



ConBRepro

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



01 a 03
de dezembro 2021

Comissionamento virtual como ferramenta de ensino e aprendizagem para a engenharia de produção e automação

Yves Santos Borges

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal do Paraná

Agnelo Denis Vieira

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal do Paraná

Resumo: Existe uma demanda por competitividade de negócios ocasionando a busca por inovações, melhor rentabilidade e qualidade de processos por parte das indústrias, fatores que impulsionam e colaboram com a Indústria 4.0. Esse novo conceito de indústria necessita do desenvolvimento de novas tecnologia e na capacitação dos atuais e novos profissionais, para garantir uma implantação eficiente. A aplicação do comissionamento virtual é uma ferramenta fundamental no conceito de *Learning Factory*, é um modelo prático que pode auxiliar no ensino e capacitação de profissionais da engenharia de produção e automação, de forma a colaborar com aspectos de melhoria de processos, possibilitar testes e permitir redução de custo e tempo em desenvolvimento de projetos. Neste artigo é apresentado os principais conceitos do uso do comissionamento virtual como potencial ferramenta de ensino para uso profissional e acadêmico. E apresentado a elaboração de um modelo prático de comissionamento virtual na modalidade *off-line*, que agrega comunicação de uma interfase de controle e de simulação, por meio do gerenciando de comunicação via protocolo OPC-UA, utilizando aplicações de softwares Siemens.

Palavras-chave: Indústria 4.0, *Learning Factory*, Comissionamento Virtual.

Virtual commissioning as a teaching and learning tool for production and automation engineering

Abstract: There is a demand for business competitiveness leading to the search for innovation, better profitability, and process quality by industries, factors that drive and collaborate with Industry 4.0. This new concept of the industry requires the development of new technologies and the training of current and new professionals, to ensure an efficient implementation. The application of virtual commissioning is a fundamental tool in the Learning Factory concept. It is a practical model that can help in the teaching and training of production engineering and automation professionals, to collaborate with aspects of process improvement, enable tests, and allow cost and time reduction in project development. This article presents the main concepts of the use of virtual commissioning as a potential teaching tool for professional and academic use. The development of a practical model of off-line virtual commissioning is presented, which aggregates communication from a control and simulation interphase, through communication management via OPC-UA protocol, using Siemens software applications.

Keywords: Industry 4.0, Learning Factory, Virtual Commissioning.

1. Introdução

O desenvolvimento social está diretamente atrelado ao nível educacional, na qual os indivíduos com mais capacidades, podem tornar as empresas mais competitivas e inovadoras, criando economias e sociedades mais eficientes. Destacando-se o capital humano como fundamento do desenvolvimento econômico e a educação como meio ator que se destaca em meio ao desenvolvimento de uma nova revolução industrial.

Segundo Vaidya et al. (2018) a visão de fábrica estruturada está atrelada a diversos avanços e a nove áreas diferentes, descrita como os nove pilares da Indústria 4.0: a análise de grande volume de dados, os robôs autônomos, a simulação, a integração horizontal e vertical de sistemas, a internet das coisas, a cibersegurança, os processos por meio do armazenamento em nuvem, a realidade virtual e aumentada, e a produção aditiva. Isso acarreta uma transformação de planejamento a longo prazo das empresas em reestruturação de instalações, capacitação de funcionários e reestruturação de processos.

Desta forma as empresas dependem muito da capacidade de funcionários em todos os níveis hierárquicos para agirem de forma eficiente e organizada em situações desconhecidas e para encontrar soluções criativas (ADOLPH et al., 2014). A visão de uma fábrica remodelada, no formato da Indústria 4.0, além de exigir que equipamentos estejam ligados em rede e os seus produtos possuam rastreabilidade das etapas da cadeia de processos por onde passaram, o papel dos seres humanos mudará, pois haverá uma redução de atividades de rotina e até decisões operacionais serão baseadas ou auxiliadas por algoritmos.

Para o desenvolvimento das competências dos empregados para o ambiente industrial, os métodos tradicionais de ensino mostram-se limitados na sua formação. Por consequência, são necessárias novas abordagens de aprendizagem que permitam uma formação para atuar na transformação industrial atual (CACHAY et al., 2012):

- Modernização do processo de aprendizagem para torná-los compatíveis com as tecnologias e práticas atuais;
- Estímulo da prática industrial por meio da adoção de novos conhecimentos e tecnologias industriais;
- E o impulsionamento a inovação nos processos de manufatura, aperfeiçoamento das capacidades de formação de novos profissionais voltadas para criatividade, pensamento sistêmico e dispostos a enfrentar a competitividade industrial.

Onde os ambientes de aprendizagem inovadores devem ser capazes de suprir a demanda dos desafios acima enunciados. A indústria exige agora formação interdisciplinar, onde as *Learning Factories* aparecem como um método a ser utilizado, para o desenvolvimento de conhecimentos teóricos, como de conhecimentos práticos, por meio de um ambiente produtivo semelhante a realidade (VAIDYA, et al., 2018).

Neste artigo será apresentada as principais característica do *Learning Factories*, algumas de suas vantagens, estudos de casos e apresentado a elaboração de um comissionamento virtual *off-line* com caráter de apresentar a utilização do conhecimento industrial em um processo de simulação.

A organização deste artigo segue a seguinte ordem. Na seção 2 é discutido as características do *Learning Factories*, suas vantagens e estudos de casos. A seção 3 irá descrever os processos metodológicos e resultados da elaboração do modelo de comissionamento virtual. A seção 4 conta com discussões sobre o tema e o desenvolvimento do sistema. Por fim é apresentado a conclusão.

2. Definições do *Learning Factories*

Uma possível tradução para o termo *Learning Factories* é fabricas para ensino e aprendizagem, devido ao termo não ser amplamente utilizado na língua portuguesa, se optou por preservar ao longo deste artigo a terminologia em língua inglesa.

O conceito vem se popularizando ao passar dos anos e desde o seu aparecimento em 1994 foram implementadas diferentes soluções em todo mundo no intuito de intensificar a experiência de aprendizagem por meio deste (ABELE et al., 2015; JORGENSEN et al., 1995).

Jorgensen et al. (1995) definem *Learning Factories* como uma instalação que realiza produtos e serviços e que simultaneamente tem finalidades educacionais. Para Wagner et al. (2012) a composição das palavras *learning* e *factories*, devem ser usadas para menção de sistemas que abordam elementos de aprendizagem, bem como um ambiente de produção. A palavra *learning* no termo enfatiza a importância da aprendizagem experimental (CACHAY et al., 2012).

A aprendizagem por meio da metodologia é uma opção válida em comparação com métodos convencionais de ensino, pois explora a abordagem experimental dando ao receptor uma capacidade de percepção e raciocínio do conteúdo transmitido (EFSTRATIA, 2014). De acordo com Goerke et al. (2015) o conhecimento é assimilado pelo registro de memórias e depende da forma como é vivenciado, em maioria dos casos, o registro de aquisição se for auditiva será absorvido 10%, de forma visual 20%, visual e auditiva 40% e na formação prática 80%.

2.1. Características da aplicação do *Learning Factories*

Um ambiente nesse formato pode se tornar complexo à medida que se objetiva abordar diferentes aspectos de capacitação profissional. São destacados algumas das características importantes a serem levadas em consideração desse sentido (ABELE et al., 2015):

- Buscar por replicar características fundamentais do modelo de funcionamento que se pretende ensinar/replicar;
- Ao apresentar um sistema é importante caracterizar os processos de produção e controle envolvidos;
- Especificar os elementos envolvidos para elaboração e finalidade dos produtos e/ou serviços presentes ou gerados no sistema ensinado/replicado;
- É importante levar em consideração as didáticas escolhidas, o tipo de ambiente envolvido e as ferramentas;
- Trabalhar com valores quantitativos relacionados a dinâmica e escopo do sistema que se pretende trabalhar, para direcionamento de objetivos de projeto ou da atividade.

2.2. Aplicação em simulações

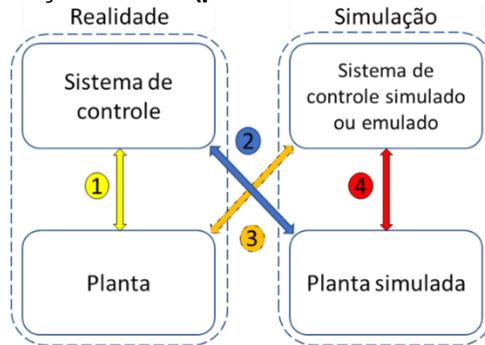
Dependendo do nível de estrutura e dos objetivos específicos do *Learning Factory*, estes podem ser analisados como réplicas de um ambiente real de produção, na perspectiva de fábrica; um ambiente de aprendizagem na perspectiva de ensino, com atributos práticos e teóricos; ou a combinação de ambos os ambientes (TISCH et al., 2016).

A possibilidade de integração de modelos de simulação com sistemas de controle permite o desenvolvimento do conhecimento técnicos relativos ao sistema desenvolvido, permitindo testes e apoio ao treinamento de operadores. A fase de testes em um sistema de controle pode ser denominada de comissionamento, sendo normalmente uma das últimas etapas de um projeto de um sistema de controle (SMITH; CHO, 2008).

Atualmente o comissionamento pode integrar sistemas reais ou simulados. A Figura 1 apresenta as diferentes abordagens de integração de teste em sistemas de controle e

plantas de processos. São destacados quatro possibilidades desses relacionamentos para geração de comissionamento: forma tradicional de testar sistemas onde ambos são reais, controle real e processo simulado, controle simulado e um processo real, ou ambos simulados (AUINGER et al., 1999).

Figura 1 – Possíveis combinações entre realidade e Simulação; as setas representam conexões Possíveis. Seta 1: forma tradicional de testar sistemas de controle; Seta 2: *soft-commissioning* (controle real e processo simulado); Seta 3: *reality in the loop* (controle simulado em um processo real); Seta 4: Simulação *off-line* (processo simulado e controle simulado)



Fonte: Adaptado de Auinger et al. (1999)

Exemplos de aplicações práticas são apresentadas, onde a aplicação do ensino de programação de Programadores Lógicos Programáveis (CLP) foi realizada por meio de ambiente simulado (VAZQUEZ-GONZALEZ et al., 2018); em outro caso foi elaborado uma planta simulada para replicação de um sistema flexível de manufatura com robôs autônomos, caracterizando pelos autores como um trabalho de comissionamento software-in-loop (RUŽAROVSKÝ; HOLUBEK; DELGADO SOBRINO, 2018).

Desta forma além do comissionamento virtual auxiliar em processos de teste, validação de sistema e ensino, ele pode ser uma ferramenta de redução de custos e tempo, uma vez que substitui a necessidade de ter elementos físicos na geração e testes de sistemas (SMITH; CHO, 2008).

3. Desenvolvimento de um sistema de comissionamento virtual

A seguir são apresentadas as etapas metodológicas e ferramentas usadas para elaboração de um modelo de comissionamento virtual *off-line*, que propõem a comunicação de um CLP virtual com a interface de simulação por meio do *protocolo Open Platform Communications Unified Architecture* (OPC-UA).

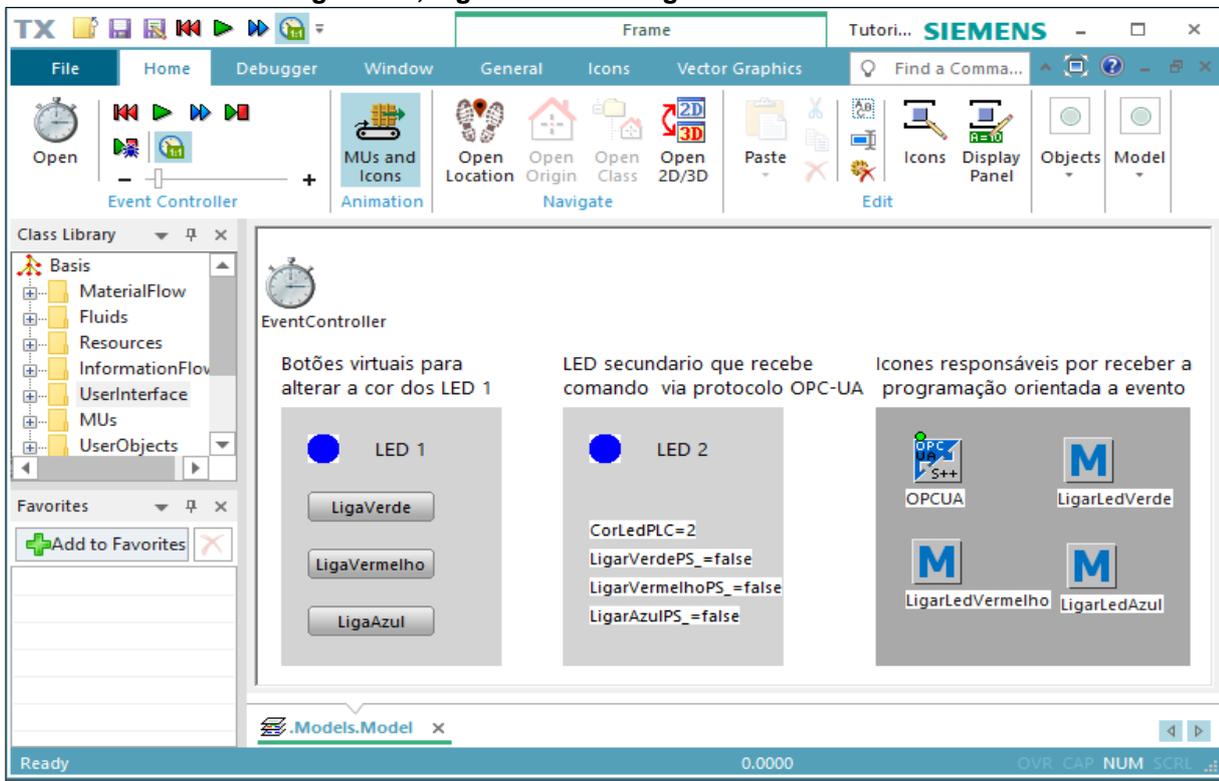
Para desenvolvimento da aplicação foram usados quatro diferentes aplicativos, todos desenvolvidos pela Siemens, descritos a seguir:

- S7-PLCSIM Advanced (versão V4.0). Responsável pela simulação do CPL.
- Tataly Integrated Automation Portal (Versão V16). Responsável pelo suporte de compilação do CPL virtual, programação da lógica de controle, definição de variáveis de comunicação e configuração do servidor OPC-UA;
- Tecnomatix Plant Simulation 16 (Versão 16.0.0.2000). Responsável pela simulação de sistemas a eventos discretos.

A interface do processo com o usuário é por meio de uma tela de representações, conforme apresentado na Figura 1. Desenvolvida na simulação de sistemas a eventos discretos. Os principais elementos desta interface objetivam a representação de três botões não retentivos e de uma iluminação denominada LED 1, na qual interagem diretamente com o gerenciando de processo do CLP virtual. Ou seja, a simulação em questão representa a integração de elementos: sensores (botões), atuador (iluminação) e uma unidade controladora de processo (CLP).

O objetivo dos três botões são para realizar a alteração da cor do elemento denominado LED 1. Desta forma o elemento pode variar de cor: verde, vermelho ou azul, de acordo com a escolha do botão selecionado.

Figura 2 – Interface da simulação de sistema a eventos discretos com a aba de interação com o usuário. Os recursos de acionamento do LED 1 são os botões denominado na interface de LigaVerde, LigaVermelho e LigaAzul. O LED 2 é auxiliar.



Fonte: Os Autores

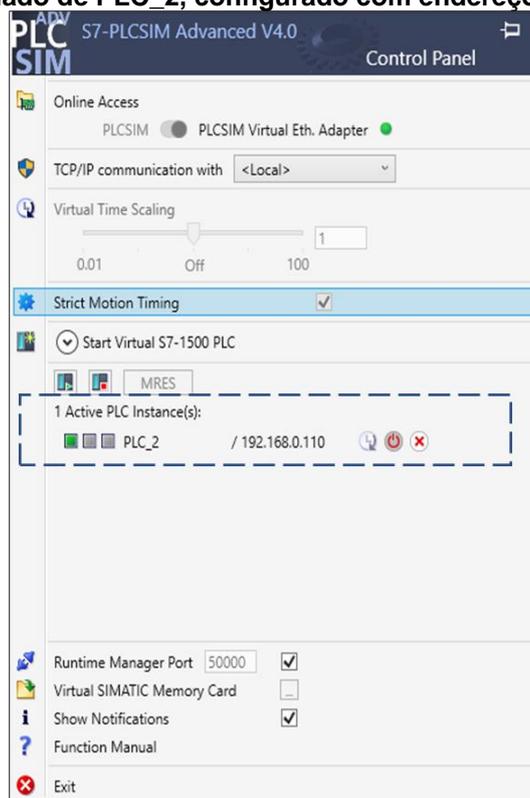
A interface de simulação permite a inserção de programação orientada a evento a cada ícone da interface. Deste modo foram geradas variáveis globais para gerenciamento externo a simulação por meio do protocolo OPC-UA. O objetivo é que essas variáveis possam ser gerenciadas pelo CLP virtual.

O usuário ao acionar algum dos três botões além de alterar automaticamente a cor do LED 1 de acordo com a cor selecionada, também altera os registros de variáveis globais. O objetivo de ter a representação de uma iluminação auxiliar, denominada LED 2, é que sua alteração de cor ocorre por meio na alteração das variáveis globais gerenciadas pelo protocolo OPC-UA, após processadas pelo CLP. Desta forma o usuário nota a alteração automática da cor do LED 1 ao clicar em um botão e há um tempo de latência em alterar a cor do LED 2, em cerca de 2 segundo em testes práticos.

Os demais ícones da interface foram usados para receber a programação orientada a eventos de forma auxiliar na administração e tratamento de variáveis externas, de modo a tornar a programação da planta o mais diádico e organizada possível.

Neste projeto foi utilizado o S7-PLCSIM Advanced para operação de um CLP Siemens da linha S7-1500 de forma virtual. O programa possibilita a geração e alterações do endereço IP e máscara de rede do dispositivo usados na configuração de comunicação entre o CLP virtual e demais interfaces. As configurações e programação geradas por meio das funções do Totally Integrated Automation Portal são encaminhadas para o programa S7-PLCSIM Advanced e direcionadas ao CLP virtual. Na Figura 2 é possível visualizar o programa S7-PLCSIM Advanced em execução.

Figura 3 - Interface do programa S7-PLCSIM Advanced em execução. O CLP virtual gerado para o projeto foi denominado de PLC_2, configurado com endereço de IP 192.168.0.110.



Fonte: Os autores

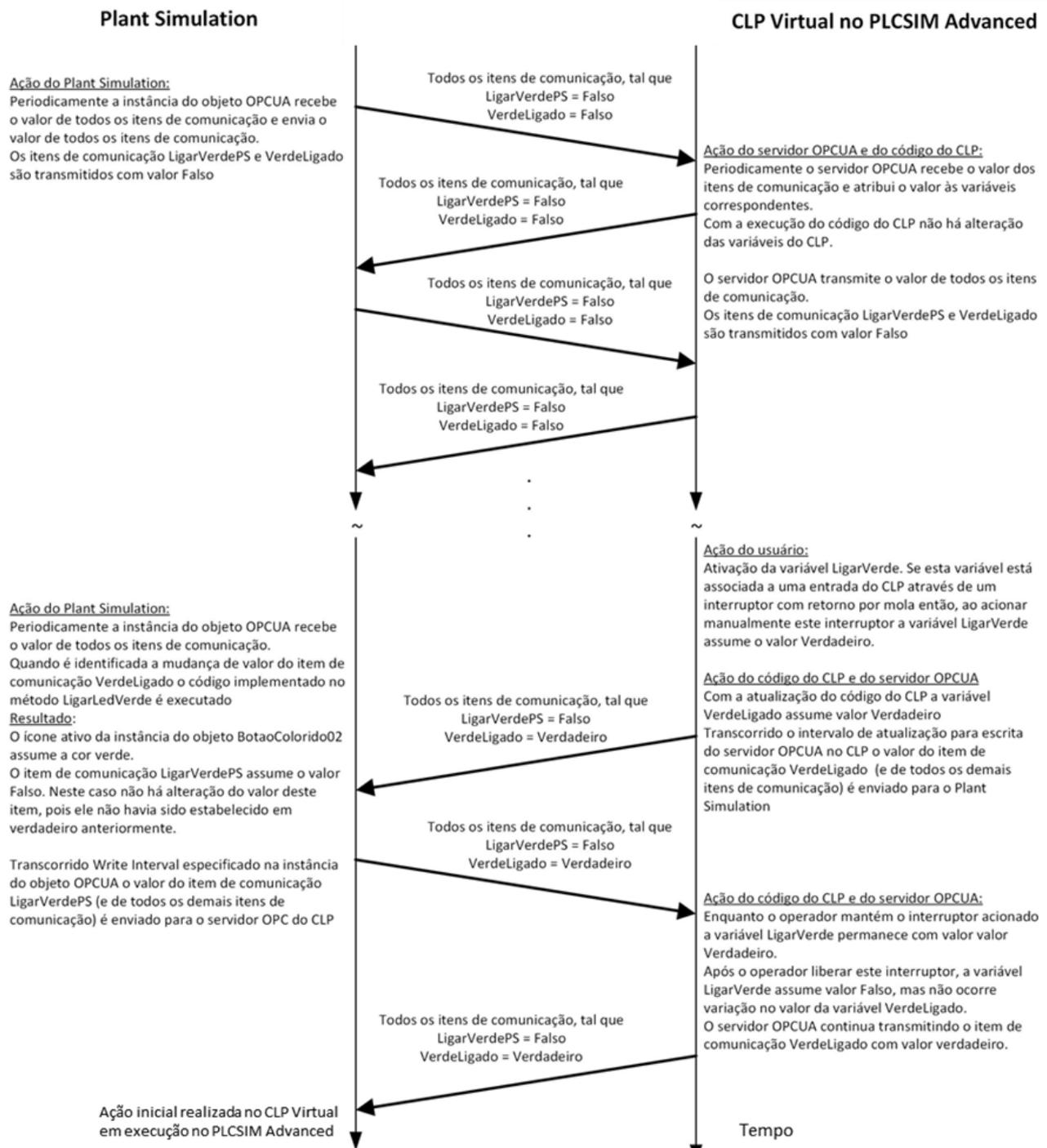
As próximas figuras, Figura 3 e Figura 4, descrevem a comunicação quando a ação do usuário é realizada no Tecnomatix Plant Simulation e quando a ação do usuário é realizada no CLP Virtual.

Para a realização desta comunicação é necessário implementar código no Control associado às instâncias do objeto Buttons (LigarVerde, LigarVermelho, LigarAzul) bem como nos métodos que são executados quando ocorre variação do valor de itens de comunicação (LigarLedVerde, LigarLedVermelho, LigarLedAzul).

No Tecnomatix PlantSimulation, a instância do objeto OPC-UA possui métodos. A definição de valor de comunicação é estabelecida com o método deste objeto. Este método é empregado no código do associado às instâncias do objeto Buttons (LigarVerde, LigarVermelho, LigarAzul).

As principais variáveis para gerenciamento do programa são denominadas LigarVerdePS, VerdeLiga, LigarVermelhoPS, VermelhoLiga, LigarAzulPS e AzulLiga. Sendo as variáveis com a inicial da cor responsáveis por gerir o LED 1 e as variáveis com sufixo PS de gerenciar os dados externos, via OPC-UA, que por consequência administram o acionamento do LED 2.

Figura 4 – Fluxo de processos de dados em ação inicial realizada no CLP Virtual em execução no PLCSIM Advanced. As setas na vertical representam o fluxo de ação no tempo e as setas na diagonal representam a troca de informação entre a interface de interação e o CLP virtual.

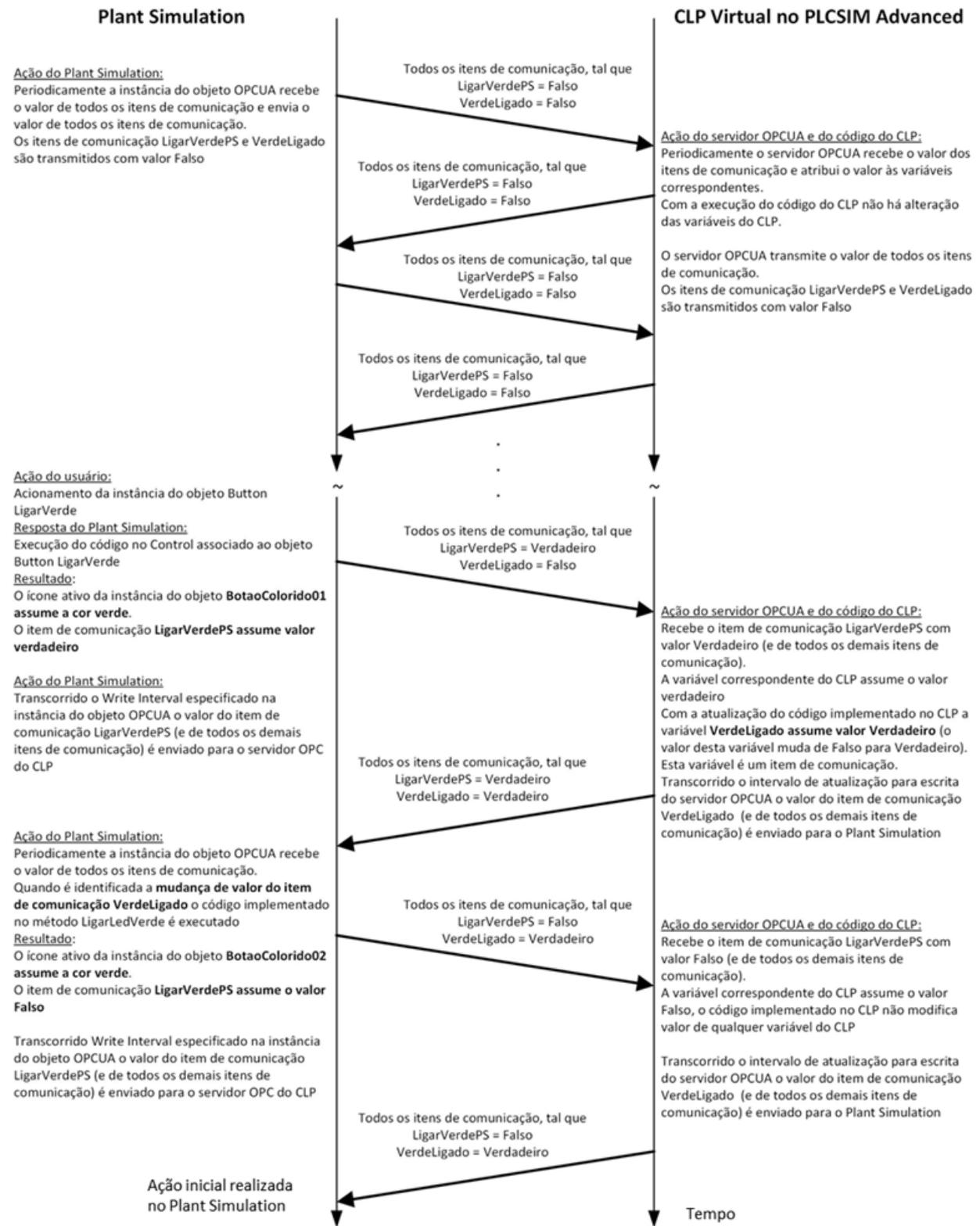


Interação simplificada entre o modelo em simulação no Plant Simulation e o código em execução no PLCSIM Advanced com foco nos itens de comunicação OPCUA LigarVerdePS e VerdeLigado = Verdadeiro bem como o comportamento do ícone ativo das instâncias BotaoColorido01 e BotaoColorido02

Obs: nesta representação não há consistência dimensional do eixo tempo, além disto, podem ocorrer outras transmissões de comunicação entre o Plant Simulation e o Servidor OPCUA implementado no PLCSim Advanced em instantes intermediários aos representados na figura

Fonte: Os autores

Figura 5 - Fluxo de processos de dados em ação inicial realizada no Plant Simulation. As setas na vertical representam o fluxo de ação no tempo e as setas na diagonal representam a troca de informação entre a interface de interação e o CLP virtual.



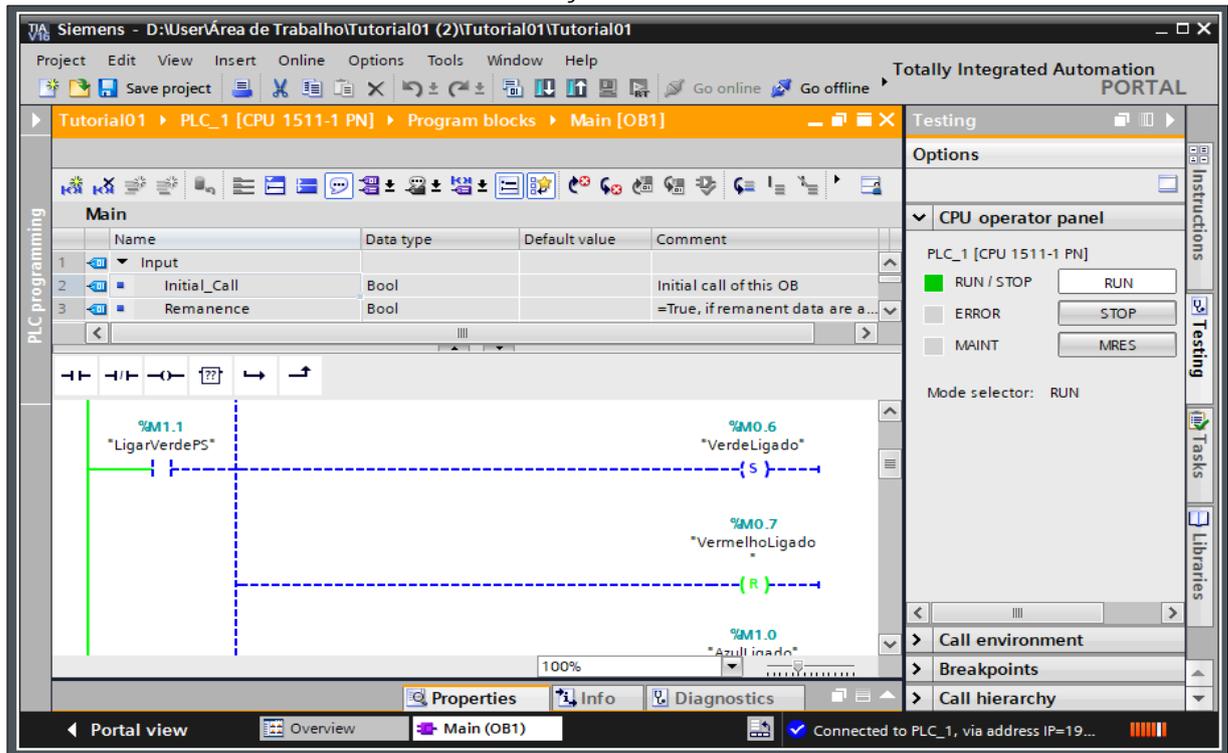
Interação simplificada entre o modelo em simulação no Plant Simulation e o código em execução no PLCSIM Advanced com foco nos itens de comunicação OPCUA LigarVerdePS e VerdeLigado = Verdadeiro bem como o comportamento do ícone ativo das instâncias BotaoColorido01 e BotaoColorido02

Obs: nesta representação não há consistência dimensional do eixo tempo, além disto, podem ocorrer outras transmissões de comunicação entre o Plant Simulation e o Servidor OPCUA implementado no PLCSim Advanced em instantes intermediários aos representados na figura

Fonte: Os autores

Na plataforma Tataly Integrated Automation Portal foi criado as variáveis usadas na integração do sistema e a programação em Ladder para que na sequência fosse execução no CLP virtual. O gerenciamento do servidor OPC-UA também foi configurado e executado pela interface. Em tempo de execução foi possível acompanhar os registros de variáveis do sistema pela interface Tataly Integrated Automation Portal ou pela Tecnomatix Plant Simulation. Na Figura 6 é possível visualizar algumas das abas da plataforma Tataly Integrated Automation Portal em tempo de execução.

Figura 6 – Aba de programação da plataforma Tataly Integrated Automation Portal em tempo de execução.



Fonte: Os autores

4. Considerações

- É importante que as empresas de hardwares e softwares industriais se conscientizem da necessidade de integrar suas versões de seus produtos a sistemas de simulação e aprendizagem, desta forma o comissionamento poderá ficar mais acessível a demais produtos, marcas e consumidores.
- Outro fator importante e que muitas vezes é uma dificuldade encontrado na indústria é a padronização de protocolos entre equipamentos industriais. Por esse motivo se optou por utilizar nesse projeto o protocolo OPC-UA, que atualmente é uma alternativa em contornar essa lacuna.
- Ao se desenvolver sistemas que utilizem comunicação por redes industriais fatores como tempo de latência na comunicação e segurança são fatores que não devem ser negligenciados. A simulação é uma alternativa para aprendizado e assegurar testes relacionados ao tema. Nesse projeto prático foi observado um tempo de latência significativo na comunicação OPC-UA, de aproximadamente 2 segundo de tempo de resposta.
- Ao se desenvolver e projetar um sistema que envolva simulação baseado na reprodução de processo de produção reais é importante o detalhada dos principais conceitos e a abstração de detalhes irrelevantes e muito muito complexos. Visando a simplificação de modelos e evitar que modelos de simulação e aprendizagem se tornem mais ou tanto complexo quanto sistemas reais.

5. Conclusão

O projeto prático desenvolvido é um exemplo de comissionamento virtual *off-line* e ao mesmo tempo uma aplicação de *Learning Factory* que aborda elementos comumente encontrados em sistemas industriais como o uso de controlador lógico programável para gerenciamento de atividade por meio de protocolos industriais como o OPC-UA. Esse projeto é um exemplo que pode ser empregado para o ensino e aperfeiçoamento de profissionais e estudantes sobre conceitos práticos e teóricos e por abordar conceitos básicos de um sistema ser a base para implementação de projetos mais complexo. Desta forma elucidou-se que um profissional da área de engenharia ao trabalhar com processos de simulação em *Learning Factory*, necessita cada vez mais de requisitos multidisciplinares: como o conhecimento em programação, automação, redes industriais, criatividade para soluções e inovações.

Referências

ABELE, Eberhard, et al. Learning factories for research, education, and training. **Procedia CIRP**, 2015, p. 1-6.

ADOLPH, Siri; TISCH, Michael; METTERNICH, Joachim. Challenges and approaches to competency development for future production. **Journal of International Scientific Publications—Educational Alternatives**, 2014, p. 1001-1010.

AUINGER, Franz; VORDERWINKLER, Markus; BUCHTELA, Georg. Interface driven domain-independent modeling architecture for “soft-commissioning” and “reality in the loop”. **In: Proceedings of the 31st conference on Winter simulation: Simulation---a bridge to the future-Volume 1**. 1999. p. 798-805.

CACHAY, Jan, et al. Study on action-oriented learning with a Learning Factory approach. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, 2012, p. 1144-1153.

EFSTRATIA, Douladelis. Experiential education through project based learning. **Procedia-social and behavioral sciences**, 2014, p. 1256-1260.

GOERKE, Matthias, et al. Holistic approach of lean thinking in learning factories. **Procedia CIRP**, 2015, p. 138-143.

JORGENSEN, Jens E., et al. The learning factory. **In: Proceedings of the Fourth World Conference on Engineering Education**, St. Paul, Minneapolis, USA. 1995.

RUŽAROVSKÝ, Roman; HOLUBEK, Radovan; SOBRINO, Daynier Rolando Delgado. Virtual Commissioning of a Robotic Cell Prior to its Implementation Into a Real Flexible Production System. **Vedecké Práce Materiálovotechnologickej Fakulty Slovenskej Technickej Univerzity v Bratislave so Sídrom v Trnave**, 2018.

SMITH, Jeffery S.; CHO, Yunchol. Offline commissioning of a PLC-based control system using Arena. **In: 2008 Winter Simulation Conference. IEEE**, 2008. p. 1802-1810.

TISCH, Michael, et al. Learning factory design: a competency-oriented approach integrating three design levels. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, 2016, p. 1355-1375.

VAIDYA, Saurabh; AMBAD, Prashant; BHOSLE, Santosh. Industry 4.0—a glimpse. **Procedia manufacturing**, 2018, 20: 233-238.

VÁZQUEZ GONZÁLEZ, José Luis, et al. An industrial automation course: common infrastructure for physical, virtual and remote laboratories for PLC programming. **International Journal of Online Engineering**, 2018, vol. 14, num. 08, p. 4-19, 2018.

WAGNER, Ulf, et al. The state-of-the-art and prospects of learning factories. **Procedia CIRP**, 2012, p. 109-114.