



# Criação do Gêmeo Digital de uma célula de manufatura considerando os conceitos da Indústria 4.0

**Palavras-Chave:** Gêmeo Digital, Indústria 4.0, Sistemas produtivos

**Autores(as):**

**Murilo Pedroso dos Santos, FEM – Unicamp**

**Marcus Vinícius Gonçalves, FEM - Unicamp**

**Prof. Dr. Robert Cooper Ordonez (orientador), FEM - Unicamp**

---

## INTRODUÇÃO:

A Indústria 4.0 (I4.0) é um campo que vem cada vez mais sendo discutido em proporções mundiais. A Quarta Revolução Industrial, também como é denominada, evidencia-se devido à quebra de paradigmas tecnológicos dos atuais modelos de sistemas de produção. A I4.0 consiste basicamente em um novo formato de organização e controle de todo o sistema de agregação de valor, cujo principal objetivo consiste em satisfazer uma demanda de produção customizada ao preço de um processo de produção em massa (MONOSTORI et al., 2016).

Dessa forma, o projeto de iniciação científica desenvolvido durante o Programa PIBIC 2021/2022 denominado “Adaptação de uma célula de manufatura para implementação dos conceitos da Indústria 4.0”, contribuiu para a revitalização e automação da célula de manufatura localizada no Laboratório de Projeto de Sistemas de Produção, criando um ambiente físico para incorporar os conceitos da Indústria 4.0.

Para continuar evoluindo na compreensão desses conceitos da Indústria 4.0 e do processo de digitalização de um sistema produtivo, de forma que a célula de manufatura possa ser inserida nesse novo cenário, este projeto de iniciação científica tem por objetivo a criação do Gêmeo Digital da célula para apoiar a implementação, testes e estudo das principais tecnologias envolvidas na implementação desses conceitos. Para tal finalidade, será utilizada a célula de manufatura do Laboratório de Projeto de Sistemas de Produção da FEM/Unicamp denominada PIPEFA, facilitando o mapeamento das lições aprendidas e divulgação do conhecimento gerado, bem como identificação de possibilidades de melhorias que fomentem futuras pesquisas neste segmento. Essa célula de manufatura foi revitalizada com recursos outorgados pela FAPESP através do projeto de auxílio à pesquisa número 2019/10088-9.

## DESENVOLVIMENTO:

O projeto consiste na criação de um gêmeo digital de uma célula de manufatura. Um Gêmeo Digital (*Digital Twin* ou DT) é a representação virtual de um ambiente real. Para tal, precisamos criar representação de cada equipamento, máquina e peça que compõe a célula.

A célula de manufatura utilizada no estudo é composta por cinco postos de trabalho e esteiras para o deslocamento das peças montadas. Então foram criadas cópias virtuais de cada estação, suportes e esteiras. A Figura 1 apresenta as imagens da célula e dos tipos de configurações de produtos que podem ser montados:

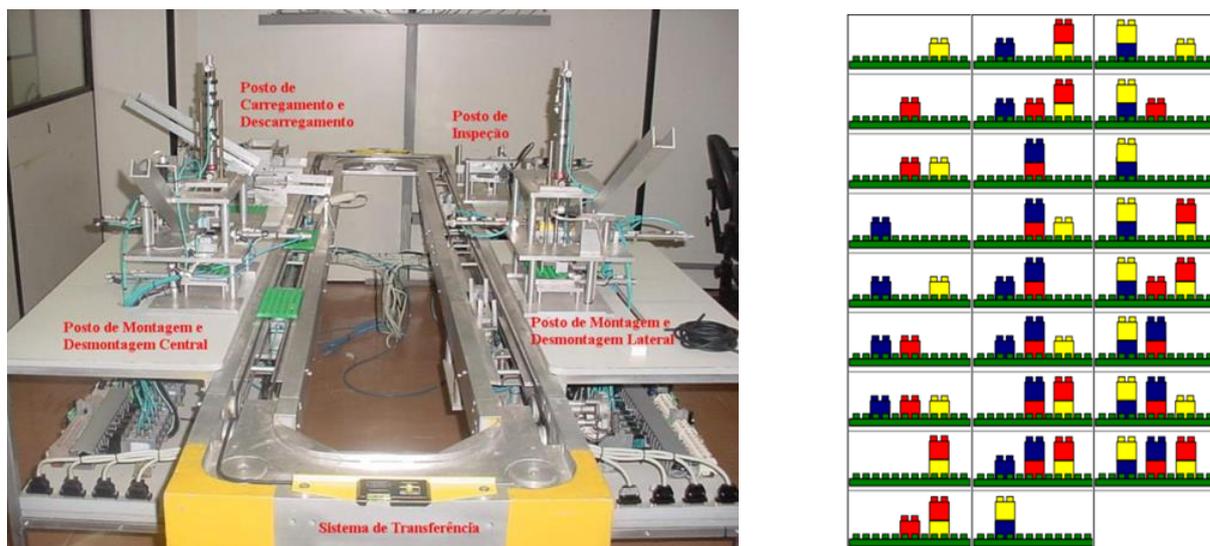


Figura 1 - Célula de manufatura e combinação de produtos

As réplicas dos postos de trabalho (Carregamento, Montagem Central, Montagem Lateral, Inspeção e Descarregamento) e das esteiras de transporte foram criadas na ferramenta CAD Autodesk Inventor. Para criar essa representação cada componente foi modelado individualmente e depois conectado. Com cada posto pronto, foram exportados para que pudessem ser adicionados no software Process Simulate (PS), programa da Tecnomatix Siemens utilizado para criar o gêmeo digital. Com os postos no PS, as cinemáticas e poses são criadas. São elas que ditam como os componentes de cada posto se movem. Os blocos de controle para conexão dos sinais com o CLP foram criados logo em sequência.

A cinemática dos postos é a responsável por ditar como cada elemento e atuador vão se mexer. É nesse momento que as restrições de posição são definidas. Também é nesse momento que as poses são criadas. Elas são definidas após a movimentação de cada elemento, e são sempre associadas a posições reais que os postos de trabalho físico. Para saber quando cada pose vai ser acionada utilizamos os blocos de controle. Nos blocos de controle são adicionadas as sequências das poses e quando cada uma vai ser acionada. Para tal, fazemos uma conexão com o CLP via OPC Ua, uma plataforma de comunicação aberta. Esse ponto apresentou algumas dificuldades que serão detalhadas mais adiante.

Com os postos modelados, poses definidas e sinais conectados, os testes de simulação se iniciam. Os primeiros testes foram para estruturação dos movimentos. Era preciso confirmar que cada pose estava realmente condizente com os movimentos reais, sem problemas de interferência entre componentes. Com essa verificação realizada, testes da conectividade dos sinais se iniciaram, que se estendem até o momento. Essa etapa é uma das mais complexas do projeto, pois é o que vai definir toda a lógica de funcionamento do gêmeo digital.

Nas Figuras 2 e 3 são apresentadas, respectivamente, imagens do gêmeo digital criado e da tabela completa de sinais e conexões. Na Figura 4 é apresentada uma imagem que demonstra o estado de controle de cada um dos sinais que está sendo processado no software Process Simulate.

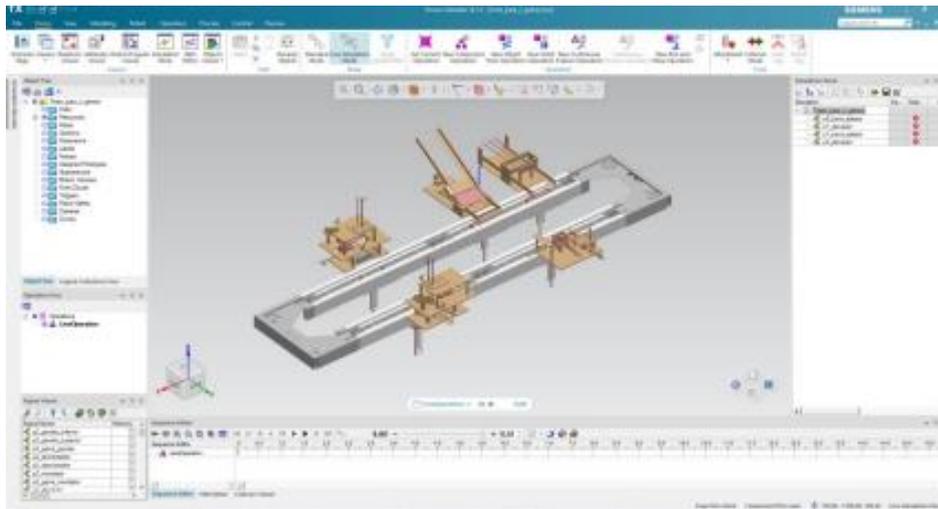


Figura 2 - Gêmeo digital

Signal Name	Memory	Type	Robot Signal Name	Address	IC Format	PLC Connector	External Connector	Resource	Comment
c0_gaveta inferior		BOOL		160	Q160		PROCESS_SIMULATI	Foro_3_Mo	
c0_gaveta superior		BOOL		161	Q161		PROCESS_SIMULATI	Foro_3_Mo	
c0_gaveta gaveta		BOOL		162	Q162		PROCESS_SIMULATI	Foro_3_Mo	
c0_alimentador		BOOL		163	Q163		PROCESS_SIMULATI	Foro_3_Mo	
c0_descartador		BOOL		164	Q164				
c0_montador		BOOL		165	Q165				
c0_gaveta montador		BOOL		166	Q166		PROCESS_SIMULATI	Foro_3_Mo	
c0_elevador		BOOL		167	Q167		PROCESS_SIMULATI	Estaca_p2	
c0_trava_estaca		BOOL		170	Q170		PROCESS_SIMULATI	Estaca_p2	
c0_senso_r_alimentador		BOOL		85	I85				
c0_senso_magazine		BOOL		86	I86				
c0_senso_a_gaveta inferior		BOOL		160	I160				
c0_senso_02_grav_2		BOOL		83	I83				
c0_senso_3_grav_2		BOOL		84	I84				
c0_botao_elevador		BOOL		171	Q171		PROCESS_SIMULATI	Estaca_p2	
otava_automatica		BOOL		80	I80				
otava_manual		BOOL		81	I81				
estaca_1		BOOL		80	Q80				
estaca_2		BOOL		81	Q81				
estaca_3		BOOL		82	Q82				
estaca_4		BOOL		83	Q83				
botao_estaca_pasto_1		BOOL		83	I83				
botao_estaca_pasto_2		BOOL		84	I84				
botao_estaca_pasto_3		BOOL		85	I85				
botao_estaca_pasto_4		BOOL		86	I86				
botao_estaca_pasto_5		BOOL		86	I86				
alarme_somacao		BOOL		84	Q84				
p1_elevador		BOOL		80	Q80		PROCESS_SIMULATI	Estaca_p1	
p1_anguito_gaveta		BOOL		81	Q81		PROCESS_SIMULATI	Foro_3_Car	
p1_empuxa_gaveta		BOOL		82	Q82		PROCESS_SIMULATI	Foro_3_Car	
p1_trava_base_gaveta		BOOL		83	Q83		PROCESS_SIMULATI	Foro_3_Car	
p1_trava_magazine		BOOL		84	Q84		PROCESS_SIMULATI	Foro_3_Car	
p1_trava_estaca		BOOL		85	Q85		PROCESS_SIMULATI	Estaca_p1	
p1_senso_a_elevador		BOOL		80	I80				
p1_senso_01_elevador		BOOL		81	I81				
p1_senso_a_anguito_gaveta		BOOL		82	I82				
p1_senso_a_anguito_gaveta		BOOL		83	I83				
p1_senso_a_empuxa_gaveta		BOOL		84	I84				
p1_senso_01_empuxa_gaveta		BOOL		85	I85				
p1_senso_base_gaveta		BOOL		86	I86				
p1_senso_magazine		BOOL		87	I87				
p1_senso_01u_magazine		BOOL		80	I80				
p2_gaveta		BOOL		200	Q200		PROCESS_SIMULATI	Foro_4_Ime	
p2_empuxa_reboque		BOOL		201	Q201		PROCESS_SIMULATI	Foro_4_Ime	
p2_trava_reboque		BOOL		202	Q202		PROCESS_SIMULATI	Foro_4_Ime	
p2_trava_estaca		BOOL		204	Q204		PROCESS_SIMULATI	Estaca_p2	
p2_elevador		BOOL		203	Q203		PROCESS_SIMULATI	Estaca_p2	
p4_senso_01_gaveta		BOOL		201	I201				
p4_senso_01u_gaveta		BOOL		200	I200				
p4_gaveta_1_reboque		BOOL		204	I204				
p4_gaveta_2_reboque		BOOL		203	I203				
p4_gaveta_3_reboque		BOOL		202	I202				
p4_senso_01u_reboque		BOOL		206	I206				
p4_senso_01_reboque		BOOL		205	I205				
p4_senso_01u_elevador		BOOL		207	I207				
p4_senso_01_elevador		BOOL		210	I210				

Figura 3 - Tabela de sinais e conexões

Simulation	Inp...	Outp...	LB	Forced	Forced Value
Teste_para_o_gemeo					
p1_elevador		●			■
p1_angulo_gaveta		●			■
p1_empurra_peca		●			■
p1_trava_base_gaveta		●			■
p1_trava_magazine		●			■
p1_trava_esteira		●			■
p2_gaveta_inferior		●			■
p2_gaveta_superior		●			■
p2_garra_gaveta		●			■
p2_alimentador		●			■
p2_garra_montador		●			■
p2_elevador		●			■
p2_trava_esteira		●			■
p3_gaveta_inferior		●			■
p3_gaveta_superior		●			■
p3_garra_gaveta		●			■
p3_alimentador		●			■
p3_garra_montador		●			■
p3_elevador		●			■
p3_trava_esteira		●			■
p3_rotacao_elevador		●			■
p4_gaveta		●			■
p4_avanca_cabeçote		●			■
p4_trava_cabeçote		●			■
p4_trava_esteira		●			■
p4_elevador		●			■
p5_gaveta		●			■
p5_elevador		●			■
p5_trava_esteira		●			■
p2_sensor_3_montador		●			■
p2_sensor_4_montador		●			■
p2_sensor_5_montador		●			■
p3_sensor_3_montador		●			■
p3_sensor_4_montador		●			■
p3_sensor_5_montador		●			■
p5_sensor_a_gaveta		●			■
p5_sensor_r_gaveta		●			■

Figura 4 - Controle dos Sinais no PS

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Como objetivo principal, pretendia-se criar um sistema virtual que represente o real de maneira automatizada, para que conceitos da Indústria 4.0 possam ser estudados, o que foi possível ser criado, mas não de maneira simples. Durante o processo de conexão do OPC Ua do CLP com o PS, foram encontradas dificuldades. A documentação existente na internet faz muita referência a conexão do Process Simulate com CLPs virtuais, que não é o caso no projeto. Encontrar uma resposta foi muito complicado, tomou boa parte dos esforços. Outro aluno do professor Robert, Marcus Vinicius, coautor do projeto, ajudou na solução do problema. Para a automação da célula, foi utilizado um CLP da Siemens modelo S7-1200, que ao criar a tabela de variáveis OPC para comunicação cria identificações baseadas em String (texto), que o PS não entende. No software Process Simulate, os sinais de OPC devem ser do tipo Int (números inteiros). Para fazer essa conversão um outro programa chamado NodRed foi utilizado, que serve para criar servidores de OPC. Com a conversão feita, os novos sinais foram passados para o software TIA (Total Automation Portal) da Siemens, responsável por configurar o CLP. Agora uma comunicação OPC funcional do CLP que o Process Simulate entende foi criada e é possível seguir com a conexão.

Outros problemas na hora de definir velocidades e restrições também aconteceram. Não é fácil garantir que os componentes virtuais se movam com a mesma velocidade que os reais, característica necessária para se caracterizar um gêmeo digital. De forma semelhante ao caso anterior, também não foi encontrado na literatura formas de contornar esse problema. Na tentativa e erro, alterando diversos parâmetros na configuração da cinemática dos postos foi possível encontrar solução.

Para garantir que futuros alunos possam utilizar o gêmeo para estudar, um manual de operações e parametrização foi formulado. Ele informa o passo a passo para utilização, pontos principais de configuração e parâmetros que podem ser alterados. Ele se encontra presente no Laboratório de Projeto de Sistemas de Produção (LPSP) na FEM/Unicamp.

## CONCLUSÕES:

O objetivo deste trabalho foi alcançado através da criação do Gêmeo Digital da célula de manufatura. Um gêmeo digital pode ser utilizado com diversas finalidades durante o processo de digitalização presente na Indústria 4.0: Análise do fluxo de processo, vida útil de produto, gargalos na produção, entre outros aspectos que auxiliam no desenvolvimento de processos produtivos na I4.0. Deste modo, o gêmeo digital criado durante esse projeto pode ser utilizado para estudos desses conceitos, juntamente com a célula revitalizada no projeto da quota anterior, afim de ajudar novos estudantes a se prepararem para o mercado de trabalho.

Para ajudar na visualização dos resultados, vídeos do modelo do gêmeo digital em funcionamento foram feitos: um [Vídeo de Comparação entre Digital/Real](#) e um [Vídeo da Simulação Digital Completa](#). Eles mostram a funcionalidade do modelo e sua eficácia para representar o processo produtivo da célula.

---

## BIBLIOGRAFIA

MONOSTORI, L.; KÁDÁR, B.; BAUERNHANSL, T.; KONDOH, S.; KUMARA, S.; REINHART, G.; SAUER, O.; SCHUH, G.; SIHN, W.; UEDA, K. Cyber-physical systems in manufacturing. *Manufacturing Technology*, v. 65, p. 621 – 641, 2016.

MALIK, A. A.; BREM, A. Digital twins for collaborative robots: A case study in human-robot interaction. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 68 (2021) 102092. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.102092>

ANDERL, R.; HAAG; S.; SCHUTZER, K.; ZANCUL, E.; Digital twin technology - An approach for Industrie 4.0 vertical and horizontal lifecycle integration, *Information Technology* 2018; 60(3): 125–132. <https://doi.org/10.1515/itit-2017-0038>