



AVALIAÇÃO DE CÉLULA ROBÓTICA NO SETOR DE LAPIDAÇÃO NA INDÚSTRIA DE VIDROS UTILIZANDO UM MODELO DE SIMULAÇÃO POR COMPUTADOR

Mateus Silveira Celestino¹

Cleber Lourenço Izidoro²

Vladimir Hardenias Gaidzinski³

Anderson Daleffe⁴

João Mota Neto⁵

Resumo: O trabalho explora a implementação de uma célula robótica no setor de lapidação da indústria de vidros, abordando a aplicação de dois modelos de simulação para avaliar a eficiência desse sistema. A pesquisa destaca a importância da automação para minimizar riscos ocupacionais e aumentar a produtividade, em um setor que enfrenta desafios significativos relacionados à segurança dos trabalhadores e à carência de mão de obra qualificada. A Indústria 4.0, com a integração de tecnologias digitais, oferece oportunidades para otimizar processos industriais e garantir a segurança e a eficiência operacional. Utilizando o *software* KUKA. Sim, a simulação da célula robótica permitiu modelar e analisar o comportamento de robôs na manipulação de chapas de vidro. O estudo envolveu a coleta de dados no ambiente industrial para estabelecer uma linha de base de desempenho sem automação, comparando-a posteriormente com os resultados obtidos com a célula robotizada simulada. A análise incluiu a seleção de um modelo de robô específico, considerando aspectos como capacidade de carga, precisão e alcance operacional, essenciais para assegurar que o robô atenda aos requisitos do setor vidreiro. Os resultados da simulação indicam um potencial aumento na produtividade e na segurança, possibilitando à indústria de vidros um posicionamento competitivo em resposta às crescentes exigências de qualidade e eficiência. A pesquisa sugere que, com a implementação de células robóticas, as empresas podem otimizar seus processos internos e reduzir a dependência de trabalho manual em tarefas de alto risco, como a lapidação de vidros.

Palavras-chave: Automação industrial, célula robótica, simulador de robótica, lapidação de vidros.

1 INTRODUÇÃO

A indústria vidreira, historicamente reconhecida por sua complexidade e pelos desafios operacionais, tem enfrentado significativas transformações ao longo das

¹ Graduando em Engenharia Mecatrônica, 2024. E-mail: mateuscelestino07@gmail.com

² Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: cleber.izidoro@satc.edu.br.

³ Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: cleber.izidoro@satc.edu.br.

⁴ Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: anderson.daleffe@satc.edu.br.

⁵ Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: joao.neto@satc.edu.br.



últimas décadas, impulsionadas pela evolução tecnológica e pelas crescentes demandas por segurança e eficiência. A necessidade de automatizar processos tornou-se cada vez mais premente, especialmente em um contexto no qual a manipulação de chapas de vidro de grandes dimensões apresenta riscos substanciais tanto para os trabalhadores quanto para a produtividade das empresas, particularmente no setor de lapidação dessas chapas.

A Indústria 4.0, conceito que simboliza a integração avançada de tecnologias digitais nos processos produtivos, oferece uma oportunidade única para reestruturar as operações industriais, promovendo uma comunicação eficaz entre máquinas e entre humanos e máquinas, com o objetivo de otimizar a produção e minimizar os riscos envolvidos no manuseio de materiais perigosos e pesados (Paula; Paes, 2021).

Devido ao avanço tecnológico e ao aprimoramento das técnicas de automação, onde hoje se tornou uma realidade onde processos automatizados são conduzidos por máquinas altamente robotizadas. Isso significa que os robôs desempenham um papel integral em diversas etapas do processo produtivo, oferecendo assistência em várias tarefas (Frasca; Bruno, 2021).

Um fato muito representativo dentro das indústrias vidreiras para esse avanço tecnológico é a falta de mão de obra para o manuseio das chapas de vidro. Muitos operadores acabam perdendo membros pela falta de experiência ou até mesmo por processos ainda não automatizados, mesmo que de forma mínima. De acordo com Queiróz e Maciel (2001), a produção de vidro na indústria é associada a uma série de riscos à saúde dos trabalhadores, que são distintos devido às particularidades do processo de fabricação desse material.

Dentro desse cenário, a automação industrial emerge como uma solução estratégica para superar os desafios operacionais enfrentados pelo setor vidreiro voltado ao setor de lapidação. A introdução de células robóticas automatizadas, auxiliada por ferramentas de simulação computacional, representa uma mudança de paradigma na forma como os processos industriais são concebidos e implementados. A automação não apenas promete aumentar a eficiência e a segurança no ambiente de trabalho, mas também se apresenta como uma resposta à escassez de mão de obra qualificada.

Ao simular o ambiente de produção, é possível prever e mitigar riscos, além de identificar oportunidades de melhoria que podem resultar em ganhos significativos de produtividade e segurança. Para a simulação proposta neste estudo, será feita a



escolha de um modelo de robô industrial com base em parâmetros específicos, como capacidade de carga útil, alcance operacional, precisão e confiabilidade. Esses critérios são essenciais para garantir que o robô selecionado seja adequado para o manuseio de chapas de vidro de grandes dimensões e atenda aos rigorosos requisitos da indústria vidreira, proporcionando uma operação eficiente e segura.

Com a automatização, as empresas do setor vidreiro poderão não apenas melhorar seus processos internos, mas também se posicionar de maneira mais competitiva no mercado global, atendendo às crescentes demandas por qualidade, segurança e eficiência.

Este trabalho visa explorar a viabilidade da implementação de uma célula robótica automatizada na indústria vidreira, tendo como principal setor, o setor de lapidação, utilizando o software KUKA.Sim para modelagem e simulação do processo. A pesquisa busca, portanto, desenvolver uma simulação de uma célula robótica aplicada à indústria vidreira, com o objetivo de avaliar sua eficácia e produtividade, e propor melhorias que possam ser implementadas para otimizar o processo de manuseio de chapas de vidro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, serão abordados diversos temas fundamentais para compreender o objetivo central deste trabalho. Serão explorados conceitos, teorias e fundamentos relacionados ao campo de estudo em questão, buscando fornecer uma base sólida para a análise e desenvolvimento dos tópicos apresentados ao longo do estudo.

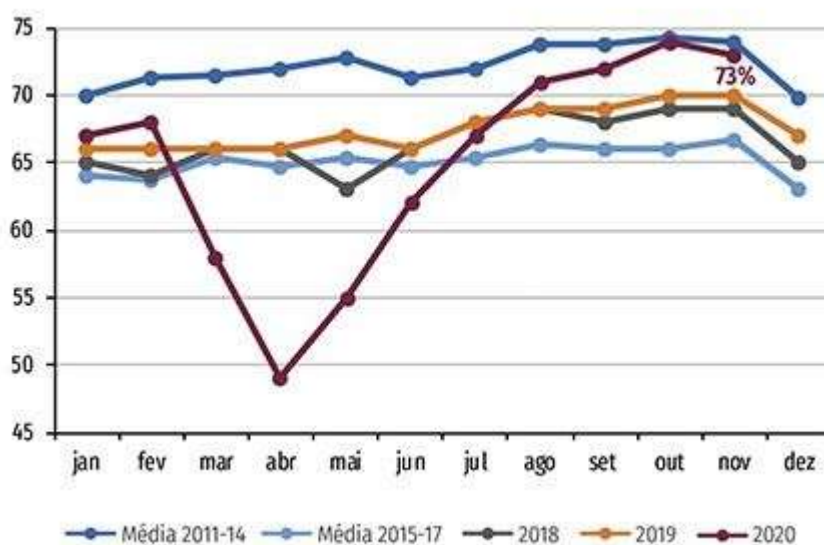
2.1 INDÚSTRIA DO VIDRO

Atualmente, os setores de manufatura e logística têm como grande desafio abastecer um mercado caracterizado pela variabilidade de itens e imprevisibilidade, como resultado da alta demanda por uma produção personalizada, com mudanças frequentes de produtos, pedidos e estoque, e o rápido crescimento do comércio eletrônico. Isso exige soluções automatizadas flexíveis que tornem o atendimento e a distribuição de pedidos mais rápidos e eficientes (Bueno, 2024).

A Fig. 1 apresenta um gráfico que ilustra a quantidade percentual de robôs em

relação à sua capacidade instalada ao longo do tempo, mês a mês na parte inferior do gráfico. Abaixo, a legenda identifica a qual ano cada linha corresponde, permitindo a comparação entre diferentes períodos. Dessa forma, é possível observar e analisar o comportamento da capacidade instalada ao longo de cinco anos, proporcionando uma visão clara sobre o crescimento e a utilização da automação no período analisado.

Figura 1 - Utilização média da capacidade instalada
Percentual (%)



Fonte: Abravidro (2021).

De acordo com a Confederação Nacional da Indústria (CNI), o setor industrial superou os níveis de produção pré-pandemia e está retomando gradualmente seu crescimento. O relatório aponta aumento na produção, investimentos e geração de empregos, indicando uma recuperação sólida. O indicador de Utilização da Capacidade Instalada, que alcançou 73 % em novembro, mostra que as empresas estão operando perto de seu potencial máximo, refletindo a confiança no ambiente econômico. Esses fatores sugerem uma recuperação sustentável, com perspectivas positivas para novos projetos e contratações (ABRAVIDRO, 2021).

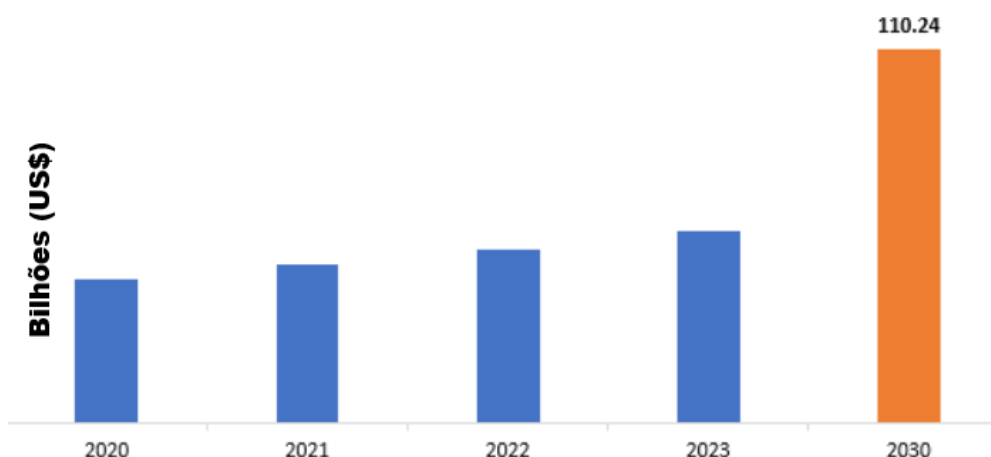
2.2 ROBÔS INDUSTRIAIS

O setor de robótica e automação vem crescendo significativamente. Segundo a VDMA, as vendas aumentaram 13% no último ano, e os pedidos no início de 2022 subiram 38% em relação ao ano anterior na Alemanha. Esse investimento contínuo permite a produção de bens mais avançados e gera novas oportunidades de emprego

para profissionais especializados (VDI, 2022).

A Fig. 2 apresenta a projeção de crescimento até 2030, destacando a expansão contínua do setor de robótica e automação, impulsionada pelo avanço tecnológico e pela crescente demanda industrial.

Figura 2 - Mercado de robôs industriais e de serviços de 2020-2030



Fonte: Exactitude Consultancy (2024)

A tecnologia robótica evoluiu de forma acelerada, resultando em robôs que são significativamente superiores às primeiras máquinas, tanto em termos de desempenho quanto em capacidade e custo. Esses avanços permitiram a criação de robôs mais ágeis e precisos, com uma maior adaptação a diferentes ambientes. Além disso, os custos de fabricação e implementação desses sistemas diminuíram, tornando-os acessíveis para um maior número de indústrias (Wilson, 2015).

A robótica é essencial nas linhas de montagem modernas devido aos benefícios significativos que traz, como eficiência, precisão e agilidade. Com a evolução da indústria e o avanço da automação, os robôs garantem consistência em tarefas repetitivas e têm capacidade para executar operações complexas, tornando-se fundamentais para processos produtivos (Almeida; Freitas, 2017).

De acordo com a *Robotic Industries Association* (RIA), um robô industrial é descrito como um "manipulador reprogramável e multifuncional, projetado para movimentar materiais, componentes, ferramentas ou dispositivos especiais por meio de diversos movimentos programados, com o objetivo de executar uma variedade de tarefas" (Rivin, 1997).

Os manipuladores industriais são máquinas bastante avançadas e sofisticadas, voltadas para processos de automação específicos. Segundo Simplício, Lima e



Junkes (2016), esses manipuladores são geralmente antropomórficos, ou seja, semelhantes a um braço humano. Ao analisar a estrutura de um manipulador robótico, é possível identificar o tronco, braço, antebraço, mão e suas juntas flexíveis, que podem ser definidas como ombro, cotovelo e pulso.

O uso de robôs na indústria oferece vantagens como a redução de custos com mão de obra, aumento da flexibilidade em relação a máquinas específicas e incremento da produtividade. Eles melhoram as condições de trabalho ao realizarem tarefas repetitivas e perigosas, sendo fundamentais em sistemas automáticos programáveis, aplicáveis tanto em processos fixos quanto em sistemas de manufatura flexíveis (Pinto, 2001).

Com o aumento da competitividade e a busca pela melhoria da produtividade, os robôs industriais se tornaram componentes essenciais na produção e montagem de diversos produtos. Graças à sua versatilidade e eficiência, os robôs têm despertado um interesse cada vez maior nesse campo (LOUREIRO, 2018).

2.2.1 Tipos de robôs industriais

Para Campos (2023), um robô manipulador pode ser amplamente definido como um mecanismo automatizado concebido para executar movimentos ou operações específicas envolvendo peças ou ferramentas. Esses movimentos são planejados e realizados com alta precisão, seguindo uma sequência predefinida que otimiza os processos industriais.

Essas classificações e suas vantagens são apresentadas mais adiante no Qd 1. Nele, é possível comparar os diferentes tipos de robôs, destacando suas características e as principais aplicações indicadas para cada tipo de robô descrito anteriormente.



Quadro 1 - Principais tipos de Robôs Industriais e Aplicações

Tipo de Robô	Características	Aplicações Comuns
Articulado	- Possui múltiplas juntas rotativas (geralmente 6 eixos) - Grande flexibilidade e alcance	- Montagem industrial - Soldagem - Manipulação de materiais - Pintura e acabamento
SCARA	- Movimentos limitados a um plano horizontal - Alta precisão e velocidade	- Montagem de pequenas peças - Inserção de componentes - Manuseio de materiais leves
Cartesiano	- Movimenta-se em linhas retas ao longo dos eixos X, Y e Z - Alta precisão e simplicidade	- Impressão 3D - Corte a laser - Montagem de peças em linhas de produção
Paralelo	- Várias ligações controlam uma única plataforma - Muito rápido e preciso	- Classificação de produtos - Embalagem - Montagem rápida e leve - Processos farmacêuticos
Cilíndrico	- Movimentos em coordenadas cilíndricas (rotação e translação) - Estrutura compacta	- Soldagem por arco - Montagem - Operações de manipulação - Revestimento de superfícies

Fonte: Adaptado de Automação (2024), Herosolutions (2024), Avantatech (2024) e Bahia (2024).

Nas empresas, para Frascá e Bruno (2021), os robôs são utilizados de acordo com as necessidades específicas, variando em tipo e função. Alguns são robôs programáveis, capazes de executar tarefas repetitivas com base nas instruções previamente inseridas em seu sistema. Esses robôs repetem a ação até que as informações sejam atualizadas ou alteradas. É possível classificar os robôs industriais com base em diversos critérios, como a quantidade de eixos, o tipo de controle utilizado, a geometria do equipamento e o sistema de acionamento.

2.2.2 Ferramentas

A ferramenta do manipulador robótico é conectada ao último elo do sistema, estabelecendo uma ligação com uma ferramenta de trabalho ou uma garra. A escolha do tipo de ferramenta que o manipulador deve empregar depende essencialmente da função específica para a qual ele foi projetado. Essa função pode variar amplamente, influenciando não apenas o design do punho, mas também as características da ferramenta, como sua forma, material e capacidade de execução. Assim, a funcionalidade do manipulador é diretamente relacionada ao tipo de ferramenta que ele utiliza, garantindo eficiência e precisão nas tarefas que deve realizar (Simplício; Lima; Junkes, 2016).

Segundo Caparoso et al. (1999), as funções do braço e do pulso de um robô são basicamente orientar e posicionar o efetuator final, assim como qualquer



ferramenta que ele possa estar utilizando.

As ferramentas usadas na manipulação e fabricação variam conforme o tipo de produto e se classificam em garras e ferramentas especiais. As garras, que podem ser pneumáticas, hidráulicas, de sucção ou magnéticas, possuem mobilidade e até três pontos de contato com o objeto para facilitar a precisão. Ferramentas especiais, como as de solda e pintura, são fixas e amplamente usadas na indústria automotiva, seguindo programação prévia (Frasca; Bruno, 2021).

2.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

De acordo com Soares (1990), modelos são representações que descrevem sistemas, e, embora sejam elaborados com base no problema específico que se deseja resolver, eles necessitam de uma estrutura organizada. Para isso, uma linguagem ou pacote de simulação oferece essa estrutura essencial. Essa linguagem atua como um intermediário, traduzindo a descrição do sistema para um formato que pode ser compreendido por um sistema computacional.

A simulação computacional transformou as indústrias ao permitir que engenheiros criem protótipos digitais, desenvolvam produtos, projetem processos e analisem materiais de forma mais segura e eficiente. Essa tecnologia acelera inovações, otimiza operações e reduz custos e riscos ao possibilitar ajustes antes da implementação real (Pederneira, 2022).

A simulação computacional facilita o planejamento estratégico e a otimização operacional, tornando o gerenciamento mais adaptável e informativo. Ela permite que organizações respondam rapidamente a imprevistos, melhorando sua competitividade ao identificar falhas e otimizar processos antes da implementação física (Carrasquinho, 2015).

Segundo Vieira (2006), a simulação é uma ferramenta crucial para representar sistemas ou processos, auxiliando na tomada de decisões e reduzindo riscos e custos. Amplamente utilizada em diversos setores industriais, como manufatura e logística, a simulação permite que analistas identifiquem e resolvam problemas ao explorar diferentes cenários.



2.3.1 Simuladores de robótica

Segundo O'Kane, Spenceley e Taylor (2000), a simulação é uma ferramenta amplamente utilizada para analisar sistemas industriais, permitindo a reprodução de processos reais de forma mais rápida e econômica. Ela facilita ajustes e melhorias antes da implementação, ajudando a prever resultados, corrigir falhas e reduzir custos, tornando-se uma alternativa eficiente para diminuir riscos e otimizar decisões no ambiente industrial.

No Qd.2, são apresentados os principais tipos de simuladores, juntamente com suas características e funcionalidades específicas. Esses simuladores variam conforme o fabricante, sendo desenvolvidos para atender a diversas demandas e setores industriais. Cada tipo oferece recursos e configurações que se adaptam a diferentes aplicações, permitindo a simulação detalhada de processos, o teste de configurações de máquinas e a otimização de linhas de produção, conforme as necessidades específicas de cada segmento.

Quadro 2 - Simuladores de Robótica e principais características

Característica	KUKA.Sim	RobotStudio (ABB)	RoboDK	UR Simulate
Interface de Usuário	Intuitiva, focada em simulação 3D	Altamente personalizável, interface limpa	Visualização 3D intuitiva, fácil de usar	Simples e direta, focada em UR robôs
Integração CAD	Importa modelos, as com algumas limitações	Excelente suporte para importação de CAD	Suporta a maioria dos formatos de CAD	Integrado, suporta importação de modelos CAD
Programação	Permite adicionar comentários, foco na sequência	Programação simplificada, com maior flexibilidade em termos de targets	Linguagem de programação versátil, adaptável a vários robôs	Programação simplificada, foco na facilidade de uso
Simulação	Focado em movimentos realistas, limitado a movimentos individuais	Simulação dinâmica incluindo toda a linha de produção	Simulação abrangente com fácil ajuste de trajetórias	Simulação específica para robôs UR
Aplicações Especiais	Ótimo para tarefas específicas de KUKA	Excelente para integração em sistemas ABB completos	Ideal para educação e pequenas empresas	Focado em prototipagem e pequena produção

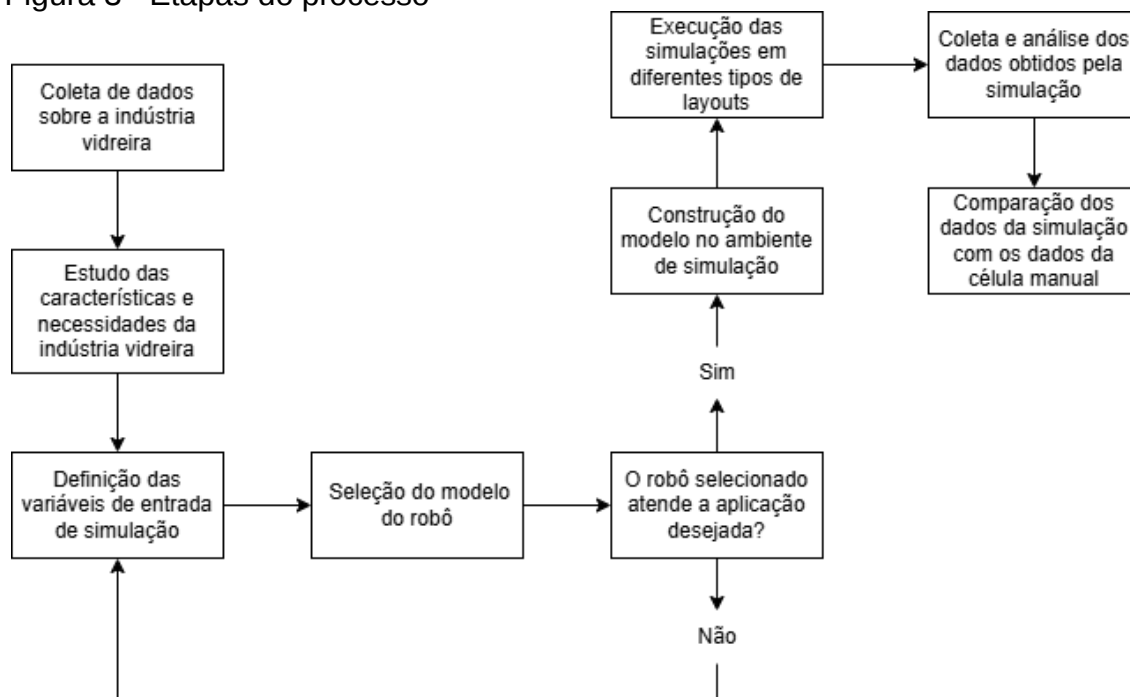
Fonte: Adaptado de Kuka(2024), Abb (2024), Robodk (2024) e Universal Robots (2024).

Os computadores transformam o acesso ao conhecimento, tornando a informação mais acessível e promovendo o Pensamento Computacional, que aplica habilidades de lógica e resolução de problemas a diversas áreas, não apenas na tecnologia. Isso incentiva novas formas de pensar e agir, criando oportunidades (OLIVEIRA, 2016).

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A simulação computacional aplicada à indústria vidreira se destaca como uma solução eficaz para o desenvolvimento de projetos de células robotizadas, especialmente no setor de lapidação de vidros, com ênfase na manipulação do produto a ser lapidado. A Fig. 3 ilustra, de forma simplificada, as etapas que serão abordadas neste trabalho. Consoante esta, o processo consiste em duas etapas principais: levantamento das variáveis de entrada e seleção dos componentes. As demais etapas serão descritas nas seções subsequentes.

Figura 3 - Etapas do processo



Fonte: Do Autor (2024)

3.1 COLETA DE DADOS SOBRE O PROCESSO MANUAL

Para a construção da base teórica deste trabalho, além de consultas a artigos relacionados ao setor vidreiro. Essas bases permitiram a mensuração e análise da necessidade de automação dentro dessas empresas. Os resultados serão



apresentados posteriormente no capítulo 4.

Com base nas observações realizadas, ficou evidente que o setor de lapidação do vidro apresenta maior carência de automação e é também o mais suscetível a acidentes. Esse risco está diretamente relacionado ao tipo de esforço físico exigido para movimentar e virar grandes chapas de vidro, além da necessidade de muitos operadores, que varia conforme o tamanho e espessura do vidro.

Para a coleta de dados nesses ambientes industriais, foi realizada uma mensuração manual da capacidade de produção no setor de lapidação, com um lote de peças de dimensões variadas, onde o manuseio das peças era realizado totalmente de forma manual pelos operadores.

O método consistiu na contagem das peças finalizadas durante um intervalo de 1 hora. Cada peça concluída teve suas dimensões registradas, o que permitiu calcular, posteriormente, a produção total em metros quadrados de vidro. Esse processo estabelece uma linha de base de desempenho sem automação, permitindo comparações futuras com os resultados de uma simulação automatizada.

Para garantir a precisão dos dados, as informações foram registradas em tempo real utilizando imagens capturadas por meio de um telefone celular, além de anotações feitas manualmente em um bloco de notas.

Esses registros servirão como referência para a análise comparativa, proporcionando uma visão clara do impacto da automação em termos de produtividade e segurança. A comparação entre o cenário atual, com movimentação manual, e o cenário simulado, com robôs, ajudará a evidenciar as melhorias que a automação pode trazer, principalmente em setores críticos como o de lapidação do vidro.

3.2 SELEÇÃO DO MODELO DO ROBÔ

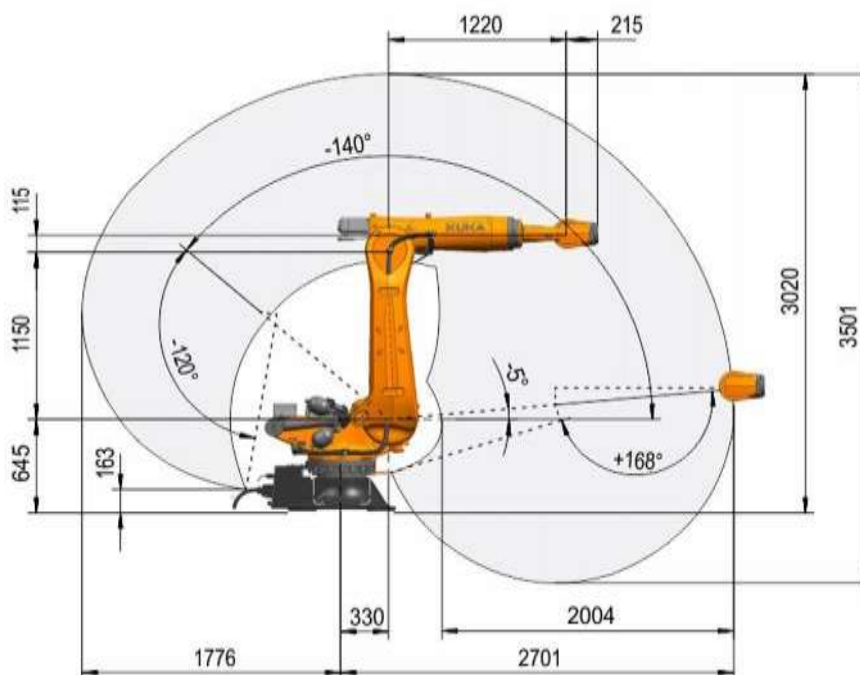
Para iniciar a automação no processo de lapidação, a primeira decisão importante é a escolha do robô, considerando sua capacidade de carga e alcance de trabalho. Esses parâmetros são fundamentais para garantir a máxima eficiência e um bom custo-benefício. Além disso, é crucial que o robô seja compatível com as dimensões e características das chapas de vidro, garantindo manuseio seguro e preciso durante todo o processo de lapidação.

A partir de pesquisas e análises, foi possível identificar o robô mais adequado

para o processo de lapidação, cujo trabalho se concentrará na manipulação das chapas. O robô mais indicado para essa tarefa é o KR 210 R2700-2, que combina alta capacidade de carga e grande alcance com eficiência em espaços limitados.

A Fig. 4 ilustra o espaço de trabalho no qual o robô opera com máxima eficiência, garantindo precisão e confiabilidade nas tarefas.

Figura 4 - Espaço de trabalho do robô.

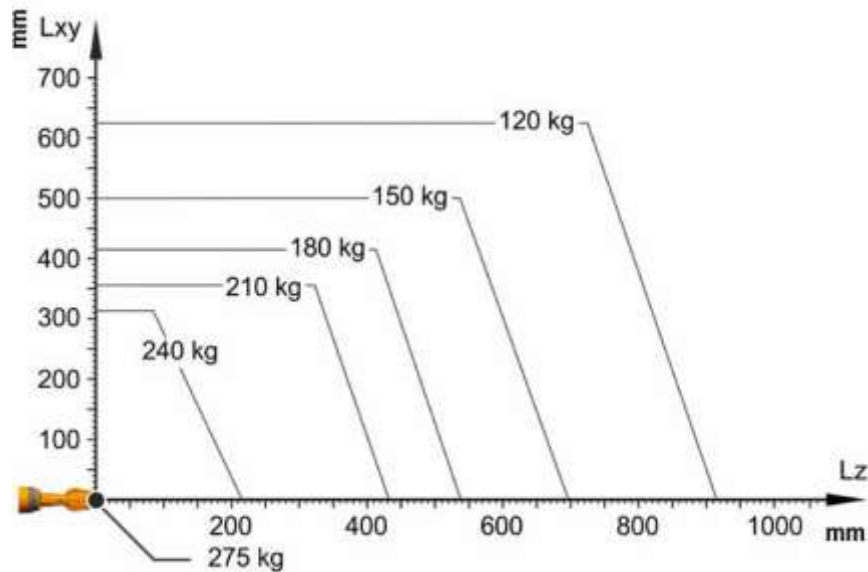


Fonte: KUKA (2024).

Esse modelo atende a uma ampla gama de tamanhos de vidro, de acordo com sua capacidade de carga, e seu alcance se adapta a diferentes tipos de leiaute, proporcionando flexibilidade. Além disso, esse robô é uma versão um pouco mais antiga, e com isso se torna um robô mais acessível encontrado para comercialização de forma fácil, tanto novo, quando um robô que já foi utilizado para algum tipo de tarefa. Esse gráfico é essencial para entender as áreas em que o robô atua de forma ideal, permitindo o planejamento adequado do layout da fábrica. Ao respeitar os limites mostrados na figura, o robô pode executar suas funções de maneira otimizada, assegurando desempenho consistente, minimizando erros e aumentando a produtividade, sem comprometer a qualidade ou a segurança das operações.

A Fig. 5 mostra sua capacidade de carga em diferentes distâncias nos eixos X e Y, evidenciando sua versatilidade.

Figura 5 - Capacidade de carga do robô



Fonte: KUKA (2024).

O gráfico da Fig. 5, demonstra que, quanto mais o braço do robô é esticado, menor é a sua capacidade de carga. Esse fator foi cuidadosamente considerado ao definir o posicionamento e as distâncias do robô em relação às esteiras, de modo que ele sempre opere com movimentos fluidos, mantendo a capacidade máxima de carga.

As peças de vidro podem ter tamanhos e pesos variados. Dessa forma, é necessário calcular o peso da peça utilizada na simulação para garantir que o robô consiga carregá-la sem exceder sua capacidade de carga. A equação para esse cálculo é apresentada na Eq. 1.

$$P = L \times C \times e \times \rho \quad (1)$$

Onde:

P = Peso do vidro (kg);

L = Largura do vidro (m);

C = Comprimento do vidro (m);

e = Espessura do vidro (m);

ρ = densidade do vidro (kg/m³).

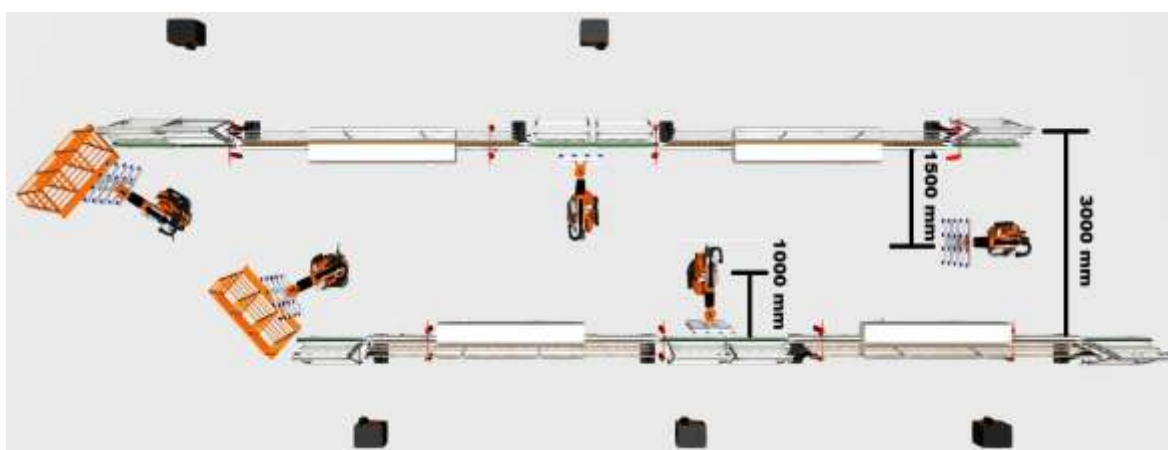
Dessa forma, é possível calcular o peso máximo que a peça de vidro pode atingir, um parâmetro essencial na escolha do modelo de robô adequado para realizar as simulações. Esse dado é crucial para garantir que o robô selecionado tenha capacidade de carga suficiente para manusear a peça de forma segura e eficiente.

3.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO NO AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

Após a seleção do modelo de robô, o próximo passo é a construção de um modelo de simulação que represente fielmente o ambiente de produção da indústria vidreira. Esse modelo será desenvolvido utilizando o *software* de simulação KUKA.Sim, versão 4.3.1, que possibilita a replicação digital do funcionamento da linha de produção, bem como o comportamento dos robôs de forma precisa. Além disso, o mesmo permite realizar ajustes em tempo real, otimizando a configuração do leiaute e o desempenho dos robôs antes da implementação física. Dessa forma, a simulação proporciona maior segurança e eficiência no planejamento da automação industrial. A disposição de todos os componentes está representada na Fig. 6.

Inicialmente, foram feitos uploads dos modelos 3D das máquinas e esteiras, garantindo que a simulação respeite as dimensões reais do ambiente. Após esse processo, os equipamentos foram organizados dentro do espaço virtual, com as máquinas posicionadas em uma disposição de linha em “U”. As máquinas foram organizadas em duas linhas, com um espaçamento de 3000 mm à frente entre uma máquina e outra, enquanto as esteiras laterais conectam os equipamentos, garantindo o fluxo contínuo dos materiais ao longo da linha de produção.

Figura 6 - Leiaute de lapidação com 5 robôs.



Fonte: Do Autor (2024).

Essa configuração visa otimizar o fluxo de produção, permitindo um fluxo contínuo de chapas de vidro entre as máquinas permitindo que em uma alteração futura o processo possa não conter carrinhos, mas sim que os vidros venham diretamente de outros setores, passem pela célula e saiam diretamente para outro

setor.

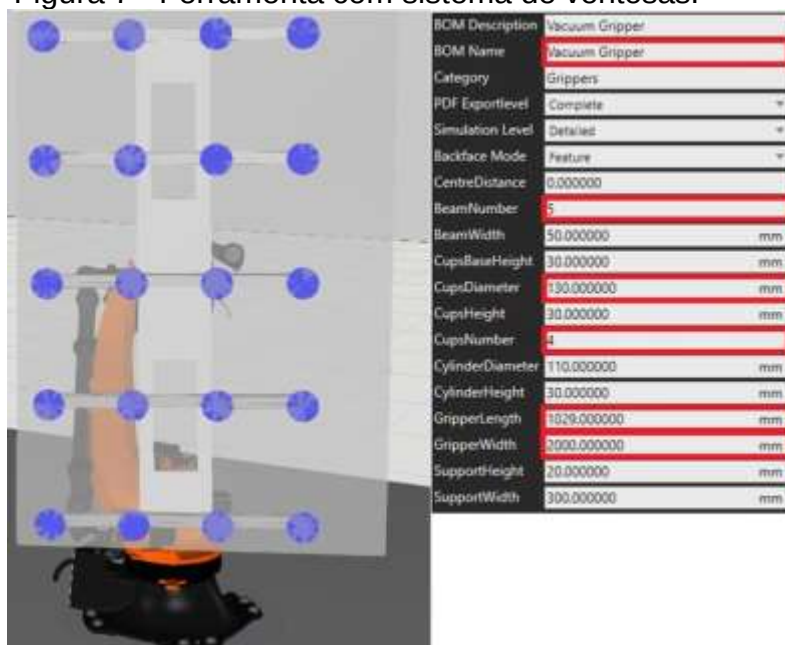
Em seguida, os robôs serão inseridos no ambiente virtual, sempre levando em consideração suas características e especificações técnicas, como alcance, capacidade de carga e tempos de ciclo. Dessa forma apenas um robô fica um pouco mais distante das esteiras a 1500 mm por conta das funções de processo que esse robô possui, todos os outros ficam a uma distância de 1000 mm, sempre considerando o centro de gravidade do robô como referência.

Isso garante que cada robô possa desempenhar suas tarefas com eficiência, minimizando o tempo de inatividade e maximizando a produtividade da linha. Além disso, ajustes na programação dos robôs poderão ser feitos durante a simulação, possibilitando a identificação de melhorias e ajustes necessários antes da implementação física.

3.4 FERRAMENTA

No entanto, é o efetuador ou essa ferramenta que de fato executa o trabalho. Existem diferentes tipos de efetuadores finais nos robôs, cada um adequado para uma tarefa específica, como soldagem, corte, pintura, uso de ventosas, entre outros, dependendo da necessidade da operação a ser realizada. A Fig. 7 apresenta o modelo utilizado durante a montagem no ambiente virtual.

Figura 7 - Ferramenta com sistema de ventosas.



Fonte: Do Autor (2024).



O software de simulação de robôs da KUKA disponibiliza, em sua biblioteca, uma ferramenta chamada "Vacuum Gripper". Essa ferramenta é essencial para simulações que envolvem o manuseio de materiais, onde a precisão e a segurança no transporte são fundamentais. A ferramenta pode ser facilmente personalizada, permitindo ajustes em propriedades como suas dimensões, a quantidade de fileiras e o número de ventosas. Essa representação foi crucial para validar o desempenho do robô nas simulações, garantindo sua adequação ao espaço disponível e às exigências do processo produtivo.

No setor vidreiro, onde a manipulação de materiais delicados é essencial, o uso de ventosas de borracha com sistema de vácuo para segurar o vidro e de sopro para soltar, destaca-se como a melhor opção para garantir a segurança no manuseio do vidro. Um sistema de vácuo anexado ao robô cria um vácuo que proporciona a aderência necessária para segurar as peças de vidro com firmeza, reduzindo o risco de escorregamento ou quebra. Este sistema é particularmente eficiente porque, além de segurar o vidro com precisão, distribui a força de forma equilibrada sobre a superfície do material.

Devido ao tamanho considerável das peças de vidro envolvidas nesse tipo de operação, a garra precisa ter dimensões cuidadosamente projetadas para garantir que o vidro seja segurado de maneira estável durante o movimento do robô. A garra utilizada nas simulações foi adaptada com dimensões de 1029 mm x 2000 mm, o que possibilita uma cobertura ampla da superfície da peça de vidro, assegurando que ela permaneça firmemente presa em todas as etapas de movimentação.

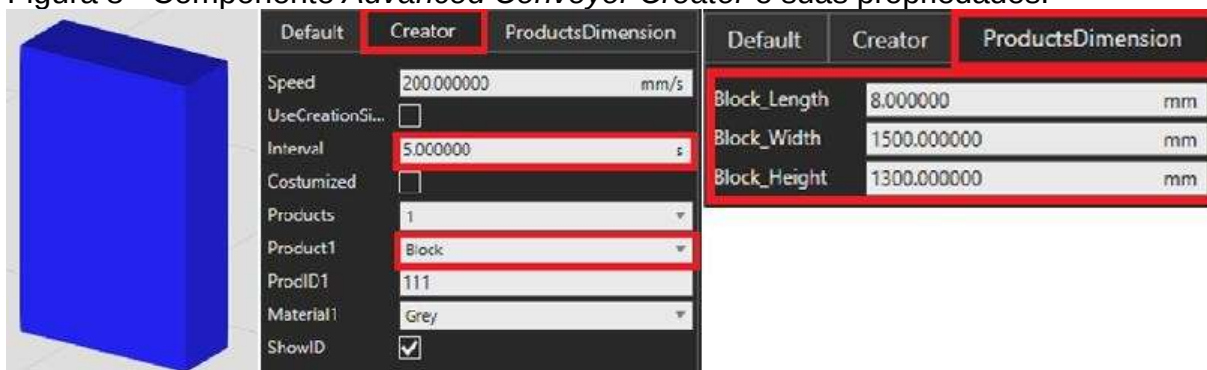
Além do tamanho da garra, outros fatores, como o peso do vidro e sua fragilidade natural, foram levados em consideração na escolha da ferramenta. Essas variáveis influenciam diretamente o modo como o robô manipula cada peça, uma vez que é preciso garantir que a força aplicada durante o manuseio seja suficiente para segurar o vidro, mas não tão grande a ponto de danificar a estrutura do material.

3.5 EXECUÇÃO DA SIMULAÇÃO NO SOFTWARE KUKA.SIM

Após o posicionamento de todos os componentes que serão utilizados na simulação, inicia-se a etapa da simulação propriamente dita. Esse processo envolve a programação dos robôs e a movimentação e criação de peças virtuais. O software

disponibiliza, em sua biblioteca, diversas ferramentas que auxiliam na montagem da simulação, facilitando o trabalho com os elementos necessários para a automação. A Fig. 8 mostra o componente utilizado para criar as peças e quais propriedades foram utilizadas.

Figura 8 - Componente *Advanced Conveyor Creator* e suas propriedades.



Fonte: Do Autor (2024).

Um dos recursos oferecidos é o objeto "Advanced Conveyor Creator", responsável por gerar peças com configurações predefinidas, permitindo que elas sejam criadas conforme intervalos de tempo programados ou através de sinais enviados pelo robô.

Na simulação, as peças foram programadas para serem criadas a cada 10 segundos, de modo a manter um fluxo constante de peças disponíveis para o robô manipular pois este era o recurso disponibilizado pelo programa para simular o ambiente real onde as peças serão alimentadas através de um carro móvel que será gabaritado na entrada da célula e o robô retiraria a peça desse carro.

O tamanho das peças foi definido com base nas dimensões obtidas na célula manual. No entanto, a ferramenta utilizada na biblioteca do software não permite a criação de peças de tamanhos variados em sequência; ela permite apenas a criação de diferentes formas, mas não de uma sequência única com tamanhos alternados. Assim, a solução encontrada para resolver esse problema foi calcular uma média aproximada dos tamanhos que passaram pela célula manual e tentar replicar isso nesse objeto, buscando aproximar o resultado da célula real.

Assim, o tamanho utilizado na simulação foi de 1500 mm x 1300 mm, representando uma média aproximada dos tamanhos anotados durante a aquisição de dados da célula manual.

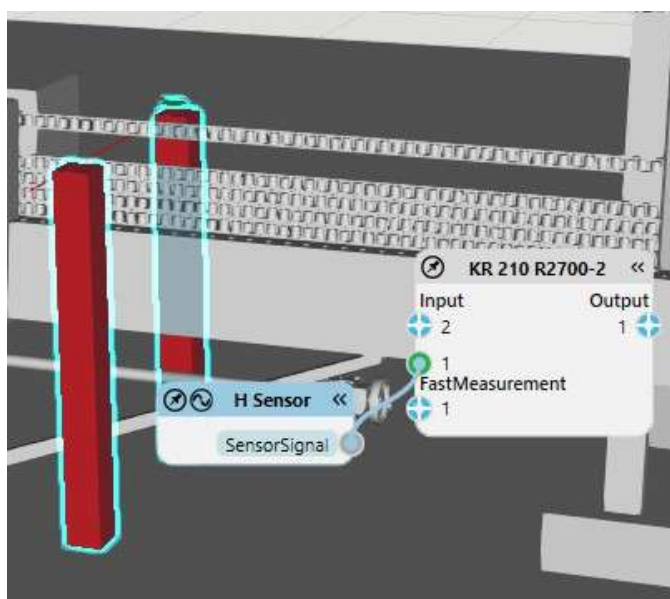
As esteiras, também retiradas da biblioteca do software, foram utilizadas para

movimentar as peças ao longo da célula de produção. Esse recurso permitiu a importação do modelo 3D da máquina estática, enquanto a movimentação ficou a cargo das ferramentas nativas do software. Isso facilitou a simulação do transporte das peças de forma realista, integrando os processos utilizando a velocidade padrão de lapidação que seria algo em torno de 4 m/min.

O software aceita como dado de entrada a velocidade em mm/s. Portanto, para alcançar a velocidade desejada, é necessário converter de mm para m e de segundos para minutos. Dessa forma, obteve-se a velocidade em mm/s, que corresponde à velocidade desejada e é utilizada como padrão no processo de lapidação.

A Fig. 9 ilustra o componente utilizado para identificar as peças e mostra também a ligação desse equipamento com o robô.

Figura 9 - Componente Horizontal Sensor IO e a ligação do sinal com o robô.



Fonte: Do Autor (2024).

Para complementar a simulação, foram utilizados sensores da própria biblioteca do KUKA.Sim, denominados "Horizontal Sensor IO". Esses sensores operam de forma simples: o emissor emite um feixe de laser, e o receptor detecta quando não há nenhum objeto interrompendo o feixe. Caso algo interrompa o laser, o sensor muda para um sinal alto, indicando ao robô que um objeto passou pelo feixe. A função desses sensores é detectar a passagem das peças na esteira e enviar um sinal ao robô, informando quando ele deve pegar uma peça ou aguardar para depositar outra. Esse mecanismo garante a sincronização entre a movimentação das peças e a atuação do robô para efetuar a pega, otimizando o fluxo da linha de produção.

simulada. Na célula real, os sensores que poderiam ser utilizados para a mesma função seriam sensores do tipo fotoelétrico por conta da reflexibilidade do vidro, sensores com emissor e receptor como na simulação e outro tipo seriam as chaves de fim de curso mecânicas, desta forma todos os tipos atenderiam a aplicação.

A Fig. 10 mostra, de forma geral, a organização da programação dos movimentos e da lógica do robô. Os programas foram divididos em funções, com cada conjunto de movimentos do robô separado de acordo com a base específica utilizada para cada programa.

Figura 10 - Programação do robô no software da Kuka.



Fonte: Do Autor (2024).

A interface de programação do software KUKA.Sim, permite a ordem de chamadas de programas. A gravação dos pontos é feita por meio do sistema de coordenadas e inclui informações como a velocidade, a ferramenta utilizada e a base de referência para alcançar o ponto desejado. Dentro de um loop, é possível chamar os programas criados, utilizando lógicas que combinam variáveis internas e sinais de campo, como sensores. Com base nessas funcionalidades, todos os robôs foram programados seguindo a mesma estrutura, aplicando uma lógica de programação específica para as exigências de cada robô.

3.6 COLETA DE DADOS DA SIMULAÇÃO

Para coletar os dados das simulações e posteriormente comparar os dados



obtidos com a célula manual, o método utilizado será semelhante ao anterior, com a diferença de que serão aplicadas as ferramentas disponíveis no software para garantir a máxima precisão e confiabilidade nos resultados.

Os dados serão extraídos da simulação por meio de um sensor localizado no final da célula, por onde passarão as peças finalizadas para que o robô possa manipulá-las até o local indicado. Esse sensor estará conectado a uma entrada, permitindo que o robô identifique uma borda de descida e incremente uma variável que atuará como contador. Dessa forma, ao final do tempo estipulado para a simulação, a variável armazenará o número total de peças lapidadas na célula.

Outra ferramenta disponibilizada pelo software, que permite calcular posteriormente a capacidade de produção da célula, é a medição precisa do tempo decorrido durante a simulação, o que possibilita a determinação exata dos tempos para garantir dados precisos. Além disso, na interface de programação do robô, durante a simulação, é exibido no canto direito o tempo que o robô leva para executar cada movimento. Dessa forma, é possível identificar quais movimentos demoram mais para serem executados e, posteriormente, otimizar essas operações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos por meio das simulações realizadas no software. As etapas serão divididas entre a captação de dados da simulação, performance do robô utilizado, layout da célula, eficácia da ferramenta de manipulação, comparação entre dados reais e virtuais.

4.1 COLETA DE DADOS DA CÉLULA MANUAL

A Tab. 1 apresenta as anotações feitas, utilizado para contabilizar as peças que saíram, fracionado em períodos de 10 minutos.

Tabela 1 - Dados coletados da célula manual.

Tempo (min)	Peças Produzidas (Saída)	Metros Quadrados de Vidro Produzidos (m²)	Número de Trabalhadores na Célula
0-10	8	9,33	10
10-20	11	12,95	12

20-30	11	15,35	10
30-40	12	18,14	13
40-50	12	16,09	11
50-60	11	15,78	12

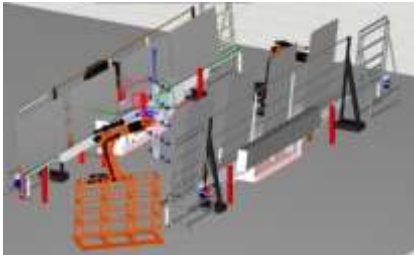
Fonte: Do Autor (2024).

Com esses dados, é possível mensurar a produtividade total durante a 1 hora considerada para a simulação. Como foram utilizados vidros de tamanhos variados, os valores podem variar, mesmo mantendo o número de peças ao longo de um determinado período. O total de peças processadas durante o tempo de simulação foi de 87,67 m²/hora, o que, considerando 8 horas de trabalho por dia, resulta em uma produtividade de 701,32 m²/dia.

4.2 COLETA DE DADOS DA SIMULAÇÃO

A quantidade de peças que foram produzidas pela célula de 5 robôs e pela célula de 2 robôs, está ilustrada no Qd.3 onde através do monitoramento de uma variável é possível saber quantas peças passaram pelo sensor localizado na saída da célula.

Quadro 3 - Layouts com suas capacidades produtivas

Layout	5 robôs	2 robôs
		
Quantidade de peças produzidas	85 peças/hora	47 peças/hora

Fonte: Do Autor (2024).

No layout de 5 robôs, devido ao processo de lapidação ser lento, o robô responsável por retirar as peças fica ocioso por aproximadamente 9 minutos, até que a primeira peça passe por todas as máquinas e chegue ao final para ser retirada. Após esse tempo, o robô 5 permanece ocupado retirando peças enquanto houver peças na



entrada para serem lapidadas, pois, com esse layout, o processo se torna contínuo. Ou seja, se o robô 1 tiver um fluxo constante de peças para alimentar o sistema, após 9 minutos, todos os robôs estarão ocupados executando tarefas.

Assim, a simulação foi executada por 1 hora, ao final da qual 85 peças com dimensões de 1500 mm x 1300 mm passaram pelo processo, conforme ilustrado no Quadro 3, sendo a produtividade foi mensurada em m^2 .

Com esse cálculo, cada vidro utilizado na simulação possui 1,95 m^2 . Assim, é possível mensurar que, com 85 peças, foram processados 165 m^2 /hora. Para obter a produção diária, basta considerar a jornada de trabalho de cada indústria. Utilizando a jornada padrão de 8 horas diárias, a produção totalizaria 1326 m^2 /dia, assumindo que o robô opera ininterruptamente durante esse período.

No layout de 2 robôs, as condições da simulação foram as mesmas: ela foi executada por 1 hora, e então foi feita a contagem de peças na saída. Com essa disposição de robôs e máquinas, o processo funciona de forma um pouco diferente. O robô 1 realiza duas funções: primeiro, ele alimenta as máquinas; em seguida, precisa parar de alimentar para assumir o papel de virar a mesma quantidade de peças que alimentou. Somente após essa etapa ele pode retomar a alimentação das máquinas.

Dessa forma, há um tempo considerável em que novas peças deixam de ser alimentadas no processo, o que reduz um pouco a capacidade de produção da célula. No entanto, esse tipo de layout pode ser uma opção viável dependendo da quantidade de máquinas disponíveis para a automação do processo, da demanda de produção e do investimento que a empresa possui. A produtividade obtida por esse layout foi de 47 peças, totalizando 91,65 m^2 /h, e, em um dia de trabalho, pode alcançar até 733 m^2 /dia.

4.3 PERFORMANCE DO ROBÔ

O modelo escolhido para executar as simulações atendeu a todos os requisitos de maneira muito eficiente. A distância entre as máquinas e a disposição do layout contribuíram para que o robô desempenhasse sua função de forma otimizada.

Quanto à programação das movimentações, como mencionado anteriormente, é possível acompanhar o tempo de cada movimento do robô. Algumas alterações foram realizadas durante a simulação para otimizar os movimentos e garantir que o robô



tivesse tempo suficiente para soltar uma peça e retornar para pegar outra, sem o risco de deixar peças passarem sem realizar a virada necessária para lapidar um novo lado.

4.4 LAYOUT DA CÉLULA

O layout da célula se mostrou muito eficiente. A disposição das máquinas favoreceu bastante a seleção do robô, pois as máquinas estão posicionadas a uma distância que o braço do robô consegue alcançar sem dificuldades e, o mais importante, sem comprometer sua capacidade de carga.

O gabarito, que é onde ocorre a alimentação da célula, precisou ser rotacionado em 45° devido ao alcance do robô. Com essa rotação, a flange do robô fica mais próxima da sua base, o que evita a perda de eficiência na capacidade de carga. Além disso, as peças ficam mais próximas do robô, permitindo uma execução de movimentos mais rápida e, consequentemente, um processo de alimentação de peças mais ágil e eficiente.

De modo geral, as máquinas e esteiras facilitaram a otimização do processo, deixando entre as máquinas o espaço necessário para que o robô pudesse girar a garra com a peça sem risco de colisão. Esse espaço foi preenchido com esteiras para garantir tração suficiente durante a pega e a largada, evitando que a peça fique parada e cause colisões quando o robô estiver executando sua função.

4.5 EFICÁCIA DA FERRAMENTA DE MANIPULAÇÃO

A ferramenta de manipulação utilizada atendeu bem à simulação. No entanto, foi uma ferramenta adaptada da biblioteca do próprio software, o que pode mascarar alguns erros que poderiam ocorrer na execução do projeto no chão de fábrica. O sistema de vácuo, por exemplo, poderia apresentar problemas; em certas situações, dependendo da lógica de programação do robô, isso poderia causar paradas por alarmes e, consequentemente, alterar os números apresentados acima conforme a quantidade de interrupções.

A ferramenta utilizada para a simulação é semelhante ao sistema que seria aplicado na prática, com a principal diferença de que, na simulação, basta acionar uma saída para que qualquer objeto ao alcance das ventosas seja movimentado pela garra. No entanto, para que o processo fosse executado de forma segura e confiável,

seria necessário o acionamento individual de cada ventosa de acordo com as variações no tamanho do vidro. Além disso, seria essencial uma confirmação de que o circuito de vácuo foi fechado corretamente.

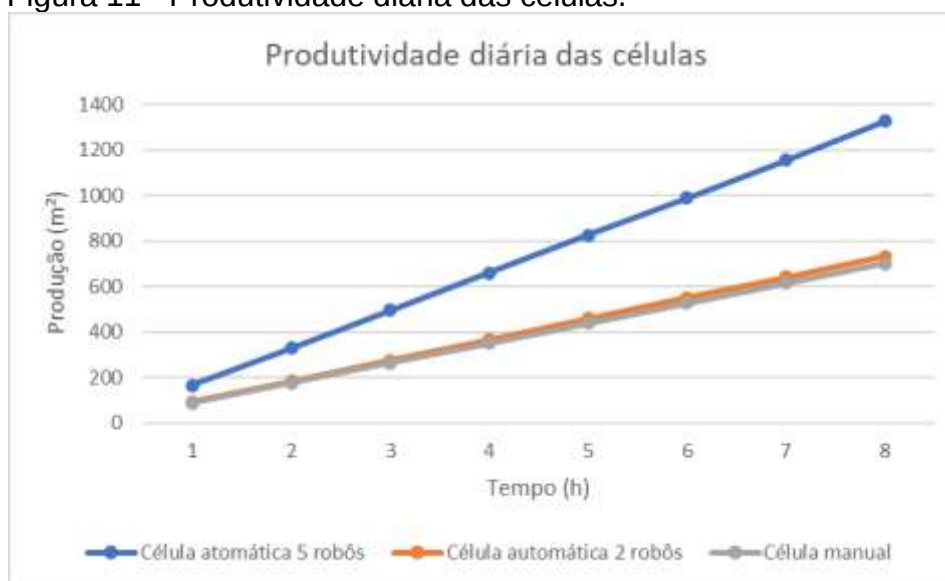
Dessa forma, algumas adaptações seriam necessárias para que o processo funcionasse corretamente, devido a certas limitações do software utilizado. Assim, durante as simulações, independentemente do tamanho da peça ou da garra, sempre que a saída 1 do robô for acionada por meio da programação, qualquer objeto em contato com a garra será preso a ela. Caso o robô se mova, esse objeto será movimentado junto.

Fisicamente, essa garra seria idêntica à necessária para realizar esse tipo de serviço. No entanto, dentro do ambiente de simulação, seu funcionamento acaba sendo um pouco diferente. Na simulação, essa limitação facilita a programação, mas será necessário ter atenção especial durante a transição do ambiente de simulação para o ambiente industrial.

4.6 COMPARAÇÃO DOS DADOS REAIS COM OS VIRTUAIS

Com todos os dados apresentados acima é possível fazer uma breve comparação com os resultados obtidos até agora. A Fig. 11 representa um gráfico onde mostra as produções das 3 células citadas nesse trabalho.

Figura 11 - Produtividade diária das células.



Fonte: Autor (2024).



Para comparar a produtividade entre as células, é necessário considerar alguns pontos. Como o software de simulação possui uma biblioteca própria, o processo de gerar as peças com base nos dados adquiridos da célula manual se torna bastante complicado. Isso ocorre porque o componente utilizado não permite a criação de peças com tamanhos variados, o que gera resultados que não retratam fielmente a realidade.

Para a simulação, foi considerada a dimensão de 1500 mm x 1300 mm, pois é um tamanho compatível com o robô e que ainda exigiria um grande esforço de pelo menos duas pessoas para manusear o vidro corretamente. Em termos de quantidade de peças, a célula com dois robôs acaba produzindo uma quantidade menor. No entanto, ao usar robôs, o manuseio de peças maiores aumenta a produtividade em m², pois, independentemente do tamanho da peça, o robô manuseia vidros grandes e pequenos na mesma velocidade e, conseqüentemente, no mesmo tempo, desde que estejam bem fixados à garra.

Um ponto muito importante a ser observado é que, com a célula de 5 robôs, seriam necessários no máximo 3 trabalhadores para que a operação fosse automática, podendo funcionar normalmente com apenas 2 operadores. Já na célula de 2 robôs, esse número é ainda menor, exigindo no máximo 2 trabalhadores e permitindo que apenas 1 pessoa faça a operação. Comparando isso ao número de trabalhadores necessários na célula manual, que chegou a 13, observa-se que, mesmo com menor disponibilidade de mão de obra, é possível aumentar a produção.

5 CONCLUSÃO

Com base na análise e simulação de robôs realizadas para a implementação de uma célula robótica no setor de lapidação da indústria vidreira, conclui-se que a automação oferece uma solução eficaz para enfrentar os desafios desse setor. A automação permite um aumento considerável na produtividade, dependendo do layout implantado. Além disso, o número de trabalhadores necessários para operar a célula é significativamente reduzido, possibilitando a realocação de colaboradores para outros setores e a manutenção de apenas algumas pessoas para operar os robôs.

O estudo demonstrou que o uso de robôs integrados a sistemas de sensores contribui significativamente para a redução de riscos operacionais e para o aumento



da eficiência. Os riscos seriam drasticamente minimizados, pois, ao implantar a célula no chão de fábrica, seria necessário enquadrar o sistema de segurança conforme as normas regulamentadoras adequadas para esse tipo de aplicação. Dessa forma, a célula só poderia operar quando todos os operadores estivessem em suas áreas demarcadas, consideradas zonas seguras.

A aplicação do software KUKA.Sim para simulação permitiu uma compreensão mais aprofundada das interações entre as interfaces dos robôs e o ambiente de produção, facilitando ajustes e otimizando o layout da célula robótica. Os resultados indicaram ganhos em produtividade, medidos em m², e em segurança, ao eliminar a necessidade de manuseio manual de chapas grandes e pesadas, que representam risco aos operadores. Esse material, sendo extremamente sensível, ao quebrar-se, gera riscos não apenas para quem o manipula, mas também para pessoas próximas, já que o vidro se estilhaça, e esses fragmentos podem atingir aqueles que estão ao redor.

A análise de payback é uma ferramenta valiosa para complementar esta pesquisa, permitindo avaliar a produtividade da empresa e determinar em quanto tempo o investimento em automação seria convertido em lucro. Essa abordagem oferece uma visão do retorno financeiro e dos benefícios econômicos da implementação da célula robótica.

Além disso, incluir uma análise detalhada das normas aplicáveis à robótica seria essencial para garantir a adequação da célula a todos os requisitos de segurança, alinhando o projeto aos padrões regulamentares e evitando possíveis riscos operacionais. Outro aspecto que poderia ser abordado é o dimensionamento de ventosas, para calcular o número exato necessário e definir a melhor disposição, garantindo um manuseio seguro e eficiente dos materiais. Esse estudo ajudaria a otimizar o desempenho da célula robótica e reduzir possíveis falhas no processo de manipulação.

REFERÊNCIAS

ABB. **RobotStudio – O software de simulação e programação offline da ABB.** Disponível em: <https://global.abb/group/en>. Acesso em: 5 dez. 2024.

ABRAVIDRO: Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos. São Paulo, 28 jan. 2021. Disponível em: <https://abرايدرو.org.br/empresas-vidreiras-contam-suas-expectativas-para-2021/>. Acesso em: 07 set. 2024.



ALMEIDA, Nayssa Alem de; FREITAS, João Mário Mendes de. Análise de uma célula robótica no setor de usinagem de peças automotivas através de um modelo de simulação computacional. 2017. 17 f. TCC.

(Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas, Três Pontas, 2017.

AUTOMAÇÃO, Pahc. **Guia sobre robôs industriais: características e exemplos práticos**. Disponível em: <https://pahcautomacao.com.br/>. Acesso em: 5 out. 2024.

AVANTATECH. **Tipos de robôs industriais e suas aplicações**. Disponível em: <https://www.aventatech.com.br/>. Acesso em: 5 dez. 2024.

BAHIA, Jornal. **Conheça os principais tipos de robôs industriais e suas funcionalidades**. Disponível em: <https://jornalbahia.com.br/>. Acesso em: 5 dez. 2024.

BUENO, Rodrigo. Evolução tecnológica e a robótica ao alcance de mais empresas. 2024. Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/24773- evolucao-tecnologica-robotica-ao-alcance-mais-empresas>. Acesso em: 21 ago. 2024.

CAMPOS, Filipe Medéia de. Robôs em Arquitetura: projeto para fabricação e montagem. 2023. 322 f. TCC (Graduação) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2023.

CAPARROSO, Iván Olier *et al.* Una introducción a la Robótica Industrial. **Ciencia e Ingeniería Neogranadina**, Granada, v. 8, n. 1, p. 53-67, ago. 1999. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5313913>. Acesso em: 23 out. 2024.

CARRASQUINHO, Filipe Correia. Ferramenta de Simulação para Robô Industrial. 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de M Ciências de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2015.

EXACTITUDE CONSULTANCY: Mercado de robôs industriais e de serviços por tipo (robôs articulados, robôs SCARA, robôs paralelos, robôs cilíndricos, robôs colaborativos (Cobots)), por canal de vendas (automotivo, elétrico e eletrônico, metais e máquinas, (plásticos, borrachas e produtos químicos), Outros) e Região, Tendências globais e previsões de 2024 a 2030. Reino Unido, 17 fev. 2024. Disponível em: <https://exactitudeconsultancy.com/pt/reports/38268/industrial-and-service-robot-market/>. Acesso em: 08 set. 2024.

FRASCÁ, Greicy Echiley; BRUNO, Diego Renan. AUTOMAÇÃO. Revista Interface Tecnológica, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 639-651, 20 dez. 2021. Interface Tecnológica. <http://dx.doi.org/10.31510/infa.v18i2.1244>.

HEROSOLUTIONS. **Os tipos de robôs industriais**. Disponível em: <https://www.herosolutions.com.br/>. Acesso em: 5 dez. 2024.

KUKA, Deutschland Gmbh. KR 210 R2700-2 Technical data. Disponível em: <https://www.kuka.com/>. Acesso em: 07 nov. 2024.

KUKA. **KUKA.Sim – Software para simulação e programação offline**. Disponível em: <https://www.kuka.com/>. Acesso em: 5 dez. 2024.



LOUREIRO, Cristiana Jesus. Cobots na Indústria 4.0: impactos sociais e económicos. 2018. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Gestão Industrial, Universidade da Beira Interior, Corvilhã, 2018.

O'KANE, J.F; SPENCELEY, J.R; TAYLOR, R. Simulation as an essential tool for advanced manufacturing technology problems. **Journal Of Materials Processing Technology**, [S.L.], v. 107, n. 1-3, p. 412-424, nov. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0924-0136\(00\)00689-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0924-0136(00)00689-0).

OLIVEIRA, Emiliano José Silva de. PENSAMENTO COMPUTACIONAL E ROBÓTICA: UM ESTUDO SOBRE HABILIDADES DESENVOLVIDAS EM OFICINAS DE ROBÓTICA EDUCACIONAL. 2016. 82 f. TCC (Graduação) – Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal da Paraíba, Rio Tinto, 2016.
PAULA, Ana Paula Paes; PAES, Kettle Duarte. Fordismo, pós-fordismo e ciberfordismo: os (des)caminhos da indústria 4.0. Cadernos Ebape.Br, [S.L.], v. 19, n. 4, p. 1047-1058, dez. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1679-395120210011>.

PEDERNEIRA, Gabriela. **O que é e qual a importância da simulação computacional**. 2022. Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/22248-o-qual-importancia-simulacao-computacional>. Acesso em: 29 set. 2024.

PINTO, Tiago Loureiro Figaro da Costa. **Avaliação de Desempenho de Robôs Industriais Utilizando um Braço de Medição Portátil**. 2001. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Metrologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

QUEIRÓZ, Maria de Fátima F; MACIEL, Regina Heloísa. Condições de trabalho e automação: o caso do soprador da indústria vidreira. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 1, n. 35, p. 1-9, set. 2001.

RIBEIRO, Marco Antônio. Automação Industrial. 4. ed. Salvador: Érica, 1999.
RIVIN, E. Mechanical Design of Robots. New York: McGraw-Hill Inc, 1997.
ROBODK. **RoboDK – Plataforma de programação e simulação de robôs industriais**. Disponível em: <https://robodk.com/>. Acesso em: 5 dez. 2024.

SIMPLÍCIO, Paulo Victor Galvão; LIMA, Beatriz Rêgo; JUNKES, Janaína Accordi. MANIPULADORES ROBÓTICOS INDUSTRIAIS. **Ciências Exatas e Tecnológicas**, Aracaju, v. 3, n. 3, p. 85-94, 2 out. 2016.
SOARES, Luiz Fernando Gomes. **Modelagem e Simulação Discreta de Sistemas**. São Paulo: Campus, 1992.

UNIVERSAL ROBOTS. **UR Simulate – Simulador para robôs UR**. Disponível em: <https://www.universal-robots.com/>. Acesso em: 5 dez. 2024.
VDI: Aumento no mercado de robótica e automação em 2022. São Paulo, 17 ago. 2022. Disponível em: <https://www.vdibrasil.com/aumento-no-mercado-de-robotica-e-automacao-em-2022/>. Acesso em: 08 set. 2024.

VIDRO IMPRESSO. São Paulo, 23 maio 2022. Disponível em: <https://vidroimpresso.com.br/industria-de-vidro-retoma-mercado-com-expansao-do->



varejo-alimentar/. Acesso em: 07 set. 2024.

VIEIRA, Guilherme Ernani. Uma revisão sobre a aplicação de simulação computacional em processos industriais. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., 2006, Bauru. Anais [...]. Bauru: Simpep, 2006. p. 1-10.

WILSON, Mike. Implementation of Robot Systems: an introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing. London: Elsevier, 2015. 201 p

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela força espiritual durante toda a minha jornada acadêmica. Sem essa fé e perseverança, não teria conseguido superar os desafios e alcançar minhas metas. À minha família, expressei minha gratidão pelo suporte incondicional e encorajamento constante ao longo dos meus estudos.

Agradeço à UniSATC pela oportunidade de aprendizado e crescimento acadêmico proporcionada pela instituição, que me permitiu desenvolver uma nova visão, especialmente sobre o avanço da tecnologia, contribuindo para meu crescimento como acadêmico e profissional.

A FAPESC que através do edital Nº 50/2024 proporcionou contribuir com o desenvolvimento da proposta.