

ROBÔS COLABORATIVOS E COEXISTENTES

TEMA 1 – ROBÔS COLABORATIVOS: TECNOLOGIA

Vivemos bombardeados por inúmeras inovações que surgem todos os dias. Entre tantas inovações, fica difícil saber qual delas tem o potencial de revolucionar o mercado, entrando como um divisor de águas na história. Será que estamos vivendo o mesmo feito realizado pelos robôs industriais nos anos 60?

Esse novo conceito de *robôs colaborativos* ou *cobots* (*Collaborative Robots*), que já não ficam mais atrás de jaulas e vêm trabalhando juntamente com os humanos, dividindo postos de trabalho nas fábricas, é assim tão moderno? O que eles possuem de diferente que os colocam como o estado da arte em tecnologia? Essas são as perguntas que vamos responder no decorrer desta aula.

1.1 Engenharia

Vamos voltar à época em que os primeiros robôs industriais foram criados. Seu principal objetivo era a substituição dos seres humanos em atividades com alto risco de vida, em ambientes insalubres e manuseio de cargas pesadas, evitando assim lesões de trabalho. O ambiente onde eram instalados, por serem altamente nocivos, já inibia a presença de humanos ao seu redor. À medida que os robôs assumiam operações mais centrais nas fábricas, mais se aproximavam aos humanos, aumentando assim os acidentes, normas de proteção e segurança obrigaram que essas máquinas fossem separadas dos humanos com o emprego de barreiras físicas. Durante décadas, todas inovações relacionadas à robótica foram focadas no campo de velocidade, capacidade de carga e sistema de segurança para evitar o contato com humanos, parando os robôs em caso de abertura das grades de segurança ou passagem por barreiras de segurança.

Os robôs colaborativos surgem como uma nova categoria de robôs que vem preencher a lacuna gerada pelos sistemas de automação, em que o robô e o humano não podem dividir o mesmo local de trabalho. Essa nova categoria de robôs foi idealizada e projetada do zero com um único objetivo: interação homem e máquina. Não se trata de uma evolução, mas de um novo conceito, uma nova engenharia.

1.2 Mecânica

De acordo com esse novo conceito de engenharia, podemos perceber características mecânicas e físicas comuns entre todos os robôs colaborativos: eles são leves, possuem um porte menor, maior flexibilidade, sempre com 6 graus de liberdade ou mais, possuem pouca capacidade de carga, são mais esguios e não são rápidos. Não é coincidência que essas especificações sejam muito parecidas com as características humanas como alcance, peso que suportamos e velocidade dos movimentos. Esses robôs foram projetados não só para trabalharem lado a lado com os humanos mas também foram projetados para trabalharem nas mesmas operações e postos de trabalho que os humanos, o que foi o primeiro passo para que eles se tornem realmente colaborativos.

Figura 1 – Projeto componentes *cobots*



Créditos: Gorodemkoff/Shutterstock.

Parecem características simples, mas são elas que equalizam as grandes físicas como força e inércia, de forma a serem compatíveis com os humanos, assim em caso de contato, temos massas e velocidade semelhantes entre humanos e máquinas. Outro ponto importante é que os humanos já estão acostumados a trabalhar e interagir com outros humanos, e replicar essas características ajuda na melhor colaboração entre homens e máquinas.

Outra característica inovadora é que o baixo peso dos robôs colaborativos possibilita que sejam transportados facilmente de uma posição de trabalho a outra sem causar interrupções na rotina da indústria, podendo atender a uma tarefa

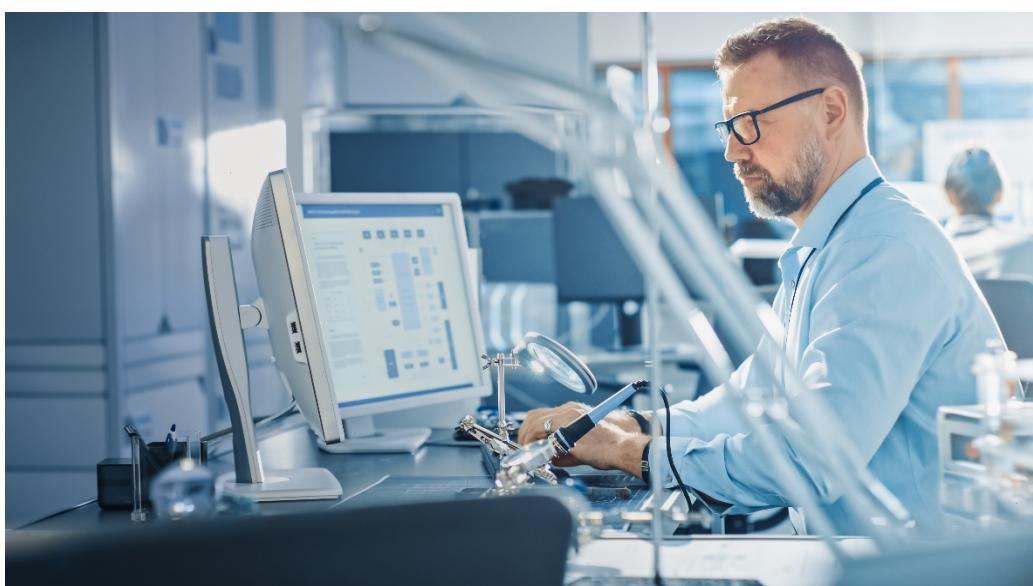
específica e posteriormente ser realocados para outro posto de trabalho. Essa facilidade e velocidade no novo *startup* se deve ao *software* mais intuitivo.

1.3 Software

Não são somente as semelhanças físicas aos humanos que tornam um robô em uma máquina colaborativa, pois outras características de controle são necessárias para viabilizar a proximidade com os operadores, possibilitando dividir o mesmo ambiente de trabalho sem barreiras físicas entre eles.

Esse gerenciamento do robô é feito por seu *software* embarcado, que possibilita um controle muito preciso dos movimentos e das possíveis interferências que podem ocorrer durante uma operação colaborativa. De fato, grande parte do processamento de um robô colaborativo é gasto com segurança; o restante é gasto em sistemas que facilitam a programação e interação homem-máquina. Vamos detalhar esses dois temas a seguir.

Figura 2 – Programação *software* cobot



Créditos: Gorodenkoff/Shutterstock.

1.3.1 Segurança

A segurança sempre teve um papel fundamental na robótica, uma vez que, para os robôs colaborativos, a segurança é mais que redobrada e faz parte do processamento e de cada movimento do robô. Os movimentos do robô são controlados por um *software* que roda abaixo do *software* de segurança, responsável por liberar os movimentos utilizando os sensores nativos do robô e

inteligência artificial para detectar em tempo real alguma variação de força diferente do que foi programado durante a execução das operações.

Esse *software* converte os sinais das células de cargas ou corrente dos motores para calcular por meio de interpolações se um ou mais eixos estão sofrendo resistência ou aceleração ao movimento que estava programado.

Caso um humano ou outro objeto encoste no robô, o *software* de segurança desarma o robô, parando o *software* de movimento imediatamente. Todos os ajustes de parâmetros e forças são configuráveis para cada condição de operação, mas nunca são passíveis de serem desabilitados.

1.3.2 Programação

Outro grande diferencial dos robôs colaborativos é sua facilidade de programação. Eles são dotados de uma programação intuitiva e uma lista ilimitada de acessórios pré-programados e *Plug & Play*, tornando sua aplicação flexível e rápida. Algumas empresas chamam esse conceito de *democratização da automação*, pois qualquer pessoa apta a utilizar um *smartphone* será capaz de programar e configurar um robô colaborativo, tornando essa tecnologia de automação acessível a todos e reduzindo consideravelmente as horas de programação, independentemente do tipo de indústria, dimensão da empresa ou natureza do produto.

A programação de um colaborativo é tão simples quanto apertar um botão no punho do robô. É possível movimentá-lo para posição desejada, marcar o ponto pressionando outro botão e repetindo esse processo até ter vários pontos de forma a montar uma rotina ou sequência de trabalho. Esse processo, que antes levava horas e necessitava de um profissional especializado, pode ser feito por qualquer pessoa em questão de minutos.

Figura 3 – Programação operação *cobot*



Créditos: PaO Studio/Shutterstock.

TEMA 2 – REGULAMENTAÇÃO

É inevitável que o avanço tecnológico esteja modificando a forma de trabalho na indústria. As inovações na robótica industrial já são temas mais que recorrentes. Lamb e Pertence (2015), em seu livro *Automação industrial na prática*, afirmam que os robôs industriais estão cada vez mais presentes em todos os setores da manufatura. Esse movimento da robótica em nível mundial é regulado pela norma ISO 8373, que define o robô industrial como “um manipulador polivalente automaticamente controlado, programável em três ou mais eixos” (ISO, 2012). No Brasil, essas normas são chamadas de NRs.

Figura 4 – Composição das ISOs e NRs



Créditos: Stoatphoto/Shutterstock.

As NR (normas regulamentadoras) são um conjunto de regras, orientações e procedimentos técnicos relacionados à segurança e à saúde dos trabalhadores em determinadas atividades ou funções. Ao todo são 36 normas que as empresas devem seguir para atuar dentro da legalidade. Cada uma possui seus próprios parâmetros de regulamentação, com o objetivo de prevenir acidentes e doenças provocadas pelo trabalho.

As NRs têm como principal objetivo:

- Orientar as ações dos empregadores para tornar os ambientes mais saudáveis e seguros;
- Promover e preservar a integridade física dos trabalhadores;
- Estabelecer a regulamentação pertinente à segurança e à saúde do trabalho;
- Instruir políticas de segurança e saúde dentro das empresas.

2.1 Disposições na legislação

No Brasil, os robôs são considerados máquinas ou equipamentos quando o assunto é risco aos trabalhadores que operam ou se encontram próximo a ele. Dessa forma, a regulamentação que rege os robôs no Brasil é a NR-12, referente à segurança no trabalho em máquinas e equipamentos.

Essa normativa e seus anexos definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores, além de requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho tanto no momento de instalação quanto de operação dos robôs, sem esquecer na incidência das demais normas regulamentadoras caso a caso (ABIMAQ, 2018).

Uma das últimas fases desse processo de prevenção engloba a apreciação de risco, cuja solução/aplicação contempla todos os requisitos da NR12.

2.2 O que engloba a NR12

De acordo com a NR12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos, consideram-se dispositivos de segurança “os componentes que, por si só ou interligados ou associados a proteções, reduzam os riscos de acidentes e de outros agravos à saúde” (Abimaq, 2018).

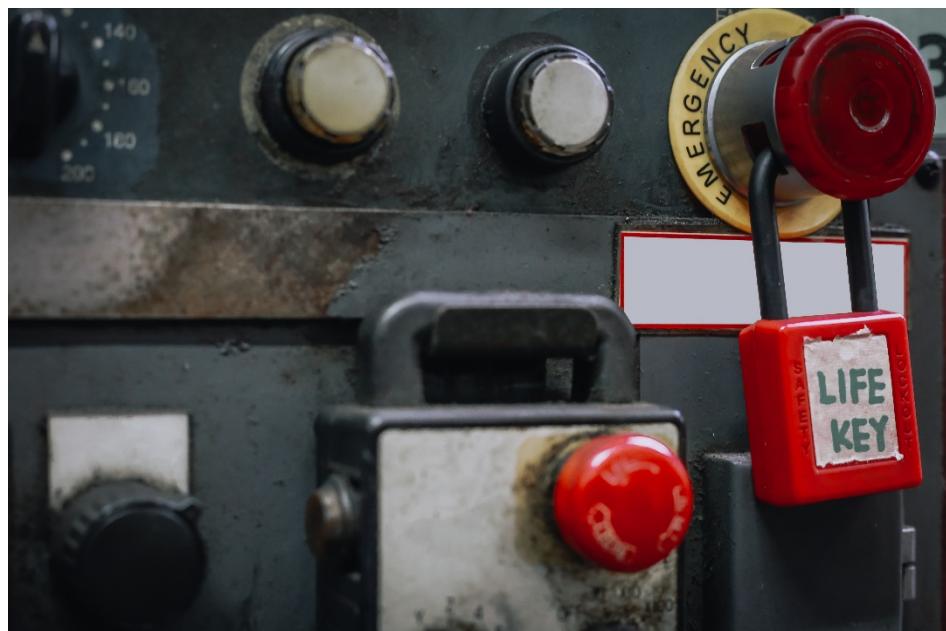
As medidas descritas na norma abrangem diversas áreas, tais como:

- Transporte;
- Montagem e instalação das máquinas;
- Ajuste e operações;
- Higienização e manutenção das máquinas e equipamentos;
- Desativação e desmonte das máquinas ou equipamentos.

Dentro de operações vamos listar os dispositivos de proteção e segurança recomendados e mais utilizados para proteger e evitar o acesso às zonas de perigo, que, no caso dos robôs, é a área total alcançada por sua lança estendida ao máximo.

- Barreiras físicas;
- Cortinas de luz;
- Tapetes de segurança;
- Scanner de área (*laser scanner*);
- Chaves de parada de emergência;
- Chaves de intertravamento;
- CLP de segurança.

Figura 5 – Painel de segurança, botão de emergência e chave de vida



Créditos: Ta Kolng Indy/Shutterstock.

2.3 Robôs colaborativos e NR12

Os robôs colaborativos não possuem uma legislação específica vigente, sendo classificados como *robôs industriais*, porém possuem características muito diferentes com relação à sua segurança e aplicação.

Pensando no estímulo à inovação e nos investimentos na tecnologia da robótica colaborativa no Brasil, o Ministério do Trabalho junto com a Abimaq (Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos), fabricantes de *cobots* e integradores, desenvolveram uma nota técnica chamada NT n. 31/2018. A NT 31 foi anexada à NR12, normatizando e fornecendo orientações a projetistas e usuários de robôs colaborativos para ampliar a interação entre pessoas e esses sistemas robóticos no Brasil, gerando o respaldo regulatório, instruindo que o robô colaborativo deve estar de acordo com:

- ISO 10218-1: “Robôs e dispositivos robóticos – Requisitos de segurança para robôs industriais - Parte 1: Robôs” (ABNT, 2018a);
- ISO 10218-2: “Robôs e dispositivos robóticos – Requisitos de segurança para robôs industriais - Parte 2: Sistemas robotizados e integração” (ABNT, 2018b);
- ISO/TS 15066: “Robôs e dispositivos robóticos – Robôs colaborativos” (ISO, 2016), que é uma norma internacional para uso dos *cobots*.

O funcionamento colaborativo deve atender aos requisitos descritos na ISO 10218 (ABNT, 2018a; ABNT, 2018b) e na ISO/TS 15066 (ISO, 2016), sendo eles:

- Características dos sistemas de segurança;
- Detalhes do projeto de robôs colaborativos;
- Particularidades e necessidades de integrações de sistemas de segurança;
- Requisitos de parada de segurança/Parada de segurança vigiada;
- Monitoramento de velocidade e da distância;
- Limitação de força e potência;
- Conectores para equipamentos de segurança externos;
- Exigência do documento de apreciação de risco do robô e do ambiente de trabalho.

Dessa forma, segundo a NR12, operadores e robôs podem trabalhar próximos, podendo ocorrer eventualmente contato físico entre eles de forma

segura (Abimaq, 2018). Nestas condições, a convivência simultânea de robôs em aplicações colaborativas e humanos não acarreta descumprimento a NR12.

TEMA 3 – SEGURANÇA

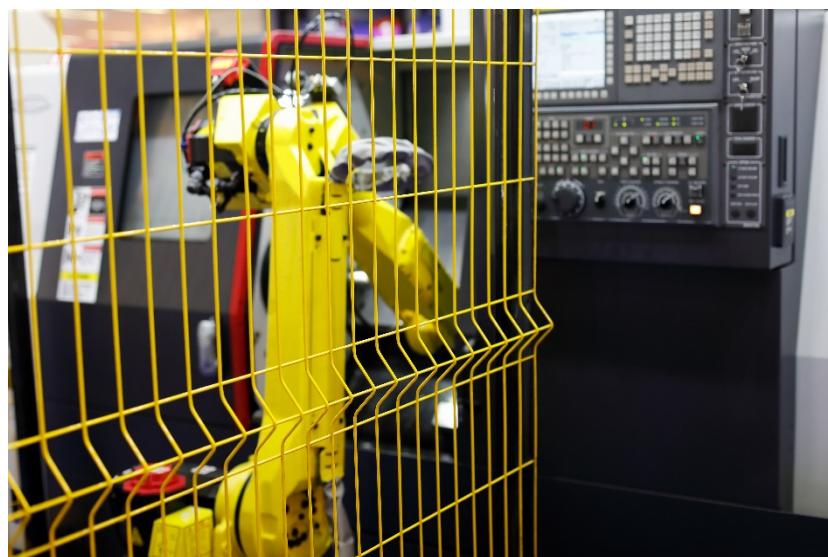
Um dos pontos mais interessantes nos robôs colaborativos é a possibilidade de dividir tarefas e ter um robô para colaborar no mesmo ambiente de trabalho, criando um novo conceito de automação industrial, onde os humanos podem trabalhar ao lado das máquinas. Será que só o fato de usar um robô colaborativo já é suficiente para ter uma aplicação segura?

Vamos começar pelo conceito de colaborativo segundo especificação técnica ISO/TS 15.066 (ISO, 2016):

- Espaço de trabalho colaborativo: espaço de operação onde o sistema robótico (incluindo a peça trabalhada) e humanos possam desempenhar simultaneamente tarefas durante a produção;
- Operação colaborativa: estado no qual um sistema robótico propositalmente projetado e um operador trabalham dentro de um espaço de trabalho colaborativo.

Portanto, considera-se robô colaborativo um sistema robótico projetado para desempenhar uma operação colaborativa em um espaço de trabalho colaborativo.

Figura 6 – Espaço de trabalho não colaborativo



Créditos: Genkur/Shutterstock.

Isso significa que, para se ter uma solução colaborativa, é preciso ter um robô construído de forma colaborativa e uma área de trabalho preparada de forma colaborativa. Sozinhos não temos um espaço de trabalho colaborativo

3.1 Construindo robôs colaborativos

O fato de sensorizar robôs e programá-los para parar em caso de detecção de forças ou colisão não os torna robôs colaborativos, mas o que os torna máquinas especiais?

Assim como um CLP normal não é igual a um CLP de segurança, robôs convencionais não são como *cobots*. Diferentes dos robôs tradicionais, os *cobots* são construídos partindo como base de um sistema de segurança, possuindo sistemas redundantes, um *hardware* certificado e controles preparados para que, mesmo que em caso de falhas, mantenha o sistema de segurança em perfeita operação, tudo projeto para não colocar em risco o operador e os equipamentos ao redor.

Robôs colaborativos possuem dois ou mais processadores usados exclusivamente para rodar de forma redundante as funções nativas, protocolos e funções de segurança. Esse sistema também mantém o sistema de movimentação em operação, controlado por outro processador responsável pelos movimentos. Ao detectar alguma colisão ou força não esperada, o sistema de segurança derruba o sistema de movimento e para o robô imediatamente, cortando a força dos motores e acionando os freios.

Outro grande diferencial está na forma como os próprios motores são utilizados como sensores, em que, por meio de interpolação, os processadores de segurança calculam a variação de corrente gerada por resistência ao movimento, convertendo essa corrente em força para cada posição em que os elos do robô se encontram. Assim, é possível configurar com precisão o nível de força que o sistema de segurança deve desarmar o robô monitorando em tempo real os 6 eixos.

Alguns fabricantes de *cobots* possuem mais de 17 funções de seguranças integradas em seu *software*, possibilidade de delimitar o espaço de trabalho e de segurança, além de criarem internamente um número de registro único, como um CPF para cada parametrização de segurança, ou seja, caso alguém altere esses parâmetros, o número de registro passa a ser diferente do registrado na apreciação de risco.

3.2 Espaço de trabalho colaborativo

Vocês acabaram de ver que os *cobots* precisam ser construídos de forma colaborativa para serem considerados robôs colaborativos, mas como é possível definir se o ambiente em que ele está inserido é colaborativo e não exerce risco ao operador?

É importante saber que todos projetos e instalações possuem uma apreciação de risco, que é validada para que se possa operar garantindo a segurança dos operadores. A norma ISO 15066 define as características de uma aplicação, para se verificar se ela é segura ou possa vir a apresentar riscos (ISO, 2016). A apreciação de risco tem início na definição do conceito do projeto, em que são analisados quais aspectos do entorno podem causar aprisionamento, esmagamento, perfuração ou riscos em geral. Um ponto comum de atenção é o projeto da ferramenta, pois fica acoplada diretamente ao punho do robô, realizando vários movimentos. As características da ferramenta não devem oferecer risco em caso de contato com o operador, seja o robô colidindo com o operador, seja o operador colidindo com o robô.

Figura 7 – Espaço de trabalho colaborativo



Créditos: Zapp2Photo/Shutterstock.

Outro ponto de atenção para poder garantir que o ambiente seja colaborativo é o produto ou material manipulado em si, pois na extremidade do braço em movimento podem representar um alto risco. Esse risco pode ser devido

à alta temperatura, bordas afiadas ou objetos pontiagudos, por exemplo. Nesses casos em que a aplicação é de risco, passa a ser necessário o uso de equipamentos de segurança externos, como scanners de área, cortinas de luz, tapetes de segurança, câmeras de segurança, que vão aumentar a segurança do projeto em desenvolvimento.

Essas características possibilitam que o robô colaborativo saia das jaulas e seja colocado lado a lado para realizar as atividades com segurança em conjunto com os seres humanos, tornando o processo nas manufaturas mais produtivo e eficiente. Vale lembrar que nem todos os processos têm condições de ser colaborativos. Um exemplo é o manuseio de lâmina de vidro: mesmo com o robô parado, ao encostar no vidro, o operador vai se cortar.

TEMA 4 – INTERAÇÃO HOMEM-COBOT

Um dos principais questionamentos sobre a robótica colaborativa, assim como qualquer outra solução tecnológica dentro da automação, é se essa tecnologia será aplicada para substituir mão de obra humana ou servirá apenas como uma ferramenta de trabalho, facilitando o dia a dia dos trabalhadores.

Neste tema, vamos nos aprofundar no uso da robótica colaborativa como ferramenta de trabalho, uma equipe formada por homem e máquina. Como é essa interação na prática, quão próximo se pode trabalhar com um robô colaborativo, qual é a melhor divisão de atividades, onde o robô é mais eficiente que o humano? Onde os humanos são mais produtivos que o robô? Iremos detalhar essas e mais dúvidas no decorrer deste tema.

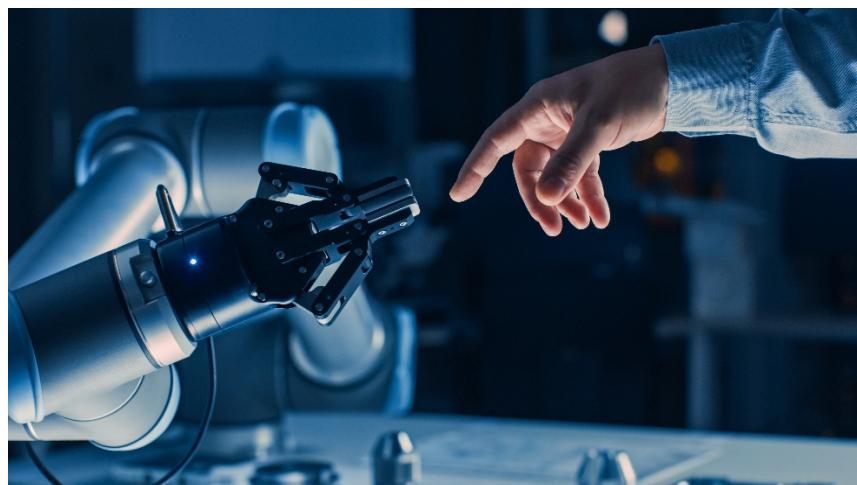
4.1 Quão próximo o *cobot* pode trabalhar

Os *cobots* são projetados especificamente para trabalhar com pessoas em ambientes cooperativos, ajudando nas tarefas complexas que não podem ser completamente automatizadas. Com os *cobots*, esse novo conceito de automação industrial, em que os humanos passam a trabalhar ao lado de máquinas, passa a ser cotidiano nas indústrias. Mas quão próximo de um robô colaborativo se pode trabalhar?

O que vai determinar essa resposta é o processo, produto e área de trabalho em que ele está inserido. Como sabemos que cada processo produtivo é único, a apreciação de risco é o que vai determinar essa condição.

Porém existem hoje *cobots* instalados em processos totalmente colaborativos, em que a velocidade de operação não passa dos 200mm/s, o produto e garra não oferecem riscos ao operador e não existe condição de risco de prensagem ou esmagamento, sendo que os *cobots* dividem o mesmo posto de trabalho dentro de uma célula produtiva em “U”. O robô, por meio de tapetes de segurança, sabe em que posição o operador se encontra dentro da célula, fazendo a descarga da máquina que foi carregada pelo operador. Caso o operador perca o sequenciamento de produção e bata no robô ou vice-versa, o próprio operador dá um *reset* no alarme de colisão, colocando o robô de volta em operação.

Figura 8 – *Cobot* e humano dividindo o mesmo local de trabalho



Créditos: Gorodenkoff/Shutterstock.

Existem operações em que o *cobot* está na mesma linha de produção, mas possui seu posto de trabalho separado do operador, pois trabalha ao seu lado sem estar trabalhando dentro o envelope de trabalho.

Outro tipo de interação comum é o uso do *cobot + scanner de área*, que possibilitam operações em velocidades rápidas (não colaborativa). Quando um operador se aproxima da zona de contato físico, o *cobot* entra em módulo colaborativo, garantindo assim *performance/produtividade*, quando trabalha sozinho, e segurança, quando trabalha acompanhado.

4.2 Divisão de atividades

Uma vez programado, o robô colaborativo executa várias funções na linha de produção, sem se cansar. Dessa forma, com o auxílio mecânico do *cobot*, o

trabalhador consegue aumentar o seu ritmo e os robôs colaborativos sempre vão acompanhá-los.

Nessa divisão de atividades, os robôs colaborativos são direcionados para as tarefas mais pesadas e repetitivas, enquanto o operário fica livre para usar seu intelecto e sua intuição humana para realizar funções mais complexas e criativas.

O maior ganho dessa divisão das tarefas é a compensação das *fraquezas de um* pelos *pontos fortes do outro*. Dessa forma, temos o aumento de produtividade de um lado e redução do risco ergonômico ou LER (Lesão por esforço repetitivo) do outro, mantendo os trabalhadores mais satisfeitos e saudáveis.

Assim, temos as seguintes atividades direcionadas aos *cobots*:

- Carga de descarga de máquinas;
- Montagens;
- Interação com equipamentos perigosos;
- Movimentação de peças;
- Parafusamentos;
- Lixamento/rebarbação.

Figura 9 – *Cobot* realizando operação de lixamento



Créditos: Dizfoto/Shutterstock.

Para os humanos temos as seguintes atividades:

- Gestão do processo;
- Inspeção de qualidade;

- Ajustes de variações processo/produto;
- Indexação de produto.

4.3 Ganho de produtividade

Uma vez divididas as atividades de forma a otimizar as etapas do processo dedicadas a cada um, humano e *cobot*, é possível otimizar o processo fabril sem a necessidade de automações complexas, pois o trabalhador consegue analisar em tempo real e tomar decisões para compensar qualquer variação no processo. Já o *cobot*, realizando as atividades cansativas e repetitivas, possibilita mais tempo para que o trabalhador foque toda sua atenção ao processo.

Pequenos ajustes e acompanhamento da qualidade em tempo real evitam paradas ou perdas de produto por qualidade ao longo da produção, aliado a uma tomada de decisão rápida, feita pelo operador na própria linha produtiva, possibilitando aos *cobots* manter suas operações de forma indefinida e aumentando drasticamente a produtividade da fábrica.

A facilidade de reprogramação dos robôs colaborativos possibilita que em pouco tempo um trabalhador comum possa ajustar a programação para compensar as variações dos produtos e processos, tornando o trabalho produtivo e flexível.

Esse trabalho em conjunto com humanos é uma das maiores vantagens dos robôs colaborativos. Assim, evitam-se paradas desnecessárias na rotina da indústria e tempo gasto desnecessariamente aguardando a chegada do engenheiro ou técnico de manutenção.

Outros dois pontos importantes que contribuem diretamente para o aumento da produtividade é a *diminuição dos problemas de ergonomia e lesões* por movimentos repetitivos, sendo o segundo a possibilidade de focar nas atividades mais estratégicas, que elevam o nível de satisfação pessoal dos trabalhadores e a *motivação no trabalho*, gerando um efeito de crescimento e capacitação profissional.

TEMA 5 – ROBÔS COLABORATIVOS VERSUS ROBÔS TRADICIONAIS

Como já estudamos, os robôs não são uma novidade na indústria e operam desde de 1960. Contudo, os robôs industriais sempre trabalharam isolados dos humanos, devido ao alto risco de acidentes, potencialmente fatais.

Isso mudou com a criação dos robôs colaborativos, que não oferecem riscos aos humanos, podendo trabalhar lado a lado. Ambos os tipos de robôs possuem capacidade de automatizar processos, realizar atividades repetitivas, arriscadas e insalubres, aumentando a competitividade e produtividades na indústria.

Apesar dessas semelhanças, existe uma grande diferença sobre a melhor forma de incorporar cada uma dessas soluções no chão de fábrica. Pensando em uma forma mais prática, vamos comparar alguns aspectos de suma importância para escolha e utilização de cada tipo de robô, ressaltando vantagens e desvantagens entre eles.

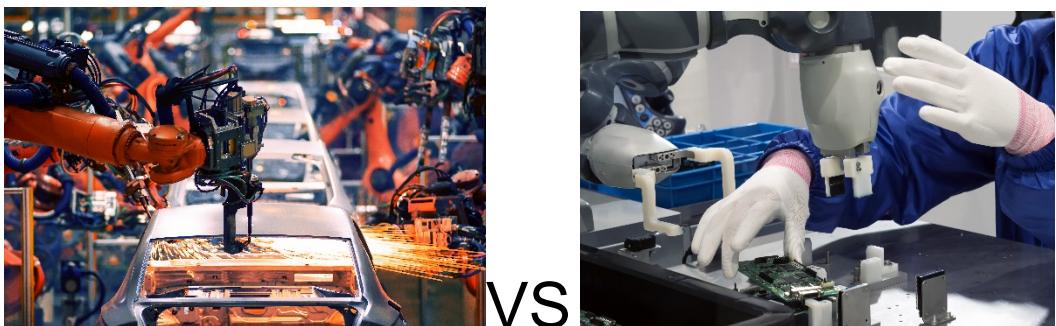
5.1 Aplicação

Vale reforçar que não podemos classificar um robô colaborativo como melhor solução de automação que um robô industrial ou vice-versa, pois a escolha de cada um deles está diretamente relacionada à aplicação, ao tempo de ciclo e ao espaço físico em que serão utilizados. Visto isso, vamos destacar os pontos mais importantes nas aplicações de cada tipo de robô:

Os *cobots*, compactos e amigáveis, podem trabalhar diretamente ou muito próximos aos humanos, sem riscos para os trabalhadores, mas não são projetados para produção pesada e nem em alto volume. Um *cobot* pode ajudar os operários nos trabalhos perigosos, repetitivos ou tediosos para serem realizados sozinhos, revolucionando a automação das pequenas tarefas industriais. Assim, criam um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente sem a necessidade de infraestrutura de segurança complexas dos robôs industriais, somando forças na execução de tarefas que exigem esforço manual contínuo, sem eliminar os humanos, realocando-os em tarefas mais estratégicas.

Já os robôs industriais, mais robustos e muito mais rápidos, são projetados para trabalhar *no lugar desses operários* e não *com eles*, aumentando drasticamente o volume de produção e sendo responsáveis por automação das grandes tarefas da rotina produtiva. Podem lidar com materiais maiores e mais pesados, como os usados na fabricação de automóveis, exigem gaiolas de segurança para manter os humanos fora do espaço de trabalho e são empregados para automatizar o processo de fabricação quase inteiramente sem ajuda humana na área de fabricação.

Figura 10 – Robô tradicional *versus* robô colaborativo



Créditos: Genkur; Zapp2Photo/Shutterstock.

5.2 Segurança

A diferença mais marcante entre os *cobots* e robôs industriais tradicionais é a possibilidade do compartilhamento da área de trabalho com os humanos que os *cobots* proporcionam.

Os *cobots*, projetados para serem menores, podem trabalhar diretamente com os humanos, sem colocar em risco a saúde e a integridade dos trabalhadores, mas, para que isso ocorra, essas soluções requerem uma trava de segurança diferenciada. Além do sistema de segurança nativo dos *cobots*, o ambiente de trabalho precisa ser totalmente seguro. Cada aplicação é única e deve ter sua segurança customizada, pensada e projetada de forma que o trabalhador interaja com o robô e o posto de trabalho durante todas as etapas da operação. À primeira vista parece ser mais simples, mas exige muito mais análises durante a apreciação de risco conforme a NR 12, podendo demandar sensores específicos como *scanners* de área, barreiras de luz e tapetes de segurança para possibilitar uma segurança redundante.

Enquanto isso, os robôs industriais são projetados para trabalhar sem nenhum contato com os humanos, pois em muitos casos os acidentes podem ser fatais. Qualquer tipo de aplicação, desde pequenas e lentas, devem inviabilizar o acesso do homem ao robô, já que este não possui nenhum sistema de segurança embarcado. Diferentes dos *cobots*, o desafio para os robôs industriais é o oposto, como impedir os trabalhadores de se aproximarem dos robôs tradicionais. Esse tipo de sistema de segurança, apesar de sempre necessário, acaba sendo mais simples e se baseia na obstrução ao acesso com grades e sistema de isolamento físico. Porém o maior índice de acidentes ocorre durante as programações e manutenção dos robôs, período em que os programadores e manutentores estão

trabalhando ao lado do robô dentro do isolamento, quando qualquer falha ou descumprimento de regras de segurança pode resultar em acidentes. Além do alto custo ligado aos componentes certificados de segurança para fechamento dos espaços, deve ser considerada a perda dessa área isolada no entorno do robô.

Figura 11 – Operação totalmente isolada de robô tradicional



Créditos: August Phunitiphat/Shutterstock.

5.3 Flexibilidade

A flexibilidade dos *cobots* possibilita que sejam utilizados em diferentes postos de trabalho durante a atividade produtiva. Em função do seu baixo peso, podem ser facilmente transportados por um pessoal, e o baixo peso facilita também sua fixação, sem necessidade de fundações complexas, podendo ser montado em qualquer superfície, desde chão, parede, teto e mesmo em estruturas de máquinas e equipamentos.

Essa facilidade de movimentação possibilita mudanças de funções rápidas e simples, acompanhando o dinamismo das produções modernas e pequenas indústrias em que o *cobot* pode ser colocado para trabalhar em mais de um posto de trabalho. Reforçado por seu baixo consumo de energia, pode ser alimentado diretamente da rede elétrica de qualquer escritório.

Pensando nesse novo mercado com aplicações infinitas, diversos fornecedores estão fabricando acessórios *Plug & Play* para esses braços

robóticos, garantindo mais flexibilidade e facilidade para que os usuários customizem seus *cobots* as suas aplicações.

Por serem mais robustos, os robôs industriais são projetados para trabalharem fixos as posições de trabalho, pois seu grande peso impossibilita qualquer movimentação sem o uso de empilhadeiras, exigindo fundações e fixações robustas o suficiente para travar a inércia gerada por seus movimentos em alta velocidade, somado às grandes massas que eles trabalham. Normalmente esse tipo de fixação requer grandes intervenções de infraestrutura no parque fabril a cada troca de posição, o que quase sempre gera altos custos e paradas de linha. Em função da alta potência, são equipamentos normalmente alimentados por redes trifásicas, requerendo uma prévia preparação da rede elétrica nas fabricas para sua instalação.

Outro ponto de atenção são as personalizações dos robôs industriais, devido ao seu tamanho e às diferenças de capacidade e aplicação, não fáceis de encontrar prontas no mercado e que, além da programação, exigem um alto custo e engenharia para adaptá-las ao robô. O mesmo é válido para suas gaiolas de segurança, usadas para manter os humanos fora do espaço de trabalho, as quais também precisam ser movimentadas e reinstaladas antes da retomada do robô à sua nova atividade produtiva.

5.4 Programação

Por serem equipamentos criados na era dos *smartphones*, os *cobots* já nasceram com um grande diferencial e possuem uma programação totalmente amigável e intuitiva. Esse é um dos maiores benefícios do robô colaborativo.

O fator segurança, com a possibilidade de operar o *cobot* ao seu lado sem correr riscos, possibilitou inovações que facilitaram sua programação, não sendo necessário robotistas altamente qualificados e especializados para programar e reprogramá-los de forma prática e rápida, gastando poucas horas com programação.

Alguns modelos de robôs colaborativos podem ser programados de forma guiada. Um técnico pode simplesmente levar manualmente o braço do *cobot* ensinando ao longo de uma sequência de movimentos o trabalho a ser realizado. Com base nisso, o braço *lembará* o novo movimento e poderá repeti-lo sozinho o número de vezes que forem necessários, agilizando qualquer tarefa e reduzindo o processo de programação.

Outra forma de programação comum nos *cobots* é o uso de uma interface gráfica em que o usuário fornece instruções de trabalho sem codificação, apenas movimentando as partes desejadas na representação gráfico do robô, fazendo com que o robô se move fisicamente, reprogramando o *cobot* de maneira flexível e simples para uma grande variedade de tarefas.

Os robôs industriais, por outro lado, não podem operar com pessoas ao seu lado e não permite também que alguém movimente manualmente suas juntas, característica de segurança que impede a programação pelo modo *Teaching*. Outra característica que torna a programação de um robô industrial mais complexa está diretamente ligada ao fato de esse tipo de robô não possuir sistema de medição de forças ou detecção de colisão, fazendo com que erros na programação levem o robô a colidir com equipamentos e com a área de trabalho. Sem controle de força, os danos nas caixas de redução do robô, atuadores e área de trabalho podem ser grandes, motivo pelo qual se fazem necessário robotistas altamente qualificados e especializados para realizarem essas programações.

As programações via TP são complexas, nada intuitivas e requerem entendimento de geometria analítica mais interpolação. Vale ressaltar que cada fabricante possui uma linguagem de programação diferente, pois os robôs tradicionais não são facilmente reprogramados e exigem um robotista para que qualquer alteração no processo seja implementada, tornando as empresas dependentes desses recursos de alto custo.

5.5 Custo

Assim, vemos que o reflexo de todos os pontos acima, influencia diretamente no custo dessas soluções. Quando falamos em custo, é importante separar aquele relativo à *aquisição*, que é o valor pago pelo robô na caixa, e o *custo de operação*. O custo de aquisição dos robôs colaborativos é maior que o custo de um robô industrial de mesmo porte, ou seja, com mesma capacidade de carga e alcance.

O grande diferencial positivo nos custos dos robôs colaborativos aparece quando se retira o robô da caixa. Para colocar um robô em operação, é necessário customizá-lo para realizar a aplicação demandada no posto de trabalho definido. Essa customização envolve *hardware* e ferramentas para integrar o robô ao posto de trabalho, possibilitando sua interação com o produto e realização das operações necessárias. Aqui já temos duas vantagens claras para os *cobots*: a

primeira é que a maioria dos *cobots* possuem soluções modulares pré-projetadas e fabricadas por empresas de automação que tornam essas personalizações *Plug & Play*, reduzindo o custo e o tempo necessários para colocar a solução em funcionamento.

O segundo ponto é o custo de programação e reprogramação dos *cobots*. Como vimos, o *software* intuitivo possibilita uma redução drástica de custo, pois requer uma mão de obra menos especializada e, após retirar o robô da caixa, em poucas horas já pode estar em operação, gerando os ganhos esperados.

Os robôs industriais, por sua vez, são equipamentos mais complexos, devido ao seu tamanho, e têm maior capacidade de carga e variedades de aplicações, mas não possuem soluções prontas de prateleira, por isso necessitam ser projetadas e produzidas especificamente para cada aplicação, fazendo com que o custo de engenharia e de execução necessário seja elevado.

Outros dois pontos que pesam negativamente sobre os custos do robô tradicional são a programação e a instalação. A programação não é nada intuitiva e requer profissionais altamente treinados, específicos para cada fabricante de robô, pois podem colocar em risco pessoas e equipamentos de alto valor, sendo normalmente custos muito elevados se comparados aos *cobots*. A infraestrutura é o segundo ponto contra os robôs tradicionais, pois requerem uma preparação muito pesada, envolvendo fundação, alimentação elétrica trifásica e todo o sistema de segurança no entorno do robô. Toda essa preparação, aliada à necessidade de equipamento de movimentação pesado como empilhadeiras, tornam o tempo de instalação e início de operação muito longo se comparado aos colaborativos, que já começam a se pagar horas após saírem da caixa.

Em função da tecnologia embarcada, os *cobots* são mais caros que os robôs tradicionais, mas quando analisamos o custo total de integração e principalmente o custo de operação, o *cobot* terá um custo total menor. Aqui fica um alerta: *cobots* não podem ser considerados atalhos de menor custo para substituir totalmente os operários dos postos de trabalho. Como a escolha do tipo de robôs está diretamente ligada ao que será automatizado, espaço físico disponível e carga/volume de produção, os robôs industriais ainda têm seu lugar na indústria e devem coexistir por muito tempo com os *cobots*.

REFERÊNCIAS

- ABIMAQ – Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos. NR-12 – Robôs industriais colaborativos (*cobots*). Indústria 4.0. **ABIMAQ**, 19 fev. 2018. Disponível em <http://www.abimaq.org.br/Arquivos/HTML/Documentos/NR12/NT_N%C2%B0031%20-%20DSST%20-%20NR-12%20-%20Rob%C3%B4s%20industriais%20colaborativos.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2021.
- _____. Nota Técnica n. 31/2018. **Abimaq**, 19 fev. 2018. Disponível em: <http://abimaq.org.br/Arquivos/HTML/Documentos/NR12/NT_N%C2%B0031%20-%20DSST%20-%20NR-12%20-%20Rob%C3%B4s%20industriais%20colaborativos.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2021.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Catálogo de Normas**: Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/>. Acesso em: 9 abr. 2021.
- _____. **NBR ISO 10218-1**. Robôs e dispositivos robóticos – Requisitos de segurança para robôs industriais. Parte 1: Robôs. Rio de Janeiro: ABNT, 2018a
- _____. **NBR ISO 10218-2**. Robôs e dispositivos robóticos – Requisitos de segurança para robôs industriais. Parte 2: Sistemas robotizados e integração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018b.
- ISO – International Organization for Standardization. ISO 8373:2012. Robots and robotic devices – Vocabulary. **ISO**, 2012.
- _____. ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices — Collaborative robots. **ISO**, 2016.
- BAYRAM, B.; İNCE, G. Advances in Robotics in the Era of Industry 4.0. In: **INDUSTRY 4.0: Managing the Digital Transformation**. Springer: Cham, 2018. p. 187-200.
- CÉSPEDES L.; ROCHA D. F. **Segurança e medicina do trabalho**. 19. ed. São Paulo. São Paulo: Saraiva, 2017.
- ISO – International Organization for Standardization. ISO 8373:2012. Robots and robotic devices – Vocabulary. **ISO**, 2012.

_____. ISO 10218-1:2011 Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial robots — Part 1: Robots. **ISO**, 2011.

_____. ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices — Collaborative robots. **ISO**, 2016.

LAMB, F.; PERTENCE, J. A. **Automação industrial na prática**. São Paulo: AMGH, 2015.

RÜßMANN, M. et al. Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries. **Boston Consulting Group**, abr. 2015.

PEREIRA, S. B. Robótica: recorde de instalações e espaço garantido para robôs e cobots. **Revista Automação**, 3 dez. 2020. Disponível em: <<https://revista-automacao.com/market-overview/34213-rob%C3%A3tica-recorde-de-instala%C3%A7%C3%A3o-e-espa%C3%A7o-garantido-para-rob%C3%B3s-e-cobots>>. Acesso em: 9 abr. 2021.