industrial**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/fases-da-revolucao-industrial/>. Acesso em: 15 set. 2021.
- CARPINETTI, Luiz César Ribeiro; GEROLAMO, Mateus Cecilio. **Gestão da Qualidade ISO 9001: 2015** : Requisitos e Integração com a ISO 14001:2015. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2016.
- CHERUBINI, Andrea et al. **Collaborative manufacturing with physical human–robot interaction**. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, [s. l.], v. 40, p. 1-13, 2016. DOI <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2015.12.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584515301769>. Acesso em: 24 abr. 2021.
- COELHO, Pedro Miguel Nogueira. R. In: COELHO, Pedro Miguel Nogueira. **Rumo à Indústria 4.0**. 2016. Dissertação (Engenharia e Gestão Industrial) - Universidade de Coimbra, 2016. Disponível em: <https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/36992/1/Tese%20Pedro%20Coelho%20Rumo%20%3a0%20Industria%204.0.pdf>. Acesso em: 15 set. 2021.
- DAVIES, Roy. **Computer and machine vision: theory, algorithms, practicalities**. 4. ed. Waltham: Elsevier, 2012. 871 p.

DEMING, William Edwards. **Qualidade: a revolução da administração.** [S. l.]: Marques Saraiva, 1990. 368 p.

FUNDAÇÃO DOM CABRAL. Pesquisa sobre digitalização. **O que seria a Indústria 4.0?**, [S. l.], p. 1-4, 1 fev. 2016. Disponível em: https://www.fdc.org.br/conhecimento-site/nucleos-de-pesquisa-site/centro-de-referencia-site/Materiais/O_que_seria_a_ind%C3%BAstria_4.0_-_Boletim_Fevereiro2016.pdf. Acesso em: 20 out. 2021.

GARCIA, Pedro. **Robôs Autônomos.** 2016. Disponível em: <https://pedrogarcia12av1.wordpress.com/about/robos-autonomos/>. Acesso em: 19 de set. 2021.

GEORGINI, João M. **Automação Aplicada: Descrição e Implementação de Sistemas Sequenciais com PLCs.** 6. ed. Érica, 2009.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image Processing.** 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.

GRILLETI, Laís. **Indústria 4.0: as oportunidades de negócio de uma revolução que está em curso.** [S. l.], 2017. Disponível em: <https://endeavor.org.br/tecnologia/industria-4-0-oportunidades-de-negocio-de-uma-revolucao-que-esta-em-curso/>. Acesso em: 15 set. 2021.

KOOTBALLY, Z. Industrial robot capability models for agile manufacturing. **Industrial Robot: An International Journal**, v. 43, n. 5, p. 481-494, 2016.

KRUBASIK, S. **Quality 4.0 preventive, holistic, future-proof.** Disponível em: <https://www. Kearney.com/industrial-goods-services/article?/a/quality-4-0-preventive-holistic-future-proof>. Acesso em: 24 de abr. 2021.

LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H.-G.; FELD, T.; HOFFMANN, M. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering.** Springer, v.6, n.4, p. 239-242, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>

MARQUES FILHO, Ogê; VIEIRA NETO, Hugo. **Processamento digital de imagens.** Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

PESHKIN, M. A. et al. Cobot architecture. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, v. 17, n. 4, p. 377-390, 2001

SALESFORCE. **O que é Quarta Revolução Industrial?** [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.salesforce.com/br/blog/2018/Janeiro/O-que-e-Quarta-Revolucao-Industrial.html>. Acesso em: 20 maio 2021.

SCHOLER, M.; VETTE, M.; RAINER, M. A lightweight robot system designed for the optimisation of an automotive end-off line process station. **Industrial Robot: An International Journal**, v. 42, n. 4, p. 296-305, 2015.

SCHWAB, Klaus. **Historical context**, em **The Fourth Industrial Revolution**. WEF, 2016, p. 7.

TELES, Jhonata. **Indústria 4.0**. Tudo o que você precisa saber sobre a quarta revolução industrial. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://engeteles.com.br/industria-4-0/>. Acesso em: 20 set. 2021.

TRIPP, David. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v.31, n.3, p. 443-466, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ep/a/3DkbXnqBQyyq5bV4TCL9NSH/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 set. 2021.

Sobre os autores:

i ANDRÉ ROBERTO DA SILVA



Docente da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe, atua nos cursos de Graduação e Pós-Graduação. Graduado em Licenciatura em Física pela Universidade de São Paulo – USP, Pós-Graduado em Automação da Manufatura pela Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe e Pós-Graduado em Indústria 4.0 pelo Centro universitário Internacional UNINTER. CV: <http://lattes.cnpq.br/1738208783371178>

ii JOSÉ SÉRGIO MEDEIROS JR



Pós-Graduação *Lato Sensu* em Indústria 4.0 pelo Centro Universitário Internacional (2020). Licenciado em Eletrônica pelo Programa Especial de Formação Pedagógica pela Fatec Americana (2008). Pós-Graduação *Lato Sensu* em Gestão Estratégica de Empresa pela UNICEP de São Carlos (2006) e Graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica pela UNIP de Ribeirão Preto (2001). CV: <http://lattes.cnpq.br/5556395715782877>

iii PAULO JOSÉ RODOLPHO



Possui Mestrado em Ciência - Engenharia Mecânica (2013) pela USP, Pós-Graduação em Pedagogia pela Universidade Metodista de Piracicaba (2006), Graduação em Ciências da Computação pelo Centro Universitário Central Paulista (2001) e Formação técnica em Eletrônica pela ETEC Paulino Botelho (1994). CV: <http://lattes.cnpq.br/3915529378619804>

iv RONALDO CUSTÓDIO DE SOUZA



Pós-Graduação *Lato Sensu* em Automação da Manufatura pela Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe, atua como Engenheiro de Processos na Empresa Electrolux do Brasil. Graduado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Viçosa – UFV, Pós-Graduado em Gestão da Produção pela Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR. CV: <http://lattes.cnpq.br/2900706830497656>