

A IMPORTÂNCIA DO GÊMEO DIGITAL APLICADO NO TESTBED DA UFABC COMO MODELO NO ENSINO DA ENGENHARIA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4635

Rogério Adas Pereira Vitalli - rogerio.vitalli@ufabc.edu.br
UFABC

Thiago Cannabrava de Sousa - thiago.cannabrava@ufabc.edu.br
Universidade Federal do ABC

Ugo Ibusuki - ugo.ibusuki@ufabc.edu.br
UFABC

Resumo: *As inovações tecnológicas revolucionam a forma como produzimos e criamos produtos e serviços na sociedade atual. Dessa forma, são cada vez mais necessárias pessoas capacitadas que entendam os benefícios advindos dos avanços tecnológicos e suas aplicações na prática. Entretanto, disseminar conhecimentos de inovação como as tecnologias da Indústria 4.0 não é uma tarefa simples, dadas as dificuldades que a indústria brasileira apresenta na adoção e utilização desses novos conceitos. Para solucionar essa lacuna, um modelo denominado Learning Factory (LF) parece ser promissor ao associar a teoria dessas tecnologias à prática em ambientes que simulam a realidade da indústria brasileira. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo explorar a implantação de uma Fábrica de Aprendizagem na Universidade Federal do ABC (UFABC). A aplicação de um projeto Digital Twin permitiu identificar que o cenário atual apresenta um conceito técnico bem definido em parceria com a indústria local e um bom portfólio de equipamentos para simular um ambiente de Indústria 4.0.*

Palavras-chave: *Gêmeo Digital, Indústria 4.0, Testbed UFABC*

A IMPORTÂNCIA DO GÊMEO DIGITAL APLICADO NO TESTBED DA UFABC COMO MODELO NO ENSINO DA ENGENHARIA

1 INTRODUÇÃO E REVISÃO DA LITERATURA

A Indústria 4.0, como a quarta revolução industrial, foi iniciada na Alemanha e tem atraído muita atenção em literaturas recentes. A Indústria 4.0 é marcada por processos de automação e digitalização altamente desenvolvidos e pelo uso de tecnologias eletrônicas e de informação (TI) na fabricação e nos serviços (ABDULLAH, 2020). O termo "Indústria 4.0" é fundamentalmente relacionado ao uso de Internet das Coisas (IoT), Sistemas Físico-Cibernético (CPS), Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), Arquitetura Empresarial (EA) e Integração Empresarial (EI) que prometem direcionar muitas mudanças na manufatura (ALCÁCER, et al., 2019, ALEXOPOULOS, et al., 2016, BEECHAM, 2022). Indústria 4.0 define uma série de tecnologias que, embora tradicionalmente não estivessem conectadas, a partir de agora deveriam estar. Uma delas é a comunicação "*Machine to Machine*" (M2M), que permite a troca de dados entre duas máquinas remotas. Isso é conhecido como integração horizontal. Outro conceito introduzido pela indústria é a comunicação "*Machine to Enterprise*" (M2E), focada, entre outros, a coleta de informações. O M2E facilita a realização da integração vertical, que deve alimentar um ambiente de *Big Data*.

A utilização de várias tecnologias que cooperam para fornecer uma comunicação corporativa, pode determinar um aumento de eficiência em vários processos industriais, levando a enormes economias de custos e economias de escala (BEECHAM et al., 2007).

Conforme Beenhausen et al. (2013), existem diferentes arquiteturas de engenharia como referência para a quarta Revolução Industrial. A arquitetura de referência para Indústria 4.0, *Reference Architecture Model for Industrie 4.0* (RAMI4.0) é vista como a arquitetura tridimensional que orienta a integração horizontal, vertical e das fases de ciclo de vida do produto (LINS et al., 2019). De forma semelhante, outros países têm trabalhado em arquiteturas que melhor se adequem à realidade de suas indústrias, como por exemplo: a *Industrial Internet Reference Arquitetura* (IIRA), como arquitetura de referência para o *Industrial Internet Consortium* (IIC) nos Estados Unidos da América (LU et al., 2023). O sistema de controle será desenvolvido, tanto quanto possível, com base nas propostas de Padilha (2019), Silva (2019) e Souza (2022) e na verificação dos paradigmas da Indústria 4.0. O mesmo se aplica para o desenvolvimento do programa de instrução. Por fim, o programa de instrução será executado e validado com base nos paradigmas da Indústria 4.0.

2 MÉTODOS E MATERIAIS

Com base nos conceitos propostos por (GIL, 2002; SILVA; MENEZES, 2005), a presente pesquisa é caracterizada por natureza aplicada, uma vez que objetiva gerar conhecimentos para aplicações práticas e orientada à solução de problemas específicos. Quanto aos objetivos da pesquisa, configura-se em uma pesquisa exploratória, por se tratar de um estudo desenvolvido com a intenção de explorar conhecimento e compreender uma realidade pouco explorada (GANGA, 2012). Em relação a abordagem do problema, pode-se classificar como combinada (quanti-qualitativa). Segundo Cauchick Miguel et al. (2018), a combinação permite entender melhor a solução explorada às vantagens da aplicação da abordagem apenas qualitativa ou apenas quantitativa. Por definição, o método de modelagem e simulação se mostra bem adequado no desenvolvimento do trabalho proposto. O método de modelagem e simulação é empregado quando se deseja experimentar um sistema real através de um modelo, para avaliar como este sistema responderá a modificações que lhe serão impostas (TURRIONI; MELLO, 2012). Para Cauchick Miguel et al. (2018) o método de simulação e modelagem dá a possibilidade de construir modelos que expliquem o funcionamento de todo, ou parte de um sistema produtivo real. Contudo, essa pesquisa também pode ser definida como estudo de caso que, segundo Ganga (2012), é evidenciado como um estudo que constrói, testa e amplia teorias, ao que se refere a explorar e compreender um fenômeno. Para Yin (2015), o estudo de caso pode ser definida por uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de um contexto da vida real, principalmente quando não se há distinção entre os limites do contexto trabalhado e a vida real. Yin (2015) ainda acrescenta que o estudo de caso aborda uma situação tecnicamente única, e que há muito mais variáveis de interesse além de análise de dados, e baseia-se em diferentes fontes de evidências para os resultados. Yin (2011) elenca três tipos de estudo de caso, a depender dos objetivos para o qual ele é usado: exploratório, explanatório e descritivo. Nesse contexto, o estudo de caso exploratório é a abordagem que melhor define essa pesquisa. E, consequentemente, podem ser testados as perguntas norteadoras deste projeto, os procedimentos que serão empregados e proporcionar o aprofundamento no tema de pesquisa.

A modelagem do *Digital Twin* para o sistema automatizado de controle de qualidade de pontos de soldas foi desenvolvida com base em suas contrapartes físicas:

- Robô colaborativo UR3;
- Câmera de vídeo MVisia;
- Leitor RFID;
- Painel de controle contendo o IPC, IHM e o PLC do sistema;
- Base da peça inspecionada e a peça inspecionada com pontos de solda fornecida pela empresa partícipe do projeto;
- Base do robô UR3.

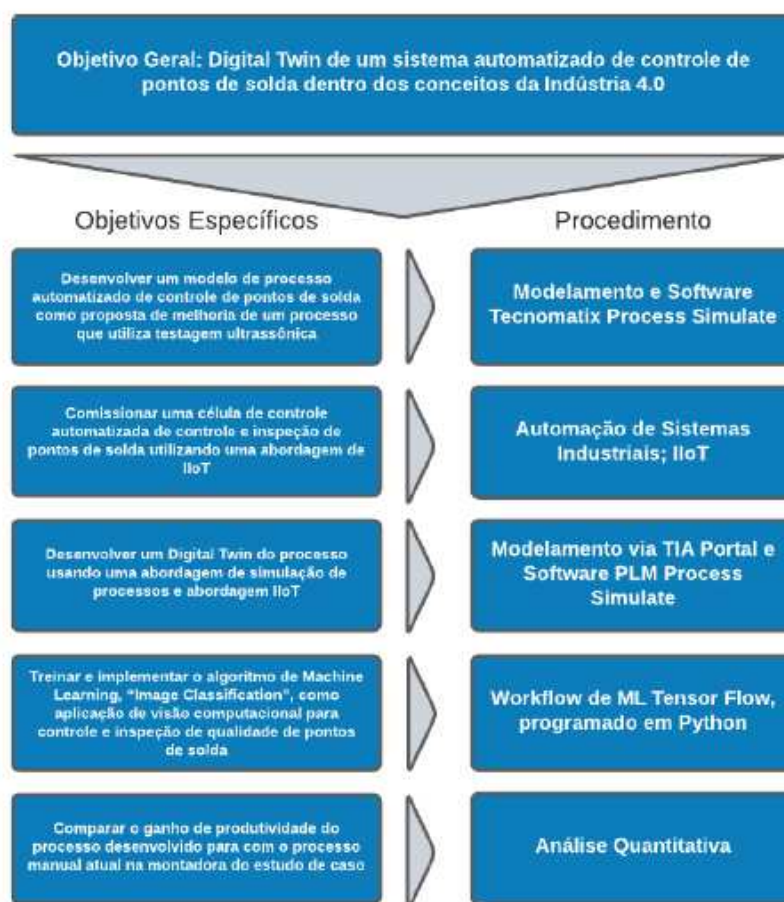
Por meio da abordagem de IIoT, onde foi realizado o comissionamento e entrega da integração das tecnologias mencionadas acima. A integração funcional do sistema ficará disponível para futuras pesquisas em Manufatura Avançada e Indústria 4.0, no Laboratório

de Manufatura Avançada da UFABC, campus de São Bernardo do Campo/SP. Como parte dos esforços para atingir o objetivo geral e específicos desta pesquisa, foram empregados os seguintes procedimentos de pesquisa:

- I. Revisão sistemática de literatura, com o intuito de verificar as lacunas de pesquisa existentes e buscar trabalhos relacionados que possam contribuir com os temas que serão abordados (Indústria 4.0, *Digital Twin*, Controle do processo de soldagem ponto por sistema de visão de máquina);
- II. Mapeamento do processo atual na empresa montadora.

Já com o intuito ilustrar como os objetivos específicos devem ser atendidos, a Figura 1 ilustra os procedimentos utilizados para desenvolvimentos dos resultados de cada objetivo específico.

Figura 1 – Relação entre os objetivos específicos e procedimentos adotados

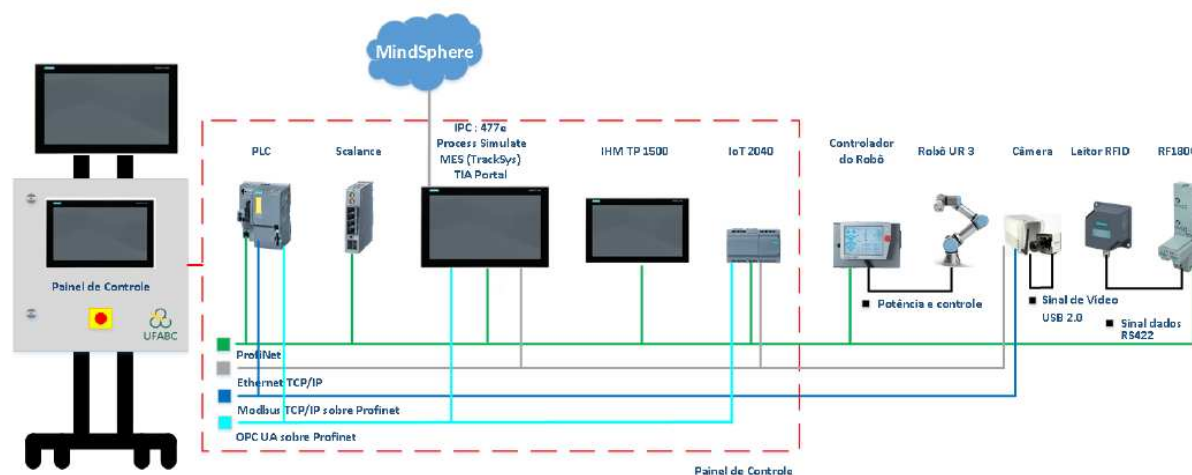


Fonte: (CANNABRAVA, 2022).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A etapa de modelagem CAD e *Digital Twin*, conforme indicado na Figura 2, mostra a proximidade entre a ferramenta de modelagem CAD e Simulação de Processo. Com a modelagem e simulação do *Digital Twin*, foi possível ajustar o modelo das partes que foram fabricadas para o desenvolvimento do projeto. Essa característica permitiu a previsão de condições antes mesmo que as peças fossem fabricadas e assim eliminou a necessidade de retrabalhos nas peças produzidas.

Figura 2 – Sistema de Controle do Testbed da UFABC



Fonte: (SOUSA, T.C.; IBUSUKI, U; CONTE, E. G. DEL, 2020).

A modelagem do processo tem como objetivo modelar e simular o processo automatizado de inspeção e controle de pontos de solda por visão computacional. A partir do desenvolvimento do modelo de simulação, foi possível avaliar variáveis que não poderiam ser avaliadas isoladamente com a ferramenta CAD *SolidWorks*. A primeira variável considerada na modelagem do processo foram as dimensões e furações de posicionamento das bases do robô e da peça. O *Tecnomatix Process Simulate* possui um recurso que permite avaliar a alcançabilidade do robô juntamente da ferramenta de inspeção (câmera), já considerando variáveis como o TCP do robô (Tool Center Point). O TCP do robô é uma entidade de referência de movimentação do robô, o qual influencia o alcance do robô. Sem essa função as furações das bases poderiam comprometer a regulagem de altura do robô e regulagem de posicionamento da base da peça. A depender da regulagem, custos por desperdício de material utilizado na fabricação das bases poderiam ter tido impacto no projeto. As peças foram produzidas sem a necessidade de ajustes posteriores.

Principalmente pela localização da universidade, pelo *networking* dos pesquisadores e pela facilidade de implementação de soluções inovadoras na indústria automotiva, ela foi escolhida como foco para a fase inicial da fábrica de aprendizagem. Com um projeto autoral

e um produto desenvolvido em parceria, a fábrica de aprendizagem está testando agora um robô colaborativo com sistema de visão para inspeção de qualidade de pontos soldados de carrocerias estampadas de automóveis para grande fabricante automotivo. No entanto, uma única indústria não é ampla o suficiente para este projeto, e espera-se que ela se expanda para outros setores, como mecânico, bioengenharia e aeroespacial. O Quadro 1 mostra os desafios do projeto.

Quadro 1 – Resultados do TestBed

Nível de Complexidade	Desafio
Básico	Estabelecimento de comunicação do PLC para com as impressoras 3D do laboratório de Manufatura Avançada da UFABC. Existem 3 impressoras, sendo duas impressoras do modelo <i>DDDrop Evo Twin</i> e uma do modelo <i>GTMMax GT4</i> . A comunicação entre o PLC e as impressoras permitirá o aumento do nível de automação na fabricação e posterior manipulação de peças por meio do robô colaborativo e o seu gêmeo digital.
Intermediário	Integração do sistema Testbed em gêmeo digital com a bancada de Sistema de Automação Flexível disponível, atualmente, no laboratório, L001, de Manufatura Avançada, no Bloco Ômega da UFABC campus São Bernardo do Campo/SP. Sugere-se também, como desafio, a integração do sistema com o centro de usinagem e sistema de automação flexível do laboratório por meio do módulo IOT2040.
Avançado	Desenvolvimento de uma aplicação IoT utilizando o módulo IOT2040 e uma plataforma em nuvem, que permitirá o acesso de dados de produção e do sistema por meio de dispositivos móveis com conexão à Internet atuando em camadas de negócios baseada na arquitetura de controle IIoT e do seu gêmeo digital. Sugere-se a utilização do sistema MindSphere®, por ser uma plataforma gratuita disponibilizada pela Siemens (mesma fabricante do PLC, o que apresenta maior afinidade de integração).

Fonte: (CANNABRAVA, 2022).

4 Considerações FINAIS

O gêmeo digital (GD) de uma célula robótica permite paralelizar o projeto mecânico, elétrico e de automação tão bem quanto *tryouts* de engenharia de sistemas. Tempos de espera por fases de trocas de informação entre equipamentos podem ser evitados desta forma. Através da simulação dos robôs industriais, testes extensivos permitem detectar e corrigir erros no projeto e funções, tornando o comissionamento real muito rápido. De

acordo com o sistema de gestão *Six Sigma*, os custos de erro aumentam em um fator de dez com cada etapa do desenvolvimento. Com a simulação, percepções de testes virtuais podem melhorar a qualidade de engenharia em um estágio inicial. Testar o código do CLP durante o comissionamento virtual aumenta a confiança, de que a interação da parte elétrica, mecânica e o controlador do robô estão funcionando conforme o pretendido pelo analista, roboticista e robotista. Isso ajuda a evitar altos custos e minimiza os erros. Problemas durante o comissionamento real demandam tempo e aumentam os custos com mão de obra e material, ainda mais com projetos internacionais. Para contornar essas dificuldades, tudo pode ser testado de maneira segura virtualmente sem a necessidade da presença do operador da célula robótica. Robôs Industriais são projetados para trabalhar constantemente, sem tempos de paradas e otimizações ou reformas requerem acesso a máquina, o qual nem sempre é possível. Outra vantagem importante deste conceito de GD é que o sistema de produção é altamente flexível, portanto, adaptações a novas tecnologias e produtos podem ser realizadas com pequeno esforço. Isso pode ser um grande diferencial competitivo, considerando a diminuição constante do ciclo de vida do produto e do tempo de colocação no mercado de novos produtos.

A abordagem geral deste projeto é um estudo de caso em uma *Learning Factory* (LF) específica, o que torna este artigo um exemplo para o desenvolvimento de uma LF recém-implementada e tão relevante para a comunidade científica. Assim, uma série de ações foram derivadas para melhorar o modelo de negócios do *Smart Testbed* UFABC para transformar o cenário tecnológico da sociedade envolvente e provar o valor associado à aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 com foco na solução de problemas de treinamento para as empresas do setor envolvente.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH, A., KAUR, H., BISWAS, R. "Universal Layers of IoT Architecture and Its Security Analysis BT - New Paradigm in Decision Science and Management". 2020. **Anais** [...] Singapore, Springer Singapore, 2020. p. 293–302.

ALCÁCER, V., CRUZ-MACHADO, V. "Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems", **Engineering Science and Technology, an International Journal**, v. 22, n. 3, p. 899–919, 2019. DOI: 10.1016/j.jestch.2019.01.006.

ALEXOPOULOS, K., MAKRIS, S., XANTHAKIS, V., *et al.* "A concept for context-aware computing in manufacturing: the white goods case", **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 29, n. 8, p. 839–849, 2016. DOI: 10.1080/0951192X.2015.1130257. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/0951192X.2015.1130257>

BEECHAM RESEARCH. **World of IoT.pdf**. Disponível em: <https://www.beechamresearch.com/download-details/world-of-iot-sector-map/>, 2022

BETTENHAUSEN, K., KOWALEWSKI, S. "Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation", **VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik**, n. April, p. 1–12, 2013.

CAUCHICK MIGUEL, P. A. et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2018.

CANNABRAVA de Souza, Thiago. **Digital twin de um sistema automatizado de controle de pontos de solda dentro dos conceitos da indústria 4.0**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do ABC, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, São Bernardo do Campo, 2022.

GANGA, G. M. D. **Trabalho de conclusão de curso (TCC) na engenharia de produção: um guia prático de conteúdo e forma**. São Paulo: Atlas, v. 361, p. 16, 2012.

GIL, A. C. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. ed. [s.l.] Editora Atlas, 2002. v. 4

LU, Y. "Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues", **Journal of Industrial Information Integration**, Esse tem um exemplo de como fazer a revisão sistemática de literatura., v. 6, p. 1–10, 1 jun. 2017b. DOI: 10.1016/j.jii.2017.04.005. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2452414X17300043>. Acesso em: 20 mai. 2023.

PADILHA, A., CAPRERA, J. **Proposta de testbed de manufatura avançada baseado em Lean Manufacturing e Indústria 4.0**. 2019. 105 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Gestão) - Universidade Federal do ABC, 2019.

SILVA, E. L. da, MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4. ed. ed. Florianópolis, UFSC, 2005. v. 29. Disponível em: <http://www.mendeley.com/research/metodologia-da-pesquisa-e-elaborao-de-dissertao-4a-edio-revisada-e-atualizada/>.

SOUSA, T. C.; IBUSUKI, U.; CONTE, E. G. DEL. Estudo de Aplicabilidade de *Internet of Things por smartphones*: Análise de movimentação de usuários. **ENEGEP**, 2020. https://10.14488/enegep2020_tn_stp_342_1753_41153

SOUSA, T.C.; IBUSUKI, U; CONTE, E. G. DEL, Development of a digital twin for spot welding quality inspection in an industry 4.0 testbed of a Brazilian University (April 4, 2022). **Proceedings of the 12th Conference on Learning Factories (CLF 2022)**, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4075189> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4075189>

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção. **Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI**, p. 191, 2012.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

YIN, R. K. **Applications of Case Study Research**. Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc, 2011. v. Third Edit

THE IMPORTANCE OF THE DIGITAL TWIN APPLIED IN THE UFABC TESTBED AS A MODEL IN ENGINEERING TEACHING

Abstract: *Technological innovations revolutionize the way we produce and breed products and services in today's society. In this way, it is increasingly necessary for trained people to understand the benefits of two technological advances and their practical applications. Meanwhile, disseminating innovative knowledge such as Industry 4.0 technologies is not a simple task, given the difficulties that the Brazilian industry presents in adopting and using these new concepts. To solve this gap, a model called Learning Factory (LF), promises to associate the theory of these technologies with practice in environments that simulate the reality of the Brazilian industry. In the era of Industry 4.0, like the Digital Twin, virtual replicas of systems are capable of interacting bidirectionally with their physical counterparts, and therefore are promising enablers to replicate production systems in real time. A Digital Twin must be able to guarantee well-defined services to support various activities such as monitoring, maintenance, management, training, optimization and insurance. Therefore, the objective of this work is to explore the implementation of a Learning Factory at the Federal University of ABC (UFABC). The application of a project with Digital Twin allowed us to identify that the current scenario represents a well-defined technical concept in partnership with the local industry and a good portfolio of equipment to simulate an Industry 4.0 environment. In this context, and with the participation of companies from the region characterized by the strong presence of automobile assemblers, I seek to apply the concepts of integration of enabling technologies for Industry 4.0, prioritizing teaching teaching in the UFABC ecosystem. In this sense, two challenges were established for the results: the first was to increase the communication and collaboration capacity with the companies for the development of an automated process. The second was training at a high technical level of the companies and their collaborators.*

Keywords: digital twin, industry 4.0, learning factory (LF)