

EXPLORANDO O USO DO BPMN PARA MAPEAR A IMPLEMENTAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E REALIDADE AUMENTADA EM LINHAS DE MONTAGEM: UM ESTUDO DO PROCESSO DE MONTAGEM DO TRUCK

RESUMO

A evolução da indústria manufatureira está diretamente relacionada à revolução tecnológica conhecida como Indústria 4.0. Essa transformação representa uma mudança significativa na forma como as fábricas operam, impulsionada pela integração de tecnologias avançadas, automação e digitalização. Um aspecto fundamental da Indústria 4.0 é a aplicação de processos de fabricação mais eficientes, flexíveis e personalizados. Processos para serem melhorados precisam ser conhecidos, uma vez que há diversas metodologias de mapeamento e modelagem de processos, o objetivo deste trabalho é explorar a metodologia BPMN (Business Process Model and Notation) como etapa inicial na transformação digital de processos de montagem. Neste sentido, o presente artigo visa realizar um estudo de caso do processo de montagem de um Truck de impressão 3D por meio da utilização da ferramenta de modelagem BPMN para a implantação tecnologias avançadas de IA e RA em linhas de montagem.

Palavras chaves: *Indústria 4.0, Inteligência Artificial, Realidade Aumentada, BPMN, Montagem Industrial.*

1. INTRODUÇÃO

As transformações que estão atualmente transcorrendo no cenário industrial estão desempenhando um papel fundamental na consolidação da Quarta Revolução Industrial ou, "INDÚSTRIA 4.0" (CASSAPO, 2016; CORRÊA et al., 2022). A quarta revolução industrial tem redefinido o cenário manufatureiro por meio da integração de tecnologias avançadas, como a Internet das Coisas (IoT), a computação em nuvem, a realidade aumentada, a análise de big data e a Inteligência Artificial (IA).

A indústria manufatureira moderna enfrenta constantes desafios no que diz respeito à eficiência e otimização dos processos de produção. Na presente fase de concorrência, é uma demanda contínua para as empresas garantirem sua sobrevivência e que façam uso eficaz de todos os seus recursos de produção, incluindo máquinas, trabalho humano e matérias-primas, como observado por KODALI e CHANDRA (2001). Um aspecto crucial dentro desse contexto é o processo de montagem, que muitas vezes envolve uma complexa sequência de passos interdependentes. Nesse cenário, a utilização de tecnologias de Inteligência Artificial tem se destacado como uma abordagem promissora para a otimização e aprimoramento dos processos de montagem industrial através dos denominados sistemas de apoio à montagem (THAMM et al., 2021).

A capacidade da IA em lidar com grandes volumes de dados e realizar análises complexas a torna uma ferramenta valiosa na identificação de padrões e na geração de insights para melhorar a eficiência operacional. Complementarmente, a combinação da Realidade Aumentada (RA) e da IA traz inúmeros benefícios para otimizar os processos de montagem industrial. Isso se traduz em um aumento notável na eficiência da produção, reduzindo o tempo necessário para montar produtos e minimizando erros, o que, por sua vez, aprimora significativamente a qualidade dos produtos finais.

O Business Process Model and Notation (BPMN) é uma linguagem gráfica que se estabeleceu como um padrão para a representação de processos, com o objetivo principal de facilitar a padronização do mapeamento de processos. Além de fornecer essa uniformidade, o BPMN também se destaca por sua capacidade de simplificar a compreensão e aprimorar a comunicação, permitindo a representação clara de processos tanto internos quanto externos de uma organização (GALLO, 2012). Quando se trata de aplicar o BPMN no contexto da montagem de processos conduzidos por inteligência

artificial, essa notação se torna uma ferramenta valiosa. Através dela, é possível descrever de forma precisa e visual as etapas envolvidas na montagem automatizada de tarefas.

Este artigo, se concentra em explorar a aplicação do treinamento de IA de processos de montagem, com foco especial no estudo de caso conduzido no âmbito do Projeto AuQua (Advanced Quality Assurance in Global Value Networks) da Universidade de Brasília, em parceria com a RWTH de Aachen. O projeto AuQua visa desenvolver abordagens inovadoras para a automação industrial e a qualificação de profissionais, abrangendo diversos setores da indústria manufatureira que busca não apenas avançar no conhecimento científico, mas também fornecer soluções práticas para os desafios enfrentados pela indústria.

Neste artigo, a montagem de um Truck em impressão 3D foi selecionada como caso de estudo em que foi utilizada a notação BPMN para mapear o processo de montagem. O mapeamento detalhado desse processo, por meio da notação BPMN, proporciona uma compreensão completa das etapas envolvidas para a montagem do objeto, das interações entre os componentes e das dependências sequenciais que serão realizadas pela IA. Este estudo contribui para a literatura ao apresentar uma abordagem inovadora que integra a Inteligência artificial e a modelagem BPMN no treinamento de processos de montagem industrial.

O artigo é concluído com as considerações relativas a trabalhos futuros que permitam a integração da metodologia aqui apresentada com sistemas de inteligência que deem suporte às atividades de montagem.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1. Desafios da Indústria em processos de montagem

A indústria moderna enfrenta pressões crescentes para produzir produtos de alta qualidade, eficientes em termos de custos e, muitas vezes, altamente personalizados. A montagem de produtos em linha de produção desempenha um papel crucial nesse contexto, mas está longe de ser livre de desafios (BENITEZ et al. 2020).

Assim, os processos de montagem industrial enfrentam uma série de desafios relacionados a falhas, que incluem erros humanos, variações de processo e problemas de qualidade. Estes podem resultar em produtos defeituosos, retrabalho e perda de eficiência.

Detectar e corrigir essas falhas de maneira oportuna é crucial para manter a qualidade do produto e evitar custos adicionais (THAMM et al., 2021).

Na indústria atual, a interação Homem-Máquina é complexa. Os operadores ainda desempenham um papel vital em tarefas que requerem julgamento humano e habilidades táteis. Sendo assim, as tecnologias ainda são dependentes de validação externa, a qual está sujeita a erros humanos e sistêmicos. Além disso, os sistemas automatizados podem falhar, e a manutenção e o reparo requerem especialização e tempo, o que pode causar interrupções na produção (ABRAHÃO et al., 2021).

Dessa forma, pode-se dizer que existe um movimento de uma crescente demanda por processos de montagem mais eficientes, com menor tempo de produção e menor probabilidade de erros pela indústria moderna, sendo perceptível que as soluções possuem grande potencial de desenvolvimento para expandir seu espectro de eficiência e operabilidade nos setores manufatureiros (THAMM et al., 2021).

2.2. Importância da utilização de tecnologias da indústria 4.0 para aumento da eficiência dos processos de montagem.

A eficiência operacional é uma métrica crítica para a competitividade das empresas industriais. De acordo com uma pesquisa realizada por Schuh et al. (2017), a Indústria 4.0 proporciona a automação avançada, permitindo a otimização dos processos de montagem por meio da integração de sistemas de produção, controle de qualidade e logística. Isso resulta em uma redução significativa nos tempos de ciclo e na minimização de desperdícios, aumentando a eficiência global dos processos de montagem.

A pesquisa conduzida por Lu et al. (2018) demonstrou que a Indústria 4.0 possibilita a implementação de sistemas de manutenção preditiva, que monitoram o estado de máquinas e equipamentos em tempo real. Isso ajuda a prevenir falhas inesperadas, reduzir paradas de produção não programadas e diminuir os custos de manutenção.

Segundo Kagermann et al. (2013), a Indústria 4.0 permite a implementação de sistemas de inspeção automática baseados em visão computacional e aprendizado de máquina, garantindo que cada componente seja montado com precisão e que produtos defeituosos sejam identificados e descartados durante o processo de montagem. Isso resulta em produtos de alta qualidade e em uma redução nas taxas de rejeição.

Um caso notável é a Bosch, que implementou tecnologias da Indústria 4.0 em suas linhas de montagem, resultando em um aumento de 25% na produtividade e uma redução de 50% nos custos operacionais (Bosch, 2020). Uma tendência emergente é a aplicação de inteligência artificial e análise de big data na otimização dos processos de montagem nos chamados sistemas de apoio à montagem (THAMM et al, 2021). Essas tecnologias permitem a tomada de decisões em tempo real com base em dados precisos, melhorando ainda mais a eficiência e a qualidade (Büyüközkan & Göçer, 2021).

2.3. Aplicação de modelos de notação de processos BPMN para mapeamento de tarefas.

A prática de modelagem de processos possui uma extensa trajetória, tendo sido empregada tanto em cenários relacionados à Tecnologia da Informação quanto no âmbito do desenvolvimento organizacional por um período que abarca, no mínimo, desde os anos 1970. (Harmon 2014; Rosemann e vom Brocke 2014). A notável importância da modelagem de processos reside na sua capacidade de aperfeiçoar a eficiência, a transparência e o desempenho de operações comerciais e processos organizacionais (Aalst, 2013).

A melhoria dos processos envolve aprimorar a eficiência e a eficácia do fluxo de atividades que ocorrem desde a solicitação até a entrega do serviço" (STADLER, 2008). A adoção de uma notação gráfica formal para representar fluxos de atividades e processos de negócios enriquece a descrição dos processos, tornando-os, na maioria das situações, autoexplicativos, reforçando assim a clareza e o propósito desejado (CHINOSI; TROMBETTA, 2012). Diante disso a modelagem de Processos de Negócio através da notação BPMN (BPMN - Business Process Model and Notation) torna-se uma ferramenta fundamental para a gestão eficaz e eficiente das operações de uma organização.

A modelagem BPMN fornece uma linguagem comum que pode ser compreendida por todos os membros da equipe, independentemente de sua formação ou departamento. Conforme afirmou Rosemann e zur Muehlen (2005) em seu artigo "The Role of BPMN in the Modeling of E-Business Processes", a notação BPMN "ajuda a superar barreiras de comunicação". As organizações podem facilmente ajustar seus processos conforme as necessidades mudam. De acordo com van der Aalst (2013) em "Business Process Management: A Comprehensive Survey, o modelo BPMN permite que as organizações

se adaptem a novas regulamentações e requisitos de mercado de forma mais ágil, e adicionalmente a notação permite integração com outras ferramentas empresariais por meio de extensões em XML (Extensible Markup Language).

3. METODOLOGIA

O estudo de caso foi conduzido por meio do processo de construção de um caminhão que utiliza tecnologia de impressão 3D, tendo sido desenvolvido especificamente para a aplicação de IA em montagem. Neste trabalho, o enfoque é detalhar o mapeamento de processo realizado em BPMN fornecendo uma descrição minuciosa da sequência de montagem mais eficiente a ser inserida nos sistemas de Inteligência Artificial (IA) e Realidade Aumentada (RA) a serem utilizados. Neste contexto, foi realizado um estudo de caso de natureza prática, com um objetivo descritivo e uma abordagem qualitativa (GIL, 2008). Para conduzir a pesquisa, diversas etapas foram necessárias, incluindo a definição teórica, a impressão das peças, a montagem das peças, a determinação da sequência ótima, a criação de um diagrama do processo de montagem utilizando BPMN e, por fim, a análise do trabalho com vistas à implementação das ferramentas de IA e RA.

3.1. Montagem do protótipo

Com o objetivo de desenvolver o estudo para aplicação da IA e RA no processo de montagem industrial, foi desenvolvido um protótipo por meio de impressão 3D em laboratórios vinculados às Universidades de Aachen, Alemanha e de Brasília. As peças foram impressas a partir de um modelo construído no software Solidworks.

As peças foram modeladas e impressas tendo como foco a possibilidade de montagem e intercambialidade de maneira prática, de maneira a facilitar os processos de detecção a serem realizados pelas tecnologias de interface robótica e realidade aumentada, com apoio da inteligência artificial.

3.2. Descrição geral das peças

No processo desenvolvido, o objetivo é a montagem de um caminhão de brinquedo - Truck, com peças móveis e intercambiáveis. Esse processo será transformado em linguagem de programação utilizando XML no software em Python associado ao estudo, após a codificação do mesmo pela equipe de desenvolvedores, que darão sequência ao projeto.

Desse modo, as peças que compõem o caminhão do projeto (“Truck”) estão apresentadas na tabela 1, com sua respectiva identificação numérica.

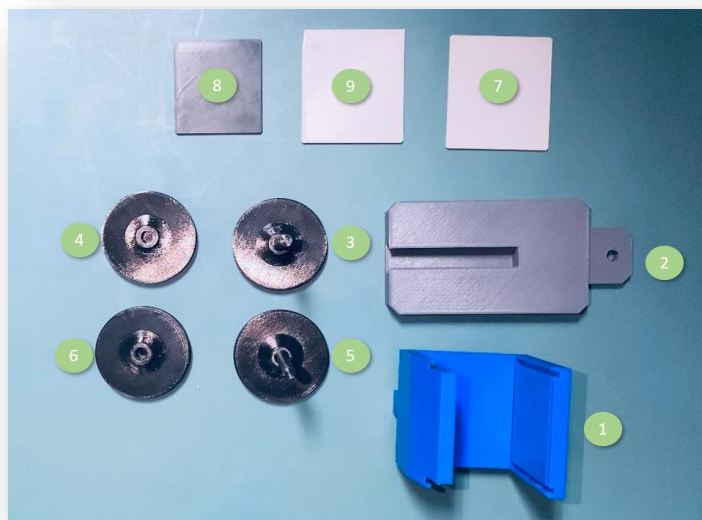
Tabela 1: Identificação e nome das peças

Código Identificação	Nome da peça
1	Cabine
2	Base da Cabine
3	Roda-Eixo 1
4	Roda 1
5	Roda-Eixo 2
6	Roda 2
7	Vidro Esquerdo
8	Teto da Cabine
9	Vidro Direito
10	Trailer
11	Base do Trailer
12	Roda-Eixo 3
13	Roda 3
14	Roda-Eixo 4
15	Roda 4
16	Teto do Trailer
17	Porta Traseira
18	Pino Conector

As peças estão identificadas com código em ordem numérica que segue a ordem de montagem de cada conjunto (cabine – 1 - e trailer - 10), assim como o passo final de conexão de cada um dos conjuntos montados por meio do Pino Conector (18).

Apresentação dos elementos essenciais requeridos para a construção da cabine do caminhão, **Figura 1**.

Figura 1: Disposição das peças - Cabine Truck. Fonte: Autoria própria



Apresentação dos elementos indispensáveis para a montagem do trailer do Truck, Figura 2.

Figura 2: Disposição das peças - Trailer Truck. Fonte: Autoria própria



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da pesquisa conduzida se manifestam não apenas na determinação da sequência de montagem mais eficiente para a montagem do Truck, mas também na criação de uma representação visual do processo de montagem do veículo que serão

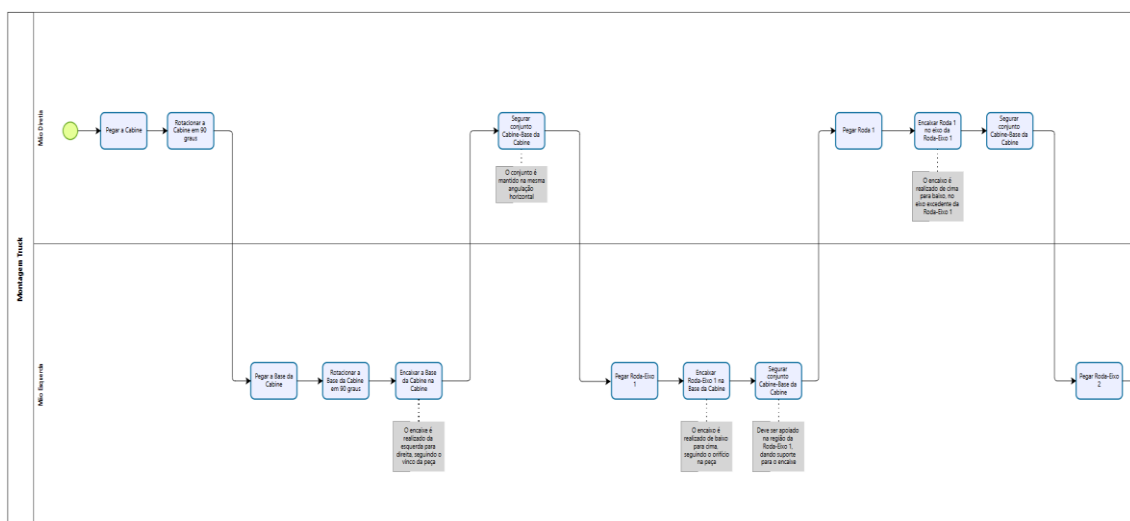
realizadas pela movimentação das mãos, o que posteriormente alimentará os sistemas XML e Python.

4.1. Sequência de montagem do Truck através do BPMN

O processo de montagem do Truck foi modelado utilizando a plataforma Bizagi Modeler, na qual foram descritas as atividades na sequência correta para seleção e encaixe das peças, de modo a montar o caminhão trabalhado no projeto desenvolvido. Dentro do processo para definição da melhor sequência de montagem foram realizados testes e como resultado dos testes foi desenhado o diagrama abaixo representado pelas imagens apresentadas.

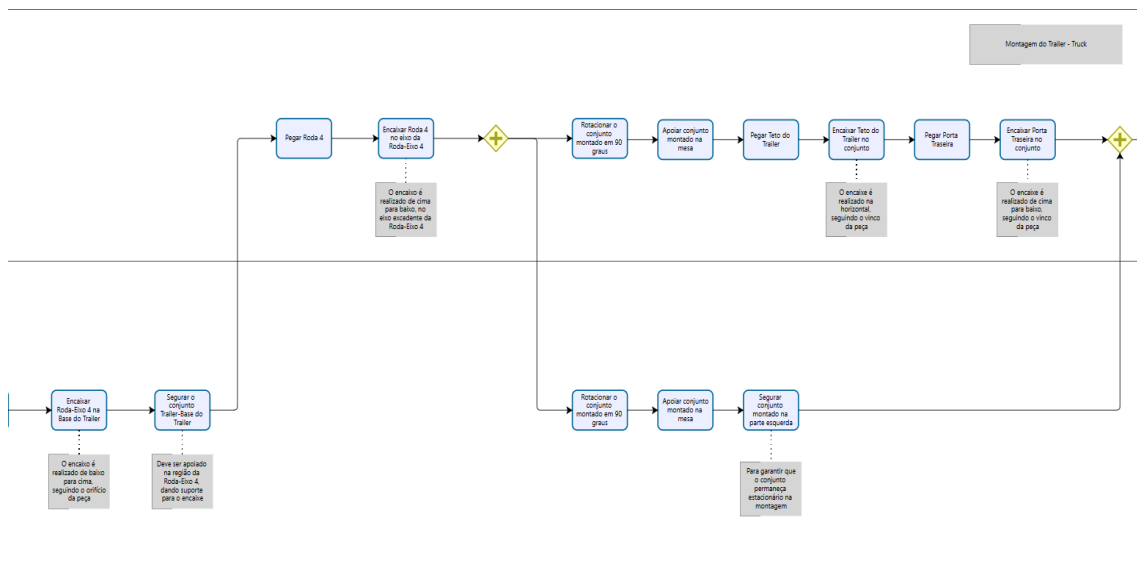
A **Figura 3** apresenta o início do processo de montagem do truck. Os primeiros passos desse processo envolvem a montagem da cabine.

Figura 3: Modelagem BPMN - Montagem Cabine. Fonte: Autoria própria



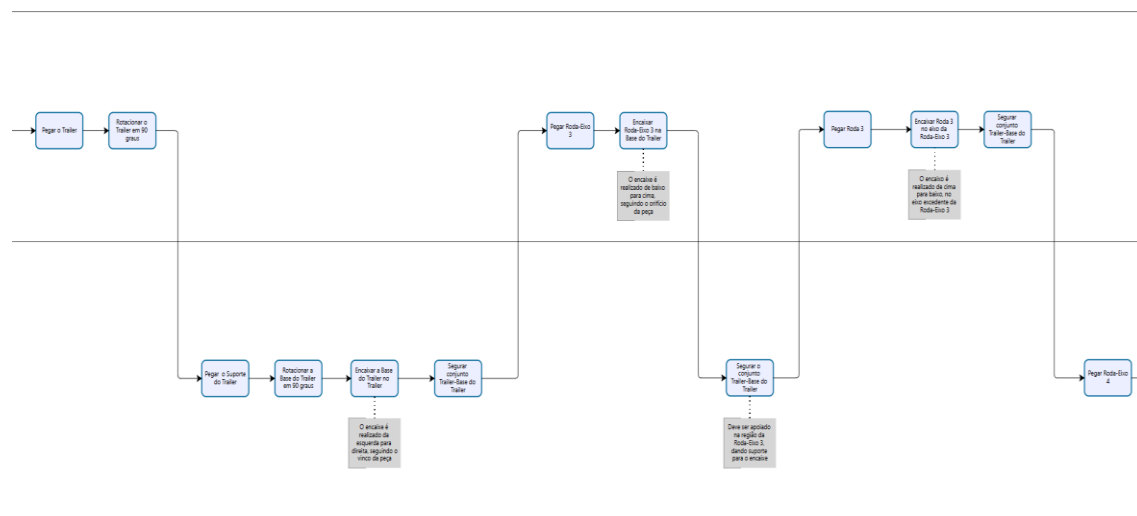
O processo dá sequência ao processo de montagem da segunda parte cabine, representado pela **Figura 4**.

Figura 4: Modelagem BPMN - Montagem Cabine Continuação. Fonte: Autoria própria



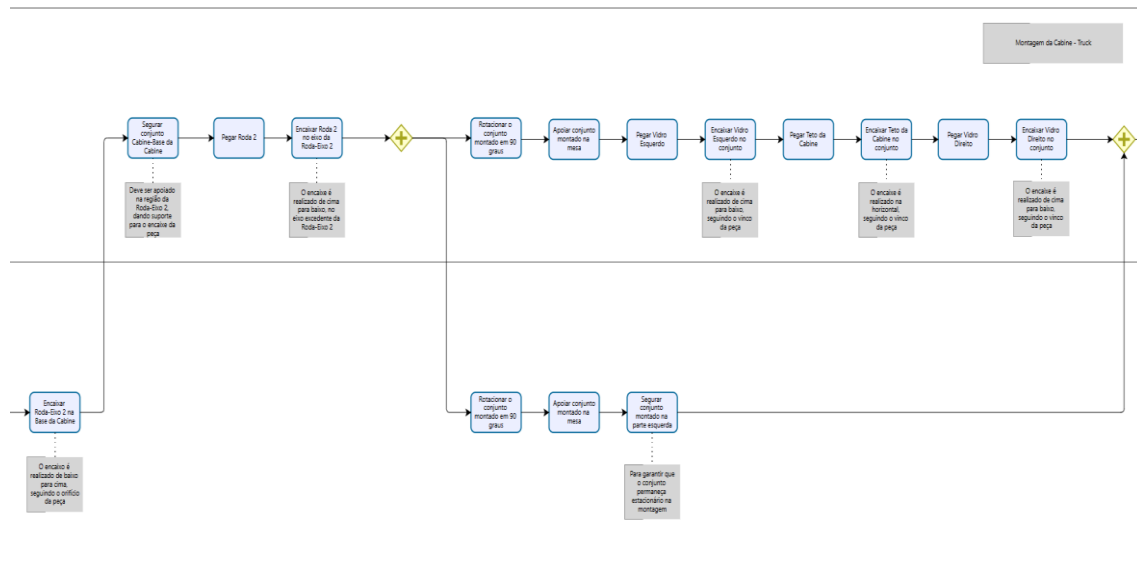
Após o processo de montagem completa da cabine, inicia-se o processo de montagem da primeira parte do Trailer, Figura 5.

Figura 5: Modelagem BPMN - Montagem Trailer . Fonte: Autoria própria



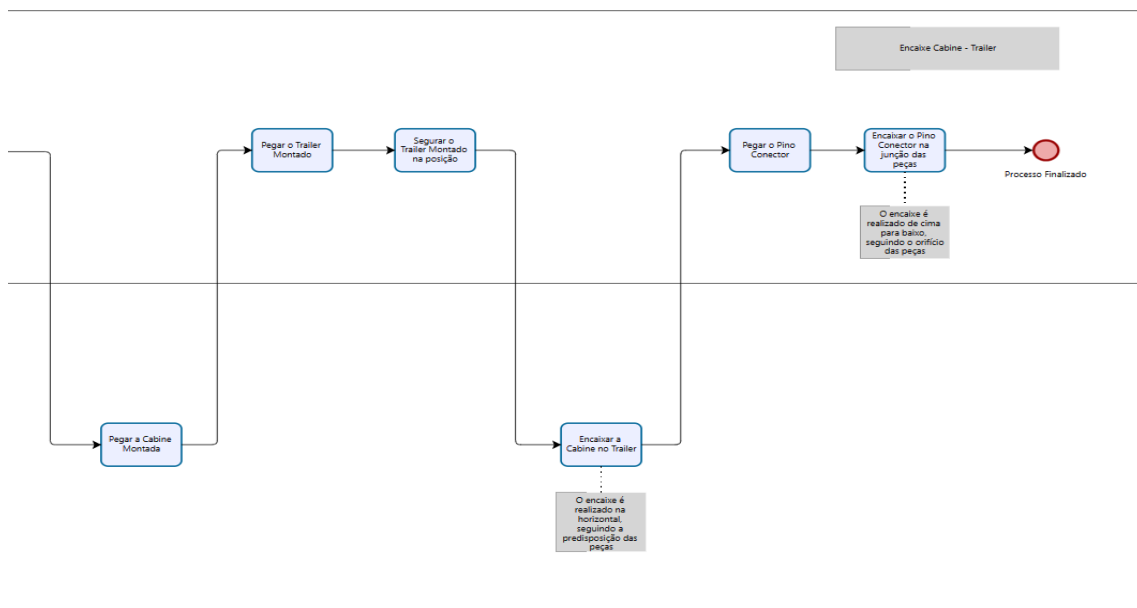
Continuidade do processo de montagem da segunda parte do trailer, **Figura 6**.

Figura 6: Modelagem BPMN - Montagem Trailer Continuação. Fonte: Autoria própria



A fase conclusiva do procedimento de montagem do truck envolve a união da cabine e do trailer utilizando o pino de conexão.

Figura 7: Modelagem BPMN - Junção Cabine e Trailer. Fonte: Autoria própria



4.2. Diagrama das mãos

O diagrama de mãos compreende a análise do passo a passo desenvolvido por cada mão para montagem do protótipo “Truck”, tendo como finalidade segmentar as ações e aprofundar o detalhamento de montagem. Com base nisso, foi estruturada uma codificação para auxiliar no processo de análise de cada mão. O diagrama de mão esquerda – mão direita é uma ferramenta usual em ergonomia, e como o sistema objetiva

processos de montagem manual (Másculo e Vidal, 2011), foi a forma mais concreta de relacionar os procedimentos com o que a inteligência artificial precisa identificar nos processos.

Tabela 2: Codificação de apoio para descrever a ação de cada mão

Código	Descrição
D	Mão Direita
E	Mão Esquerda
Ca	Cabine
BCa	Base da Cabine
RE1	Roda-Eixo 1
R1	Roda 1
RE2	Roda-Eixo 2
R2	Roda 2
VE	Vidro Esquerdo
TCa	Teto da Cabine
VD	Vidro Direito
Tr	Trailer
BTr	Base do Trailer
RE3	Roda-Eixo 3
R3	Roda 3
RE4	Roda-Eixo 4
R4	Roda 4
TTr	Teto do Trailer
PT	Porta Traseira
PC	Pino Conector
P	Pegar
R	Rotacionar
Em	Encaixar
S	Segurar
A	Apoiar
P1	Produto 1 = Cabine+Base da Cabine
P2	Produto 2 = P1+Roda-Eixo 1+Roda 1
P3	Produto 3 = P2+Roda-Eixo 2+Roda 2
P4	Produto 4 = P3+VE+TCa+VD
P5	Produto 5 = Trailer+Base do Trailer
P6	Produto 6 = P5+Roda-Eixo 3+Roda 3
P7	Produto 7 = P6+Roda-Eixo 4+Roda 4
P8	Produto 8 = P7 + TTr + PT
P9	Produto 9 = P4+P8+Pino Conector

4.2.1. Mão direita

A mão direita (D) começa pegando a Cabine (D-Ca-P), rotaciona em 90 graus (D-Ca-R), permitindo a posição para encaixe da Base da Cabine e obtendo como resultado o primeiro conjunto de peças (P1). Em seguida, segura P1 (D-P1-S), enquanto são encaixadas as RE e R. Pega as rodas R para encaixe no eixo da RE (D-Rx-E) (2x). Segura o conjunto formado (P2 e P3) para encaixe das RE (de maneira alternada). Na sequência, rotaciona o conjunto formado (P3) em 90 graus (D-P3-R) e apoia o conjunto na mesa (D-P3-A). A seguir, pega o Vidro Esquerdo (D-VE-P) e encaixa no conjunto P3 (D-VE-En), repetindo esses passos para o Vidro Direito e Teto da Cabine (D,TCa,P), (C,TCa, En), (D-VD-P), (D-VD-En), obtendo-se o conjunto P4.

Posteriormente, a mão direita (D) pega o Trailer (D-Tr-P) e o rotaciona em 90 graus (D-Tr-R). A seguir, pega a Roda-Eixo 3 (D-RE3-P) e a encaixa no produto P5 (D-RE3-En). Posteriormente, pega a Roda 3 (D-R3-P) e a encaixa na RE3 (D-R3-En), formando o produto P6. Em seguida, segura o produto P6 para encaixe da Roda-Eixo 4 (D-P6-S). Pega a Roda 4 (D-R4-P) e a encaixa na Roda Eixo 4 (D-R4-En), para ao final obter o produto P7. Na sequência, rotaciona o conjunto formado (P7) em 90 graus (D-P7-R) e apoia o conjunto na mesa (D-P7-A). A seguir, pega o Teto do Trailer (D-TTr-P) e encaixa no conjunto P7 (D-TTr-En), repetindo esses passos para a Porta Traseira (D, PT, P), (C, PT, En), obtendo-se o produto P8.

Por fim, pega o produto P8 (D-P8-P), segura na posição (D-P8-S) para encaixe de P4. Pega Pino Conector (D-PC-P) e encaixa na junção de P4 e P8 (D-PC-En), formando o produto final P9.

4.2.2. Mão Esquerda

A mão esquerda (E) começa pegando a Base da Cabine (E-BCa-P), rotaciona em 90 graus (E-BCa-R), e encaixa a Base da Cabine na Cabina (E-BCa-En), obtendo como resultado o primeiro conjunto de peças (P1). Na sequência, pega as Roda-Eixo 1 e 2 (E-REx-P) (2x) e encaixa na Base da Cabine (E-REx-En) (2x). Segura o conjunto formado (P2 e P3) para encaixe das Rodas (E-Rx-S) (2x) (de maneira alternada). Na sequência, rotaciona o conjunto formado (P3) em 90 graus (E-P3-R) e apoia o conjunto na mesa (E-

P3-A). A seguir, segura o conjunto para encaixe de VE, TCa e VD (E-P3-S), ao final obtendo-se o produto P4.

Depois, a mão esquerda (E) pega a Base do Trailer (E-BTr-P), rotaciona em 90 graus (E-BTr-R) e o encaixa no Trailer (E-BTr-En), formando o produto P5. Em seguida, segura o produto P5 para encaixe das RE e R (E-P5-S). Pegar Roda Eixo 4 (E-RE4-P) e a encaixar no produto P6 (E-RE4-En). Na sequência, rotaciona o conjunto formado (P7) em 90 graus (E-P7-R) e apoia o conjunto na mesa (E-P7-A). A seguir, segura o conjunto para encaixe de TTr e PT (E-P7-S), ao final obtendo-se o produto P8. Por fim, pega o produto P4 (E-P4-P) e encaixa P4 na posição de P8 (E-P4-En).

5. CONCLUSÃO

O contexto deste artigo é a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0, notadamente a Inteligência Artificial (IA) e a Realidade Aumentada (RA) em processos de montagem industrial. Esse estudo concentrou-se especificamente em um caso prático realizado como parte do Projeto AuQua, da Universidade de Brasília. O estudo de caso apresentado ilustra a integração da modelagem BPMN na otimização dos procedimentos de montagem industrial para posterior aplicação de IA e RA. Um exemplo dessa aplicação foi observado na montagem de um protótipo de "Truck". Durante o desenvolvimento do estudo, foram realizados testes de montagem para determinar a sequência mais eficaz e precisa para a montagem do protótipo. O processo final foi consolidado em diagramas de mão esquerda-mão direita como forma de facilitar a interface com os sistemas IA desenvolvidos no projeto.

A utilização do BPMN (Business Process Model and Notation) proporcionou uma representação organizada e estruturada do fluxo de trabalho, oferecendo uma descrição clara e padronizada das etapas envolvidas na montagem automatizada das tarefas. Como resultado desse processo como um todo, espera-se alcançar uma maior eficiência operacional, a redução de erros e a melhoria da qualidade do produto final em aplicações industriais. Em última análise, essa pesquisa promove uma visão prática do impacto positivo que a integração dessas tecnologias inovadoras pode ter nos processos de montagem industrial, contribuindo para um ambiente de produção mais eficiente e preciso. Demonstra como ferramentas comumente utilizadas na área de modelagem de

processos de negócios podem ser incorporadas na aplicação de habilitadores tecnológicos da indústria 4.0.

Como limitações do trabalho, apontam-se as demandas por realizar a aplicação da metodologia em produtos reais industriais, assim como a integração da etapa realizada com as etapas seguintes de utilização dos arquivos XML relativos aos mapas de mão esquerda-mão direita nos sistemas de IA e RA utilizados no projeto AuQua. Esses são temas de trabalhos futuros, assim como a análise de procedimentos diferentes de montagem sobre os tempos e qualidade da montagem final, e seu impacto nos sistemas de IA a jusante.

6. REFERÊNCIAS

- AALST, V. D.; P, W. M. Business Process Management. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/isrn/2013/507984/>>.
- BENITEZ, G. B. et al. 2020. Industry 4.0 innovation ecosystems: an evolutionary perspective on value co-creation. *International Journal of Production Economics*, 228, 107735. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107735>
- BOSCH. (2020). Bosch Rexroth: Smart Factory Meets Modern Assembly Lines. Disponível em: <https://www.boschrexroth.com/en/us/trends-and-topics/inspire>
- BÜYÜKÖZKAN, G., & GÖÇER, F. (2021). Industry 4.0-Based Production Process Management: A Systematic Literature Review. *Computers in Industry*, 124, 103359.
- CASSAPO, Felipe. Indústria 4.0 – Indústria - em Revista – Abr a Jun/2016 | Ano III nº 10, p. 14 – 20).
- CHEN, C., et al. (2020). IoT-Based Monitoring and Fault Diagnosis for Industrial Equipment. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(7), 4590-4598.
- CHINOSI, M.; TROMBETTA, A. BPMN: An introduction to the standard. *Computer Standards & Interfaces*, v. 34, n. 1, p. 124-134, 2012.
- GALLO, J. Comparativo entre as Versões 1.2 e 2.0 da Notação BPMN e sua aplicação em diagramas de processos de negócios. 2012. 57. Monografia (Especialização em Engenharia de Software) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2012.
- GIL, Antonio Carlos. Métodos e Técnicas de Pesquisa Social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HARMON, P. (2014) The scope and evolution of business process management. In: Brocke J, Rosemann M (eds) Handbook on business process management, vol 1, 2nd edn. Springer, Heidelberg, pp 37–80.

KAGERMANN, H., et al. (2013). Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry; Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. Frankfurt am Main: Acatech - National Academy of Science and Engineering.

KODALI, R.; CHANDRA, S. “Analytical Hierarchy Process for Justification of Total Productive Maintenance”. Production Planning & Control, v. 12, p. 695–705, 2001.

LI, X., et al. (2018). Deep Learning for Defect Detection in Manufacturing: A Survey. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 14(6), 2406-2417.

LU, Y., et al. (2018). Predictive Maintenance Decision-Making for Industry 4.0. Procedia CIRP, 72, 963-968.

SCHUH, G., et al. (2017). Industrie 4.0 Maturity Index – Managing the Digital Transformation of Companies. Cham: Springer.

SMITH, A., & JONES, B. (2019). Advanced Automation in Manufacturing: A Comprehensive Review. International Journal of Robotics and Automation, 34(2), 123-137.

STADLER, Humberto. Estratégias para a qualidade: o momento humano e o momento tecnológico. Curitiba: Juruá, 2008.

ABRAHÃO, SAMUEL RAMIREZ HOHL; CORVELLO, FLAVIA MOTTA; BARBALHO, SANDERSON CÉSAR MACÊDO; HERMOSILLA, JOSÉ LUÍS GARCIA. Melhoria de Processos em uma Linha de Montagem: o uso do VSM como Introdução à Indústria 4.0. In: ENEGEP 2021 Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2021, Online. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2021. v. 41.

CORREA, B. F. ; BARBALHO, S. C. M. ; SILVA, I. A. ; HEINE, I. ; ADAM, T. ; SCHMITT, R. H. . 3D-CUBE Readiness Model for Industry 4.0: technological, organizational and processes maturity enablers. PRODUCTION & MANUFACTURING RESEARCH, v. 10, p. 875-937, 2022.

THAMM, S. ; HUEBSER, L. ; ADAM, T. ; HELLEBRANDT, T. ; HEINE, I. ; BARBALHO, SANDERSON CÉSAR MACÊDO ; VELHO, S. K. ; BECKER, M. ; BAGNATO, V. S. ; SCHMITT, R. H. . Concept for an augmented intelligence-based quality assurance of assembly tasks in global value networks. PROCEdia CIRP, v. 97, p. 423-428, 2021.

MÁSCULO, Francisco Soares; VIDAL, Mario Cesar Rodrigues (Org.). Ergonomia: trabalho adequado e eficiente. 1. ed. Rio de Janeiro: Campus / Elsevier, 2011. v. 1. 420p.