

# INDUSTRIA 4.0 A DIGITALIZAÇÃO DA MANUFATURA: UM CASO DE ESTUDO

## INDUSTRY 4.0 THE DIGITALIZATION OF MANUFACTURING: A CASE STUDY

Data de entrega dos originais à redação em: 09/06/2020  
e recebido para diagramação em: 26/04/2021

Cleiton Rodrigues Mendes <sup>1</sup>

Fabio Silva Bortoli <sup>2</sup>

Cesar da Costa <sup>3</sup>

A digitalização da manufatura, também conhecida como Indústria 4.0, é a quarta revolução industrial que está sendo substanciada ao conectar sistemas ciber-físicos a bancos de dados armazenados via computação em nuvem, permitindo a aquisição de dados em tempo real por programas de gerenciamento do sistema produtivo. Esta pesquisa apresenta um estudo de caso da digitalização de uma célula didática de manufatura localizada no IFSP-Instituto Federal de São Paulo, Campus São Paulo. Este estudo categoriza as tecnologias de digitalização da manufatura em duas partes: (i) interface homem-máquina e (ii) conectividade. A interface homem-máquina incluiu a implementação de um novo controlador lógico programável que permitiu a aquisição de dados por meio de um sistema de controle de supervisão e aquisição de dados (SCADA). A conectividade permitiu o armazenamento de informações intrínsecas ao processo de produção na computação em nuvem. A digitalização da célula de manufatura resultou em uma maior conectividade e uma melhoria significativa no armazenamento das informações no processo de produção, que permitiu o acesso remoto por meio de dispositivos eletrônicos conectados à Internet. Esta pesquisa modernizou uma célula didática de manufatura, que seguia o modelo ISA-95 (Indústria 3.0), em direção as tecnologias e tendências da Indústria 4.0.

Palavras-chave: Conectividade. Internet das Coisas. Computação em Nuvem. Industria 4.0

*The digitalization of manufacturing, also known as Industry 4.0, is the fourth industrial revolution that is being substantiated by connecting cyber-physical systems to databases stored via cloud computing, enabling data acquisition in real time by management programs of the productive system. This research presents a case study of the digitalization of a manufacturing didactic cell located at IFSP-Federal Institute of São Paulo, Campus Sao Paulo. This study categorizes the digitalization technologies of manufacturing into two parts: (i) human-machine interface and (ii) connectivity. The human-machine interface included the implementation of a new programmable logic controller that can enable data acquisition through a Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) system. The connectivity enables information storage that is intrinsic to the production process in cloud computing. The manufacturing cell resulted in greater connectivity and a significant improvement in the storage of information in the production process that provided remote access through electronic devices connected to the internet. This research modernized a manufacturing didactic cell that previously followed the ISA-95 model (Industry 3.0) to the technologies and trends of Industry 4.0.*

*Keywords: Connectivity. Internet of Things. Cloud Computing. Industry 4.0.*

## 1 INTRODUÇÃO

Uma nova revolução industrial, a Indústria 4.0, está sendo conceituada e está mudando a forma de ensinar automação da manufatura nas Universidades brasileiras. Esse novo conceito propõe a integração de tecnologias de informação (T.I) e a automação industrial, criando uma rede inteligente de produtos e serviços chamada Internet das Coisas (IoT). O principal aspecto desses conceitos é a alta conectividade entre todos os níveis hierárquicos da pirâmide de automação (Figura 1). Com atualizações de dispositivos (hardware) e novos conceitos (software) na área de automação

industrial, os padrões técnicos foram atualizados e outros estão sendo desenvolvidos para organizar e padronizar esse novo cenário industrial no Brasil (RYMASZEWSKA et al, 2017; DELSING, 2017; SHAHZAD et al, 2014; SCHWEICHHART, 2016). A Figura 1 apresenta a pirâmide de automação de acordo com o modelo ISA-95 (Industria 3.0).

A computação em nuvem foi introduzida recentemente na automação industrial, porque se apresenta como uma infraestrutura virtual que permite o uso de sistemas, plataformas e serviços de software sem a necessidade de um servidor físico.

1 - Mestrado Automação e Controle IFSP- Campus São Paulo. < cleitonrmendes@gmail.com >.

2 - Prof. Titular Mestrado Automação e Controle IFSP- Campus São Paulo.

3 - Prof. Titular Mestrado Automação e Controle IFSP- Campus São Paulo. < cost036@hotmail.com >.

Figura 1 – Pirâmide de automação Industrial de acordo com o modelo ISA-95 (SCHWEICHHART, 2016)



De acordo com Shahzad et al. (2014), algumas empresas implementaram uma infraestrutura em nuvem para resolver problemas como acesso a dados, custos de atualizações de software, armazenamento limitado e recuperação de backup. Segundo Xu (2012), em ambientes colaborativos, a IoT e a nuvem são identificadas como as principais tendências em tecnologia de negócios, que remodelarão as empresas atuais. Outro aspecto importante adicionado à nuvem é o fornecimento de serviços de computação sob demanda com alta confiabilidade, escalabilidade e capacidade de estar em um ambiente distribuído (DA COSTA et al, 2016).

Esta pesquisa pretende implementar a digitalização de uma célula didática de manufatura, localizada no Instituto Federal de São Paulo (IFSP), campus São Paulo. A célula didática de manufatura havia sido adquirida, para fins de ensino, seguindo o modelo ISA-95 (Indústria 3.0). Atualmente apresentou alguns problemas, quando comparada a uma célula de manufatura moderna inserida no contexto da Indústria 4.0. Os principais problemas encontrados foram: (i) **interface homem-máquina**, que não permitia a comunicação entre o sistema de supervisão e controle (SCADA) e os sistemas corporativos (T.I.); (ii) **ausência de conectividade**, que impedia o acesso remoto aos sistemas armazenados na computação em nuvem, via Internet.

A pesquisa ocorreu em duas etapas, a primeira referente à tecnologia de automação e a segunda referente à tecnologia da informação. Do ponto de vista da tecnologia de automação, foram implementados um novo controlador lógico programável, uma rede industrial (*Profinet*) e um sistema de supervisão de aquisição de dados SCADA. Em relação à tecnologia da informação, foi implementado um serviço para armazenar algumas informações do processo da célula de manufatura na computação em nuvem e um aplicativo IoT para acesso remoto.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 1 apresenta uma introdução geral do tema estudado. A Seção 2 fornece uma base teórica sobre modelo de referência ISA-95, modelo de referência RAMI 4.0, Indústria

4.0, computação em nuvem e sistema SCADA. A Seção 3 apresenta os procedimentos de testes e as arquiteturas desenvolvidas para o controlador lógico programável (CLP), sistema SCADA e a computação em nuvem, enquanto a Seção 4 fornece os resultados e a conclusão.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Modelo de Referência ISA-95

O modelo ANSI / ISA-95 foi desenvolvido nos EUA e serviu para empresas de manufatura, como modelo de referência padrão (Indústria 3.0) e para a organização de atividades de produção e automação, incluindo: integração, terminologias e modelos de processos.

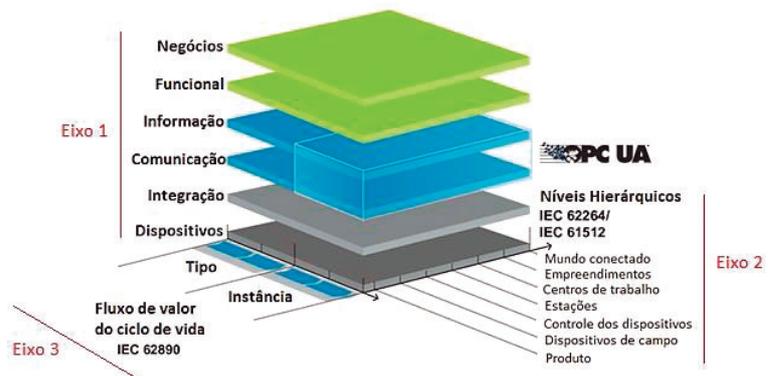
O modelo ISA-95 não define como o sistema de automação deve ser desenvolvido, mas as terminologias, requisitos funcionais e informações que devem ser utilizados para garantir a interface transparente e flexível entre os níveis de controle e gerenciamento de fabricação. O modelo de referência ISA-95 é geralmente representado por uma pirâmide de automação (Figura 1) dos níveis hierárquicos dos sistemas de automação. Segundo Schweichhart (2016), as principais características do modelo são: (i) uma estrutura baseada em hardware; (ii) as funções estão vinculadas ao hardware; (iii) a comunicação é baseada em hierarquia e (iv) o produto é isolado.

O padrão ANSI / ISA-95 cria um modelo para conectar e trocar dados entre sistemas de negócios (*Enterprise Resource Planning-ERP*) e sistemas operacionais da planta (*Manufacturing Execution System-MES*). Essa conexão é chamada de *Business to Management* (B2M). Esse padrão segmenta os níveis hierárquicos da pirâmide de automação da seguinte forma: os níveis 1 e 2 são inerentes ao controle e automação do chão de fábrica; O nível 3 corresponde ao gerenciamento das operações de fabricação; O nível 4 está relacionado ao planejamento e logística dos negócios e o nível 5 aos sistemas de tomada de decisão.

### 2.2 Modelo de Referência RAMI 4.0

O padrão tradicional ISA-95 é orientado para um modelo hierárquico. O modelo de referência RAMI 4.0 (Indústria 4.0) consiste em três eixos distintos (SCHWEICHHART, 2016). (i) hierarquia de níveis, eixo 1; (ii) ciclo de vida do produto, eixo 2; (iii) arquitetura organizacional, eixo 3. A Figura 2 ilustra a arquitetura do modelo de referência RAMI 4.0 para Indústria 4.0.

Figura 2 - Arquitetura do Modelo de referência RAMI (SCHWEICHHART, 2016)



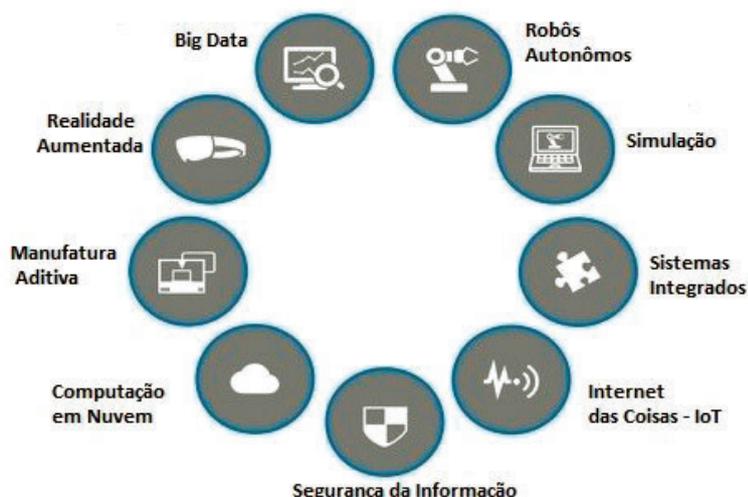
O eixo 1 mostra os níveis hierárquicos da fábrica (dispositivos, integração, comunicação, informação, funcional e negócios) faz a conexão entre o mundo físico e o mundo digital. No segundo eixo está contida a hierarquia que é responsável pelos dados da fábrica, integrando sistemas flexíveis e máquinas por meio de redes industriais que podem se conectar por todos os níveis da empresa. A diferença em relação a antiga pirâmide, é que todos os níveis podem se comunicar entre si sem uma sequência definida. No terceiro eixo o ciclo de vida do produto está dividido em duas partes: o tipo e a instância. No tipo, pretende-se estabelecer o desenvolvimento em que o planejamento, a construção, a simulação e a prototipagem formam o plano de construção. Na instância, a produção é conceituada pela fabricação e as características do produto. Na instância também é conceituada a gestão da instalação, em que os serviços utilizados, a manutenção, a reutilização e o descarte servem de apoio à manufatura.

### 2.3 Indústria 4.0

De acordo com Da Costa et al. (2017), o impacto da indústria 4.0 vai além da simples digitalização, para uma forma mais complexa de inovação baseada na combinação de múltiplas tecnologias, que forçarão as empresas a repensarem como gerenciar os seus negócios e processos, como se posicionar na cadeia de valor, como pensar em desenvolver novos produtos e apresentá-los ao mercado, ajustando, assim, suas ações de marketing e distribuição.

Os pilares da Indústria 4.0 (Figura 3) formam um conjunto de nove tecnologias e tendências facilitadoras: (i) Segurança da Informação; (ii) Realidade Aumentada; (iii) Big Data; (iv) Robôs Autônomos; (v) Simulações; (vi) Manufatura Aditiva; (vii) Sistemas Integrados; (viii) Computação em Nuvem e (ix) Internet das Coisas – IoT (FOSTER et al, 2018).

Figura 3 - Os nove pilares da Indústria 4.0 (FOSTER et al, 2018)



### 2.4 Computação em Nuvem

A computação em nuvem consiste em armazenar dados em servidores virtuais. Tem a vantagem de poder acessar dados remotamente, de qualquer lugar do mundo, a qualquer momento. Outra vantagem é que não requer a

instalação de grandes programas em discos rígidos físicos (KONO et al, 2014). De acordo com Drath et al. (2014), os dados podem ser armazenados e processados na nuvem, como documentos podem ser alocados e modelos 3D podem ser criados. Com o aumento considerável do fluxo de dados na computação em nuvem, algoritmos complexos precisam ser desenvolvidos para organizar e tornar essas informações inteligentes. A análise dos dados armazenados na computação em nuvem é definida como big data (DRATH et al, 2014). Nesse novo cenário, novos serviços podem ser implementados, conectando objetos / usuários físicos para personalizar serviços, conforme mostrado na Figura 4

Figura 4 - Computação em nuvem (SCHWEICHART, 2016)



### 2.5 Sistema SCADA

O sistema de supervisão SCADA é usado para sistemas de automação industrial, que possuem um alto fluxo de informações e requerem o uso de um banco de dados. O sistema SCADA é composto de hardware e software específico, que supervisionam e controlam um processo de produção de uma célula de fabricação integrada (UNVER, 2013). Na arquitetura do modelo ISA-95, o sistema SCADA está inserido no nível 2 da pirâmide de automação (Figura 1) e é responsável pela supervisão do sistema de produção. Para comunicação entre os vários dispositivos com o sistema SCADA, são utilizadas as seguintes redes industriais: Ethernet TCP / IP, Fieldbus, Profibus, Modbus, Profinet, AS-I e CAN.

Ao contrário do padrão ISA-95, com a inserção dos conceitos de indústria 4.0, os sistemas SCADA são integrados aos sistemas armazenados na computação

em nuvem. Para os usuários, o principal benefício dessa integração é reduzir custos e diminuir o tempo de configuração (CHURCH et al, 2017). Com o uso da computação em nuvem em áreas industriais, os sistemas SCADA não precisam ter um servidor físico, podendo armazenar dados virtualmente. A vantagem é que vários dispositivos do mundo físico podem ser incluídos, gerando uma infraestrutura baseada em serviços (COLOMBO et al, 2014). Os recursos da computação em nuvem são adquiridos sob demanda, a um custo menor do que os sistemas propostos pelo modelo ISA-95, que exigem hardware com configurações avançadas e software com custos maiores. Com a implementação de uma arquitetura orientada a serviços (SOA), a computação em nuvem pode atender aos requisitos industriais, pois esses serviços contribuem com suporte, oferecem agilidade e operam em um ambiente heterogêneo, como mostra a Figura 5 (LOJKA et al, 2016; KAPIL et al, 2017).

### 3 PROCEDIMENTOS DE TESTES

#### 3.1 Materiais e Métodos

Este trabalho tem como objetivo a digitalização de uma célula didática de manufatura, localizada no Laboratório de Automação e Controle do Instituto Federal de São Paulo (IFSP), para fins de ensino. A Figura 6 apresenta a célula didática de manufatura (Modelo DLB CIM B, fabricado pela empresa De Lorenzo) utilizada na parte experimental deste trabalho.

O foco da digitalização proposta nesta pesquisa foi a aplicação das tecnologias SOA e a computação em nuvem, passo importante na evolução da Indústria 3.0 rumo a Indústria 4.0, atualmente em curso nas indústrias brasileiras.

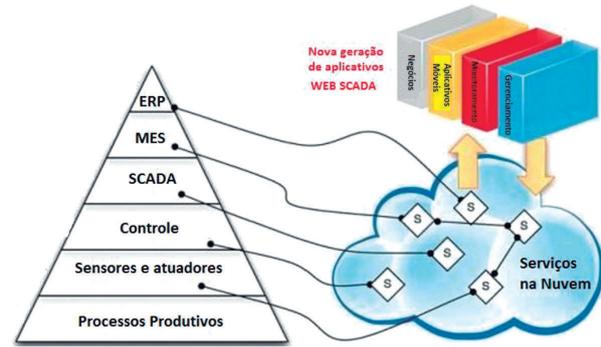
A solução industrial baseada em SOA foi implementada com os seguintes dispositivos: um controlador lógico programável -CLP, um banco de dados baseado em sistema SCADA e a integração de serviços de softwares na computação em nuvem.

Esses componentes integram serviços, que interagem entre si. Os serviços aumentaram a funcionalidade e a conectividade entre o chão de fábrica

Figura 6 - Célula de manufatura didática instalada no Campus São Paulo do IFSP.

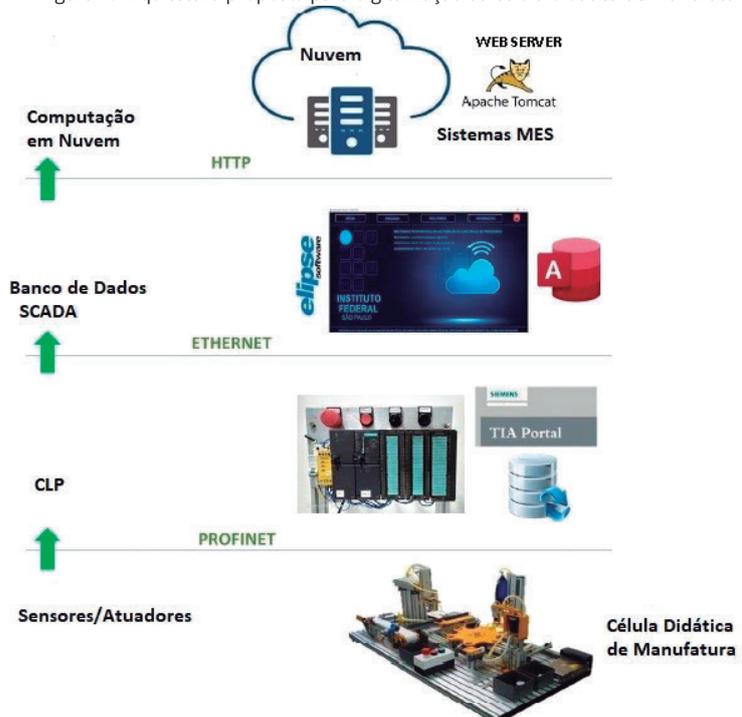


Figura 5 - Sistema SCADA baseado na arquitetura SOA (LOJKA et al, 2016)



e os sistemas armazenados na computação em nuvem. Uma arquitetura baseada em sistema SCADA e sistema MES orientados a serviços foi desenvolvida. Essa digitalização suporta conexões horizontais e verticais, como comunicação entre sistemas corporativos, dispositivos de chão de fábrica e controladores.

Figura 7. Arquitetura proposta para digitalização da célula didática de manufatura.



Essa conectividade é uma parte importante da Indústria 4.0 para integração de software horizontal / vertical, Internet das Coisas - IoT, computação em nuvem e big data. A Figura 7 apresenta a arquitetura proposta para digitalização da célula didática de manufatura.

#### 3.2 ARQUITETURA DO CONTROLADOR LOGICO PROGRAMÁVEL

A arquitetura proposta foi baseada no controlador lógico programável – CLP modelo S7-317F 2PN / DP e no software TIA Portal (versão 15) da empresa Siemens. A programação do CLP foi

realizada na linguagem Grafcet (Figura 8), seguindo o padrão IEC 60848. O diagrama Grafcet foi usado como uma ferramenta de modelagem do sistema, ajudando a definir uma representação gráfica do comportamento da célula didática de manufatura. O CLP incluiu a lógica de controle e a programação focada na aquisição de dados, alarmes e controle remoto.

Os sensores, atuadores e dispositivos de campo comunicam-se com o CLP através de uma rede industrial Profinet. Um banco de dados foi programado no CLP para armazenar e enviar dados ao sistema SCADA. Nesse banco de dados foram criadas as variáveis, que interagem com o sistema SCADA

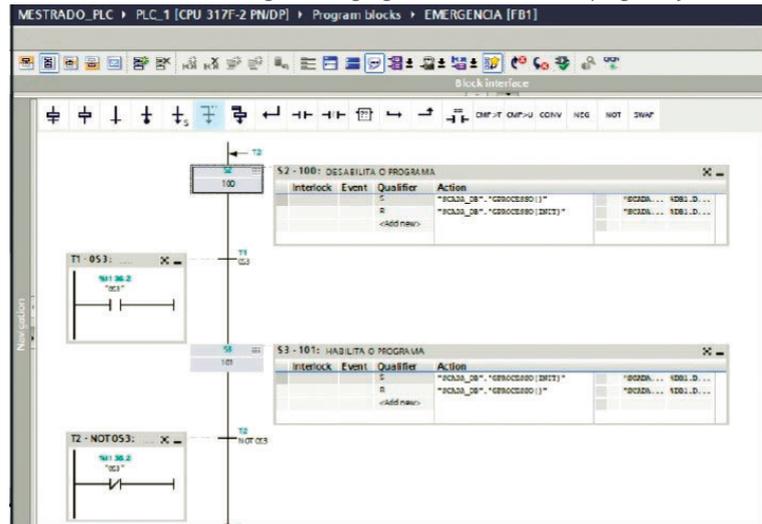
### 3.3 Arquitetura do Sistema SCADA

O sistema SCADA é responsável pelas seguintes funções: alarmes, controle, gerenciamento de dados, Interação Homem-Máquina (IHM), gerenciamento do ciclo de vida do produto, monitoramento do processo, gerenciamento de recursos, programação e análise de desempenho. A arquitetura do sistema de supervisão SCADA é baseada no software E3 Studio (versão 5.0.432) da Elipse (Figura 3). A rede Ethernet (protocolo TCP / IP) foi utilizada para comunicação entre o controlador lógico programável – CLP e o sistema SCADA.

Na tela de processo (Figura 9) foi desenvolvido um painel “3D” que acompanha o funcionamento da célula de manufatura dinamicamente. Logo abaixo deste painel, tem um campo de mensagens que faz o acompanhamento da produção em forma de texto. Foi desenvolvido também um campo de mensagem que informa o status da célula de manufatura. Neste caso, é informado se a célula está em funcionamento normal ou em emergência. No campo de identificação do operador é informado qual operador produziu a peça, e no campo de status da peça atual, é informado no término do processo produtivo se a peça foi aprovada ou rejeitada.

O sistema SCADA atua como uma interface entre a célula de manufatura (sistema físico) e o banco de dados na computação em nuvem

Figura 8. Linguagem Grafcet utilizada na programação do CLP



(sistema virtual). Outro aspecto importante obtido como resultado da implementação do sistema SCADA, foi a rastreabilidade do sistema de produção. O banco de dados do sistema SCADA possui uma escalabilidade que insere uma linha a cada evento de produção de peça, informando: data e hora da produção, qual era a condição de funcionamento da célula, qual colaborador estava operando a célula e qual foi o resultado final da produção da peça, de acordo com a Figura 10.

Figura 9 - Tela do sistema de SCADA

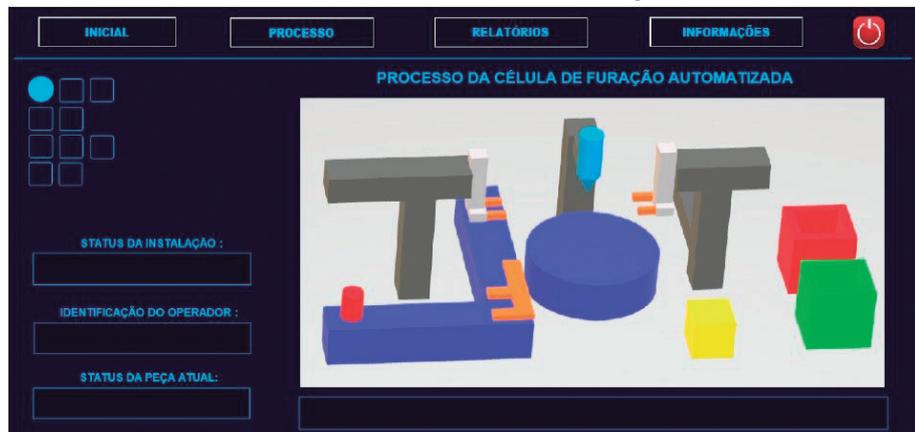


Figura 10 - Tela de gerenciamento das peças produzidas



### 3.4 Arquitetura para Computação em Nuvem

A tecnologia IoT suportou a interconexão entre o banco de dados SCADA e a computação em nuvem. A computação em nuvem foi desenvolvida pelo espelhamento do banco de dados provindo do sistema SCADA.

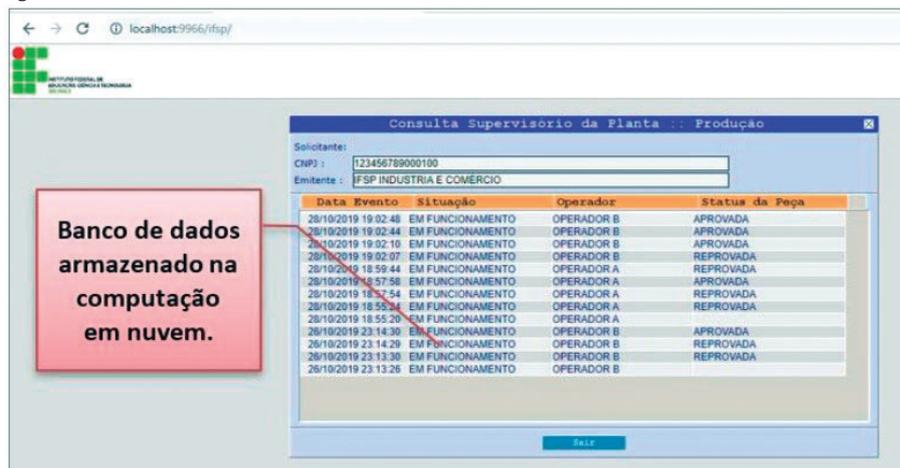
O servidor de aplicativos usou o software Apache Tomcat, um servidor de web de código aberto desenvolvido pela empresa Apache software foundation. Após a configuração no Tomcat, o sistema foi preparado para funcionar como um servidor de web. No site <http://localhost:9966/manager> foram feitas parametrizações para que o sistema pudesse ser transferido do banco de dados SCADA para um banco de dados virtual na nuvem. Este procedimento executou a aquisição das informações do processo de fabricação, atualizando o banco de dados na nuvem. Essa nuvem é privada, os dados armazenados são escalonáveis e podem ser acessados em <http://localhost:9966/IFSP>.

Observou-se que as informações podem ser acessadas remotamente por qualquer dispositivo eletrônico, por exemplo, um tablet, com acesso à internet, obtendo uma taxa de atualização que considera um tempo de retardo de 19 segundos. O processo de comunicação ocorreu com a seguinte trajetória: um dado processado no CLP é enviado para o banco de dados no sistema SCADA, em seguida, é enviado para o banco de dados armazenado na computação em nuvem. Serviços com funcionalidade SCADA, HMI e MES foram implementados. Com essa implementação, alguns serviços foram disponibilizados, como por exemplo, um cliente de tablet Windows pode monitorar remotamente o desempenho da célula de fabricação, acessando um aplicativo cliente MES por meio da computação em nuvem. A Figura 11 apresenta a tela de um acesso remoto as informações de produção, obtidas na computação em nuvem.

## 4 CONCLUSÕES

Esta pesquisa permitiu que uma célula didática de manufatura, que seguia anteriormente o modelo ISA-95 (Indústria 3.0) fosse modernizada com as tecnologias e tendências da Indústria 4.0, para fins de atualização do ensino de automação industrial no Instituto Federal de São Paulo - IFSP. Este trabalho propôs uma arquitetura que melhorou a acessibilidade,

Figura 11 - Tela de acesso remoto aos dados da Nuvem



integração e interoperabilidade dos dados na célula didática. A arquitetura desenvolvida e testada usou conceitos de computação em nuvem, Internet das Coisas - IoT, arquitetura CLP e sistema SCADA. Com as implementações realizadas nesta pesquisa, a célula de manufatura didática que antes armazenava seus dados em discos rígidos locais, não possuindo uma conexão com a computação em nuvem, passou a dispor de conectividade com a nuvem, gerando o acesso das informações por meio de qualquer dispositivo eletrônico conectado à internet, em qualquer local, a qualquer momento. Foi possível comprovar a facilidade de acesso às informações, por intermédio do monitoramento em tempo real do estado de funcionamento da célula. Com a identificação dos operadores efetuada pelo sistema em nuvem, foi possível implementar a rastreabilidade das peças produzidas gerando segurança e transparência ao processo produtivo.

## REFERÊNCIAS

COLOMBO, A.; BANGEMANN, T.; KARNOUSKOS, S.; DELSING, J.; STLUKA, P.; HARRISON, R.; JAMMES, F.; and LASTRAS, J. L. **Industrial Cloud-Based Cyber-Physical Systems - The IMC-AESOP Approach**. Springer International Publishing, 2014.

CHURCH, P.; MUELLER, H.; RYAN, C.; GOGOUVITIS, S. V. ; GOSCINSKI, A. and Z. TARI, Z. Migration of a SCADA system to IaaS clouds – a case study. **Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications**, v. 6, n. 11, p. 1-12, 2017.

DA COSTA, C.; MENDES, C. R.; OSAKI, R. Internet of things in automated production. **EJERS, European Journal of Engineering Research and Science**, vol. 2, No. 10, p. 13-16, 2017.

DELSING, J. Local cloud Internet of things automation – technology and business model features of distributed Internet of things automation solutions. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, vol. 11, n. 14, p. 8-21, 2017.

DRATH, R.; HORCH, A. Industry 4.0: Hit or Hype? **IEEE Industrial Electronics Magazine**, p. 56-58, 2014.

FOSTER, D.; WHITE, L. ; ADAMS, J; ERDIL, D. C.; HYMAN, H. ; KURKOVSKY. S. A; SAKR, M. and STOTT, L. Cloud computing: developing contemporary computer science curriculum for a cloud-first future. **Proceedings of the**

**Proceedings Companion of the 23rd Annual ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education**, p. 130-145, 2018.

KAPIL, D.; TYAGI, P.; KUMAR, S; TAMTA, V. P. Cloud Computing: Overview and Research Issues. **International Conference on Green Informatics - IEEE**. p. 71-76, 2017.

LOJKA, T.; BUNDZEL, M.; ZOLOTOVA, Service-oriented Architecture and Cloud

Manufacturing. **Acta Polytechnica Hungarica**, v. 13, n. 6, p. 25-44, 2016.

KONO, C.; SILVA Jr, L. C. F. E.; RODRIGUES, L. C. Competitive Intelligence, Cloud Computing and Innovation in Small Enterprises. **11th International Conference on Information Systems and Technology Management – CONTECSI**. São Paulo, p. 680-704, 2014.

RYMASZEWSKA, A.; HELO, P. IoT powered servitization of manufacturing – an exploratory case study. **International Journal of Production Economics**, v. 1, n. 1, p. 1-14, 2017.

SCHWEICHHART, K. Reference Architectural Model industry 4.0 (RAMI 4.0): An Introduction.

**Standardization & Reference Architecture, Plattform industry 4.0**, 2016.

SHAHZAD, A.; MUSA, S.; ABORUJILAH, A.; IRFAN, M. A new cloud based supervisory control and data acquisition implementation to enhance the level of security using testbed. **Journal of Computer Science**. n. 10, v. 4, p. 652-659, 2014.

UNVER, H. O. An ISA-95-based manufacturing intelligence system in support of lean initiatives. **International Journal Advanced Manufacturing Technology** 65, 853–866 (2013).

XU, X. From cloud computing to cloud manufacturing. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**. n. 28, p. 75-86, 2012.