Incorporação de tecnologias habilitadoras da 4ª Revolução Industrial em células de manufatura didáticas

Mário Lucio Roloff*, Ellen Carla Baldo*

Laura da Silva*, Carlinhos Alves Ribeiro Júnior*, Eduardo Zampieri Dalposso*

**Instituto Federal Catarinense, Campus Rio do Sul, Rio do Sul/SC, 89163-644, Brasil
(e-mail: mario.roloff@ifc.edu.br. ellenbaldo@hotmail.com. laura.silva8@hotmail.com. carlinhos.ribeiro@ifc.edu.br. eduardo.dalposso@ifc.edu.br).*

Abstract: This paper presents the use of an IoT platform on mockups in the context of Industry 4.0. The goal is to spread IoT as one of Industry 4.0's enabling technologies and demonstrate that tailoring industries to this new paradigm can also be accessible to SMEs. IoT platforms for SMEs have different focus and characteristics than traditional platforms like AWS, Google Cloud, Azure, Watson, among others. Through simulations of industrial processes in mock-ups, we seek to understand and propose appropriate technological solutions for SMEs. This is accomplished by using IoT platforms in controlled industrial scenarios, the so-called Testbeds. This research uses two models with different architectures, one with a microcontroller-based mechatronic system and one with an industrial Programmable Logic Controller-based system. In this paper we will present the results achieved by integrating an IoT platform with an industrial process.

Resumo: Este artigo apresenta o emprego de uma plataforma de IoT em maquetes no contexto da Indústria 4.0. O objetivo é disseminar a IoT como uma das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 e demonstrar que adequar às indústrias a este novo paradigma também pode ser acessível às PMEs. As plataformas de IoT para PMEs possuem foco e características diferentes das plataformas tradicionais como AWS, Google Cloud, Azure, Watson, entre outras. Através de simulações dos processos industriais nas maquetes, busca-se o entendimento e a proposição de soluções tecnológicas adequadas às PMEs. Realiza-se isso com a utilização de plataformas IoT em cenários industriais controlados, os chamados Testbeds. Esta pesquisa utiliza duas maquetes com arquiteturas diferentes, uma com um sistema mecatrônico baseado em microcontrolador e outra com um sistema industrial baseado em Controlador Lógico Programável. Neste artigo será apresentado o resultado alcançado com a integração de uma plataforma de IoT com um processo industrial.

Keywords: Industry 4.0; Testbeds; IoT; PLC; microcontroller.

Palavras-chaves: Indústria 4.0; Experimentos; Internet das Coisas; CLP; microcontrolador.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente é consenso mundial, estamos vivendo a 4ª Revolução Industrial ou Indústria 4.0, como se popularizou. Pela primeira vez na história, é uma revolução industrial anunciada (HERMANN et al., 2015) (Fig. 1). O termo Indústria 4.0 foi primeiramente introduzido em 2011 na feira de Hannover em um relatório contendo recomendações ao governo alemão referindo-se a novas tecnologias de manufatura, automação e comunicação aplicadas a indústria. O relatório mostrava que a fábrica se transformaria em toda sua cadeia de valor, desde a aquisição de insumos, transporte, produção de bens até a entrega e mesmo o pós-vendas, com produtos dotados de memória digital, todo o processo estaria interconectado em redes inteligentes que contarão com dispositivos autônomos, seriam modulares, interoperáveis, descentralizados e responderiam a demandas dinâmicas em tempo real (WANG et al; 2016).

Schwab (2016) cita o elevado ritmo de mudanças que vivemos, a vastidão e a profundidade da oferta de tecnologias e o imenso impacto que devem trazer a humanidade como os fatores chave para o anúncio desta nova ruptura de paradigma.

A 4ª Revolução Industrial (Fig. 1) diferente das demais, aconteceu através de um planejamento estratégico para um novo conceito de produção, até então as indústrias eram voltadas somente para a produção em série, mas o foco se abriu para a qualidade e personalidade dos produtos, ou seja, a produção em escala passou de vários produtos iguais, para vários com características próprias de acordo com a vontade do consumidor.

Fig. 1 As revoluções industriais.

Esta temática está presente em inúmeros artigos científicos, alguns deles apresentam o estado da arte do tema Indústria 4.0 (LU, 2017) (PEREIRA & ROMERO, 2017) intimamente relacionado à Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT), Sistemas Ciberfísicos (*Cyber Physical System* - CPS), Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), Arquitetura Empresarial (*Enterprise Architecture* - EA) e Integração Empresarial (*Enterprise In- tegration* - EI).

Outra constatação, a produção em massa ainda é dominante, entretanto, cada vez mais o consumidor busca por exclusividade, o mercado voltado a produção em massa está se tornando saturado, por isso as indústrias buscam se desenvolver para produzir produtos personalizados. Nesse contexto a Automação Industrial ganha um novo objetivo: *a produção com relacionamento direto com o cliente*. Para isso é preciso possuir um sistema que concilie flexibilidade e tecnologia, com valor acessível, portanto, é necessário uma reorganização dos esquemas de produção como a transferência da produção em série para a produção em pequenas quantidades de produtos exclusivos e atender as demandas de foco no planejamento e valor (Fig. 2).

Visão da Tecnologia de Integração da Produção

Fig. 2 Novo paradigma da produção

No Brasil, segundo o SEBRAE (SEBRAE, 2019), as Microempresas (ME) e Empresas de Pequeno Porte (EPP) representam cerca de 98,5% do total de empresas privadas, respondem por 27% do PIB e são responsáveis por 54% do total de empregos formais existentes no país, ou seja, empregam mais trabalhadores com carteira assinada que as médias e grandes empresas. Neste cenário nosso objetivo é pesquisar soluções técnica e economicamente viáveis para a

transição dessas empresas da indústria tradicional para a indústria 4.0. Uma estratégia é utilizar os Testbeds (IIConsortium, 2019), que são experimentos controlados em um ambiente que representa a situação real para que se possa comprovar a efetividade técnica e econômica das soluções propostas, para a análise dos resultados seguindo com a posterior implementação das tecnologias que melhor funcionam em conformidade com a Arquitetura de Referência validada pela Associação Brasileira da Internet Industrial (ABII) e pelo Consórcio de Internet Industrial dos EUA (IIConsortium). A ABII e o IIConsortium adotaram 9 Tecnologias Habilitadoras (Fig. 3) da Indústria 4.0. A indústria 4.0 seria o topo da armação do guarda-chuva e interliga as suas várias pontas. No caso, nove pilares que impulsionarão o mercado industrial produtivo. A analogia é a seguinte: se as pontas estiverem abertas e em simetria, o guarda-chuva vai cumprir sua missão. Esses nove pilares foram definidos pelo Boston Consulting Group e estão representados na Fig. 3. E uma das tecnologias é a Internet das Coisas, com foco no emprego de plataformas IoT para a comunicação de/com/entre máquinas com a internet. Espera-se que tecnologia permita que as indústrias trabalhem com maior agilidade e permita um aprendizado autônomo.

Fig. 3 Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0.

2. IoT & INDÚSTRIA 4.0

Atualmente diversos pesquisadores buscam soluções para essa fábrica do futuro. Esta fábrica deverá ser capaz de atender demandas latentes como a redução do ciclo de desenvolvimento, prover produtos individualizados, ter tomada de decisão mais rápida, alta flexibilidade e usar de maneira mais eficiente os recursos (LASI e KEMPER, 2014, p1).

Algumas tecnologias já vem sendo empregadas em diversos campos da indústria e se espera que cada vez mais estejam integradas e se tornem fator decisivo de competitividade. Entre estas tecnologias que prometem transformar o mundo que conhecemos cita-se: inteligência artificial, robótica, internet das coisas, veículos autônomos, impressoras 3D, nanotecnologia, biotecnologia e computação quântica (CHUNG e KIM, 2016).

“No futuro, os negócios estabelecerão redes globais que incorporarão seu maquinário, sistemas de armazenamento e as instalações industriais na forma de Sistemas Ciber-Físicos (CPS - *Cyber Physical Systems*). Neste ambiente de manufatura, estes Sistemas Ciberfísicos compreenderão

máquinas inteligentes, sistemas de armazenagem e instalações industriais capazes de trocar informações de maneira autônoma, disparar ações e controlar uns aos outros de maneira independente. Isto facilitará fundamentalmente melhorias nos processos produtivos quanto a manufatura, engenharia, uso de materiais, e na cadeia de fornecimento e gerenciamento do ciclo de vida do produto. As fábricas inteligentes, que já estão começando a aparecer, empregam uma abordagem de produção completamente nova. Produtos inteligentes são identificáveis de maneira única, podem ser localizados a qualquer momento e pode ser consultado seu histórico, seu estado corrente e rotas alternativas para chegar a seu estado final.” (KAGERMANN, H. et al., 2013, p. 5)

O tema Indústria 4.0 foi discutido em 2016 no Fórum Econômico Mundial de DAVOS, Suíça, como tema central do fórum - Quarta Revolução Industrial. No Brasil, o termo oficial utilizado é Manufatura Avançada. Como a alemã, essa iniciativa foi iniciada pelo governo (www.industria40.gov.br). O governo possui grupos de trabalho no tema com a participação da Associação Brasileira da Internet Industrial (ABII) e da Confederação Nacional da Indústria (CNI) com o SENAI atuando como braço da educação. O organizador da Manufatura Avançada é o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços e os principais incentivadores são as empresas multinacionais – com destaque para as alemãs, muito presentes no país.

O elemento fundamental desta revolução seria a fusão do mundo real da manufatura com o mundo virtual da rede mundial de computadores tornando possível que a produção seja mais individualizada e flexível, como já foi dito. Neste cenário, podem ser apontados como trabalhos representativos, o relatório publicado em 2012 pela McKinsey (MGI, 2012) denominado *Manufacturing the future: the next era of global growth and innovation*, e o artigo de 2015 da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 2015), intitulado *Enabling the next production revolution: issues paper*. Ambos procuram situar o processo de transformação da atividade manufatureira em um contexto de mudanças na economia global, destacando os requisitos dessas mudanças e as suas implicações para as economias avançadas.

3. AS MAQUETES & A ESTRATÉGIA

Para colocar em prática o uso de uma das Tecnologias Habilitadoras foram selecionadas duas células didáticas de manufatura (chamadas comumente de maquetes). A meta foi demonstrar que a IoT pode ser aplicadas também em linhas ou processos não-críticos com investimento reduzido. Uma das maquetes é baseada em um microcontrolador que está em inúmeros processos industriais. A outra baseada em um Controlador Lógico Programável (CLP) também amplamente difundido no chão-de-fábrica.

A maquete baseada em microcontrolador (Fig. 4) possui a finalidade de simular alguns processos de fabricação em peças cilíndricas e separá-las entre àquelas que possuem acabamento com metal (aprovadas) e àquelas sem metal (reprovadas). Os dispositivos presentes nesta maquete são: servomotores para movimentação do braço, da mesa e

abertura e fechamento da garra; sensores, de fim de curso, capacitivos, indutivos, atuadores lineares, sinalizadores luminosos e chaves físicas (como botão de liga, desliga e emergência).

A estratégia proposta foi atualizar tecnologicamente a maquete inserindo controladores que possibilitassem o controle e supervisão do processo baseado em nuvem (*Cloud Computing*) em uma plataforma de IoT para processos industriais. Através da plataforma IoT é possível visualizar e fazer o controle do processo, ou seja, receber e enviar comandos remotamente para o processo.

Diante disso, nossa estratégia para o controle dos dispositivos e envio dos dados pela WiFi foi a substituição do microcontrolador original, baseado na arquitetura 80x51, por um da família ESP32. O ESP32 (<https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp32/overview>) é um microcontrolador popular no mercado, apresenta facilidade de programação (pode utilizar a mesma IDE do Arduino), entradas/saídas configuráveis e para atender ao perfil das PMEs, baixo custo (cerca de 40 R\$ no Brasil). O seu conjunto de Entradas/Saídas, tanto digitais como analógicas (com 10 bits de resolução), permitem a interação com os sensores e atuadores da maquete. Possui ainda um módulo WiFi (e Bluetooth) incluído, permitindo sua comunicação com a plataforma de IoT sem intermediários. Sucintamente, o microcontrolador recebe os dados dos sensores da maquete e envia as informações necessárias para a plataforma de IoT LOSANT (www.losant.com) pela WiFi. Também pode ocorrer o caminho inverso, onde o usuário faz o acionamento de atuadores ou configuração do processo por meio da plataforma de IoT LOSANT. O microcontrolador recebe estas informações e realiza os acionamentos nos dispositivos da maquete conforme especificado.

Fig. 4 Maquete baseada em Microcontrolador 80x51

A plataforma de IoT LOSANT é uma das inúmeras plataformas propostas para IoT Industrial. Dentre as avaliadas nesta pesquisa, foi a plataforma que atendeu satisfatoriamente os requisitos temporais e de usabilidade impostos. A plataforma possui uma versão gratuita e a versão *enterprise* (paga). Para o *TestBed*, a licença aberta já atendeu aos requisitos e contribuiu para que a solução seja tecnologicamente e financeiramente aceitável. A Fig. 5 apresenta a interface de monitoramento e comando da maquete na plataforma de IoT. Em (1) temos a imagem da planta; em (2) a interface de controle da maquete (iniciar,

pausar e emergência); em (3) o resultado da análise da peça atual (aprovada/reprovada); em (4) o estado de cada estação de processamento.

Fig. 5 Interface desenvolvida no Losant

O outro TestBed foi realizado com uma maquete com foco industrial. Esta maquete é baseada em um Controlador Lógico Programável (CLP) e possui um custo superior (cerca de 30.000,00 R\$). Apesar de ser em escala reduzida, os componentes são os mesmos presentes no chão-de-fábrica. A maquete (Fig. 6) possui atuadores pneumáticos, balança, sensores indutivos e capacitivos e motores elétricos do tipo CC. Para o controle da maquete foi utilizado um CLP Siemens S7 1200, o mesmo também faz o envio dos dados para um software TIA Portal da SIEMENS. O CLP também pode enviar seus dados para outros sistemas por diversas estratégias, como: TCP/IP, WebServer e HTTP. A finalidade da maquete é selecionar os cilindros que são de metal, simular processos com os mesmos e fazer a separação entre os cilindros com furação e os sem furação por meio da aferição na balança.

Fig. 6 Maquete baseada em CLP

Para enviar e receber os dados necessários foi novamente empregada a plataforma de IoT LOSANT só que empregando a estratégia do *Edge Agent* instalado em uma Raspberry Pi ou poderia ser qualquer outra plataforma baseada em PC. O *Edge Agent* permite a abordagem de *Edge Computing* onde o acesso a planta é realizado pela Raspberry Pi conectada via cabo com o CLP da S7 1200 e após conexão com o CLP os dados são recebidos e enviados para a plataforma de IoT LOSANT pelo componente *Edge Agent* instalado na

Raspberry Pi. O *Edge Agent* é uma entidade de software programada com o objetivo de receber/enviar mensagens via protocolo MODBUS TCP para o *Web Server* do CLP S7 1200 em uma ponta e na outra faz a conexão com a plataforma LOSANT via protocolo MQTT também enviando/recebendo mensagens da nuvem (Fig. 7). Sendo assim, qualquer dispositivo autorizado na plataforma IoT pode se conectar com a maquete e então visualizar e/ou acionar os dispositivos habilitados para tal finalidade.

Fig. 7 Losant Edge Agent estratégia. Fonte: Adaptado de losant.com

Na plataforma de IoT é possível monitorar o estado de todos os sensores e atuadores da maquete com CLP com um tempo de amostragem de 1s (Fig. 8). Essa limitação está definida pela plataforma de IoT. Esta limitação pode ser uma limitação para algum tipo de aplicação com restrições de tempo real (hard realtime). Contudo, o foco da pesquisa são para processos não críticos, e estratégias alternativas podem ser desenvolvidas na implementação no CLP.

Fig. 8 Interface de monitoramento de sensores/atuadores da maquete com CLP

4. RESULTADOS

Os resultados alcançados até o momento podem ser classificados em objetivos e subjetivos. Quanto aos resultados objetivos:

- pesquisa e seleção de uma plataforma de IoT que atenda às PMEs: foram pesquisadas inúmeras plataformas, que foram reduzidas a 5 e a selecionada foi a plataforma LOSANT por melhor atender as necessidades do projeto (aberta, chão-de-fábrica, edge computing, integração com CLP, plataforma perene);

- construção de dois TestBeds: foi implementada um experimento utilizando uma abordagem baseada em microcontrolador e outra utilizando a Raspberry Pi como componente *edge computing*;
- comprovação técnica: os dois experimentos funcionaram satisfatoriamente inclusive em testes de longa duração (7dias x 24h). Cabe agora aprofundar a pesquisa em dados quantitativos quanto ao desempenho (tempo de resposta, latência, simulação de perturbações).

Os resultados subjetivos já obtidos com as atividades de pesquisa e desenvolvimento utilizando esta abordagem são os seguintes:

- capacitação de servidores e bolsistas na tecnologia de IoT relacionada à Indústria 4.0;
- consolidação dessa linha de pesquisa no grupo de pesquisa INOVA (<http://mecatronica.ifc-riodosul.edu.br/inoва>) com atividades de pesquisa (como esta) e extensão (curso de capacitação em Indústria 4.0 ofertado em 2018/02);
- participação em evento regional - 1ª FAPE (Feira Acadêmica de Projetos de Engenharia) – com a oferta de uma demonstração da maquete baseada em microcontrolador adequada para à Indústria 4.0 para a comunidade externa;
- submissão dos resultados do trabalho para este congresso e outros eventos científicos como FETEC 2019 (campus), MICTI 2019 (institucional) e COBENGE 2019 (nacional);
- avaliação de várias plataformas de IoT (*Internet Of Things*) candidatas a atenderem aos requisitos da pesquisa e da Indústria 4.0. O foco da proposta são plataformas abertas ou acessíveis para pequenas e médias empresas, não se exploraram as plataformas de empresas como General Electric's Predix, Oracle Integrated Cloud, Bosch IoT Suite, Mindsphere by Siemens, Cisco IoT Cloud Connect, IBM Watson, Google Cloud Platform, Microsoft Azure IoT, Amazon Web Services (AWS) IoT pois seus custos são proibitivos para PME;

5. PERSPECTIVAS FUTURAS

As próximas metas a médio prazo para o projeto de pesquisa consistem em:

- divulgar esses *TestBeds* para comunidade externa como forma de incentivar a adoção de IoT como tecnologia habilitadora da Indústria 4.0;
- aprofundar os testes quantitativos com a plataforma de IoT selecionada e comparar com outra(s) plataforma(s) pesquisada(s);
- realizar ações de capacitação da comunidade interna e externa.

6. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou os resultados até o momento de uma linha de pesquisa que tem como objetivo disseminar a viabilidade técnica da implantação das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 no contexto de máquinas e processos não-críticos de PMEs.

A abordagem está fundamenta nos seguintes pilares (Fig. 8): (i) emprego de plataforma IoT industrial aberta; (ii) substituição de controladores obsoletos OU acoplamento de controladores da família ESP32 a sistemas legados; (iii) emprego de *Edge Computing* para viabilizar a conectividade de sistemas legados offline à internet (via *Losant Edge Agent*); (iv) disseminação das tecnologias via capacitação de profissionais com cursos de curta duração baseados na aprendizagem baseada em projetos; (v) foco em soluções para PME com processos e máquinas não-críticos.

Fig. 8 Pilares da pesquisa em IoT para Indústria 4.0 no contexto de PMEs

AGRADECIMENTOS

Este projeto de pesquisa do INOVA Mecatrônica recebeu apoio financeiro do IFC (Instituto Federal Catarinense – Campus Rio do Sul e Reitoria) e do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) através de editais de fomento à pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico com a concessão de recursos para custeio e capital e bolsas de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

- KAGERMANN, H. et al. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Group of the Industry-Science Research Alliance. 2013.
- HERMANN, M.; PENTTEK, T.; OTTO, B. (2015) *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*. Working Paper No. 01 / 2015.
- LASI, Heiner, KEMPER. Hans-Georg. (2014) *Industry 4.0*. Business & Information Systems Engineering. 2014.
- LU, Yang. (2017) Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*. Volume 6, Junho 2017, Pgs 1-10. DOI: 10.1016/j.jii.2017.04.005

MGI - MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. (2012)
*Manufacturing the future: the next era of global growth
and innovation*. [S.1]: McKinsey & Company, 2012.

OECD - ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-
OPERATION AND DEVELOPMENT. (2015) *Enabling
the next production revolution: issues paper*.
Background document prepared for the Danish
Production Council conference "Shaping the Strategy for
Tomorrow's Production" em Copenhagen. Directorate
for Science, Technology and Innovation. Committee on
Industry, Innovation and Entrepreneurship. March, 2015.

PEREIRA, A. C., ROMERO, F. A review of the meanings
and the implications of the Industry 4.0 concept.
Manufacturing Engineering Society Internacional
Conference 2017. Procedia Manufacturing 13 (2017)
1206-1214.

SCHWAB, Klaus. (2016) *The Fourth Industrial Revolution*.
Kindle Edition. 2016.

WANG S., WAN J., ZHANG, D., LI, D., ZHANG, C. (2016)
*Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized
multi-agent system with big data based feedback and
coordination*. ELSEVIER. Computer Networks 101
(2016) 158–168. 2016.

IIConsortium (2019). *Industrial Internet Consortium -
Testbeds*. Conteúdo disponível no endereço:
<https://www.iiconsortium.org/test-beds.htm>. Acesso em:
14/04/2019.

Sebrae (2018). Perfil das Microempresas e Empresas de
Pequeno Porte. Disponível em:
[http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/
RO/Anexos/Perfil%20das%20ME%20e%20EPP%20-
%2004%202018.pdf](http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/RO/Anexos/Perfil%20das%20ME%20e%20EPP%20-%202004%202018.pdf). Acesso em: 01/05/2019.