

# AGENTE EMBARCADO BASEADO EM SISTEMAS CIBERFÍSICO: ARQUITETURA, DEFINIÇÃO DE HARDWARE E APLICAÇÃO NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

\*1Doc-Start

Email:

**Abstract**— Industry 4.0 is promoting a new Industrial Revolution through the application of computer and communication technologies for the construction of Cyber Physical Systems (CPS), which can be considered a key component for the development of this new revolution. In this context, this article proposes to implement an architecture for embedded intelligent agents based on CPS. For this, it is proposed a classification of hardware suitable for boarding this agent. Through this classification a device and initial testing of the agent is selected using the MTConnect standard, which currently presents itself as a potentially efficient standard for this application given the guarantees of some communication requirements. The initial tests presented satisfactory results in the system against the requirements of communication, processing and storage. In addition, the benefits of the proposed architecture over traditional automation systems are presented. Finally, the possible scenario for validation of this architecture is presented.

**Keywords**— Industry 4.0, Intelligent Agent, Cyber Physical Systems, Single Board Computer.

**Resumo**— A Indústria 4.0 está promovendo uma nova Revolução Industrial, através da aplicação de tecnologias computacionais e de comunicação para construção de Sistemas Ciberfísicos (CPS), podendo esse ser considerado componente chave para o desenvolvimento desta nova revolução. Nesse contexto, este artigo propõe implementar uma arquitetura para agentes inteligentes embarcados baseados em CPS. Para isso, propõe-se uma classificação de hardware aptos ao embarque desse agente. Através dessa classificação é selecionado um dispositivo e realizado testes iniciais do agente utilizando o padrão MTConnect, que atualmente se apresenta como um padrão potencialmente eficiente para essa aplicação dadas as garantias de alguns requisitos de comunicação. Os testes iniciais apresentaram resultados satisfatórios no sistema frente aos requisitos de comunicação, processamento e armazenamento. Além disso, são apresentados os benefícios da arquitetura proposta frente aos sistemas de automação tradicionais. Por fim, é apresentado o possível cenário para validação dessa arquitetura.

**Palavras-chave**— Indústria 4.0, Agente Inteligente, Sistemas Ciberfísicos, Single Board Computer.

## 1 Introdução

A evolução do ambiente industrial é fundamental para o suprimento das demandas humanas. E no momento em que surgem novas necessidades e desafios, inovações tecnológicas precisam emergir para suprir tais exigências. Ao longo da história o cenário industrial passou por três grandes transformações: a 1ª Revolução Industrial teve como característica a mecanização da produção, com a invenção da máquina a vapor. A introdução da eletricidade e criação de linhas de montagem, caracterizaram a 2ª Revolução Industrial, viabilizando a produção em massa idealizada por Henry Ford. A 3ª Revolução Industrial introduziu elementos de eletrônica, tecnologia da informação e automação nesse cenário.

De acordo com Kagermann et al. (2013), a introdução do programa alemão denominado *Industrie 4.0* deu início ao desafio que se apresenta como a 4ª Revolução Industrial, em que máquinas e componentes inteligentes podem comunicar entre si de maneira autônoma. Assim, as decisões no chão de fábrica podem ser tomadas pelas próprias máquinas, a partir de informações coletadas em tempo real. Outra característica importante, que pode ser destacada da Indústria 4.0, é a integração de diversas tecnologias relacionadas ao sistema, com foco na sua representação cibernética. A representação cibernética pode ser visto como

uma representação digital da entidade real, por isso também é chamada de *Digital Twin* (Lee et al., 2015).

Dentro deste novo cenário idealizado para os sistemas de produção em geral, alguns conceitos ganham grande destaque e influenciam diretamente para o desenvolvimento da 4ª Revolução Industrial. Sistemas Ciberfísicos (*Cyber Physical Systems* - CPS) (Jazdi, 2014) e Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) (Shrouf et al., 2014) são alguns dos conceitos que vem contribuindo para que tecnologias já conhecidas e emergentes sejam aplicadas a manufatura industrial.

Para Zhou et al. (2015), a Indústria 4.0 é uma visão para o futuro pois atualmente enfrenta muitas dificuldades e desafios, incluindo desafios científicos, desafios tecnológicos, desafios econômicos, problemas sociais e questões políticas. Como exemplo de desafios científicos e tecnológicos pode-se citar o desenvolvimento de dispositivos inteligentes, a construção do ambiente de rede, a grande análise e processamento de dados e a manufatura digital.

A capacidade de comunicação e transferência de dados entre diferentes dispositivos (sensores e atuadores) dentro de um ambiente industrial surge como um dos problemas a serem resolvidos para a nova infraestrutura de indústria. Diversos padrões tem surgido para garantir que equipamentos de diferentes fontes realizem a coleta e transmissão

de dados de forma eficiente e segura.

Outro ponto que tem um grande destaque é a descentralização do controle e incremento de complexidade para a realização de todas as operações. Dessa forma a necessidade de se desenvolver o comportamento autônomo do sistema através de abordagens como os sistemas multiagentes.

Neste contexto, o presente artigo propõe uma arquitetura de agente inteligente baseado em CPS a partir de requisitos para classificação de dispositivos *Single Board Computers* voltados a este tipo de aplicação. Essa arquitetura visa atender a maioria dos princípios da Indústria 4.0 utilizando tecnologias já estabelecidas. Apresenta também a aplicação dessa arquitetura no contexto da automação de processos industriais e uma classificação com os hardware para sua implementação. Por fim são apresentados resultados preliminares utilizando o padrão MTConnect (MTConnect, 2008), bem como trabalhos futuros acerca dessa arquitetura.

## 2 Fundamentação

Esta seção apresenta alguns conceitos de técnicas, bem como tecnologias que estão ganhando destaque com o desenvolvimento da próxima revolução industrial.

### 2.1 Princípios da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 está fundamentada sobre seis princípios básicos (Hermann et al., 2016):

- Capacidade de operação em tempo real: consiste na aquisição e tratamento de dados de forma instantânea, permitindo a tomada de decisões dentro das restrições de tempo do ambiente;
- Virtualização: propõe a existência de uma cópia virtual das fábricas inteligentes, permitindo a rastreabilidade e monitoramento remoto de todos os processos por meio dos inúmeros sensores espalhados ao longo da planta;
- Descentralização: a tomada de decisões poderá ser feita pelo sistema ciberfísico de acordo com as necessidades da produção em tempo real. Além disso, as máquinas não apenas receberão comandos, mas poderão fornecer informações sobre seu ciclo de trabalho;
- Orientação a serviços: utilização de arquiteturas de software orientadas a serviços aliado ao conceito de *Internet of Services*.
- Modularidade: produção de acordo com a demanda, acoplamento e desacoplamento de módulos na produção, oferecendo flexibilidade para alterar as tarefas das máquinas facilmente.

- Interoperabilidade: capacidade de máquinas, dispositivos, sensores e humanos de se conectar e comunicar através da Internet das Coisas e da Internet.

### 2.2 Sistema Ciberfísico

Segundo Lee et al. (2015) o CPS é um sistema composto da união de subsistemas físicos em rede com a computação. O CPS é responsável por conectar o mundo virtual com a realidade física, que integra capacidades de computação, comunicação e armazenamento, podendo operar em tempo real de forma confiável, segura, estável e eficiente.

A constituição do CPS pode envolver o uso de várias tecnologias, como sistemas multiagentes (*Multi Agent Systems* - MAS), Arquiteturas Orientadas a Serviços (*Service-Oriented Architecture* - SoA), Computação em Nuvem (*Cloud Computing*), *Big Data*, *Machine-to-Machine* (M2M) e a Computação Visual (CV).

A integração entre diversas tecnologias visa contribuir para o CPS enfrentar desafios identificados nos princípios da Indústria 4.0. Sistemas multiagentes por exemplo, podem contribuir com flexibilidade, robustez, adaptação, configuração e controle distribuído para estes sistemas.

No contexto da Indústria 4.0 os agentes inteligentes e sistemas multiagentes compartilham um terreno comum com o CPS. Eles podem capacitar o CPS com uma infinidade de capacidades para alcançar gerenciamento de complexidade, descentralização, inteligência, modularidade, flexibilidade, robustez e capacidade de resposta em tempo real (Leitao et al., 2016).

### 2.3 Arquitetura CPS 5C

Dentre as arquiteturas CPS, a arquitetura denominada 5C proposta por Lee et al. (2015) tem grande destaque na literatura. Ela serve como um guia para desenvolvimento e implementação do CPS para aplicações industriais. Esta arquitetura está dividida em cinco níveis. Na Figura 1 é possível visualizar estes níveis bem como suas respectivas funções.

### 2.4 MTConnect

A capacidade de conexão entre diferentes dispositivos surge como um dos principais desafios da Indústria 4.0. Diversos padrões e protocolos estão sendo desenvolvidos nos últimos anos, e o Instituto MTConnect (MTConnect, 2008) criou uma solução para este problema.

O padrão MTConnect baseia-se em tecnologias padrão da Internet como HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*) e XML (*Extensible Markup Language*). Um sistema que implementa o protocolo MTConnect tem cinco componentes fundamentais: Dispositivo, Adaptador, Agente, Rede e



Figura 1: Arquitetura CPS 5C. Fonte: Adaptado de (Lee et al., 2015)

Aplicação/Cliente, dispostos conforme Figura 2. Os componentes mais importantes são Agente e Adaptador.

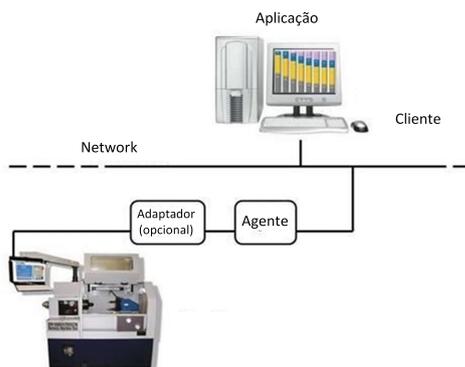


Figura 2: Arquitetura de um sistema MTConnect. Fonte: Adaptado de (MTConnect, 2008)

No contexto da Indústria 4.0 o MTConnect surge como solucionador para conexão entre dispositivos físicos de um CPS, atuando no mais baixo nível garantindo a aquisição de dados independente do formato ou protocolo de comunicação.

### 3 Arquitetura Proposta

Esta seção tem como objetivo propor uma arquitetura para desenvolvimento de agentes inteligentes embarcados baseados em Sistemas Ciberfísicos. É tomada por referência a arquitetura CPS 5C proposta por Lee et al. (2015). O agente inteligente embarcado deve ser capaz de perceber e interagir com o meio físico através de sensores e atuadores,

assim como interagir com agentes virtuais através da rede. Ele também pode apresentar elementos de controle, através de algoritmos como o PID (*Proporcional Integral Derivativo*) e inteligência artificial, promovendo o controle distribuído e a descentralização.

#### 3.1 Arquitetura de Software do Agente

A arquitetura de software proposta para o desenvolvimento do agente, está organizada em cinco módulos: configuração, inteligência, cibernético, conversão e comunicação.

A Figura 3 apresenta a disposição, bem como as tecnologias e funcionalidades dos módulos da arquitetura de software do agente.

- **Módulo de Configuração:** responsável pelas interfaces de configuração de todos os módulos. Nele são definidas interfaces para acessar e definir as propriedades do modelo topológico, propriedades de comunicação, controle, inteligência e armazenamento. O modelo topológico é uma estrutura hierárquica repleta de informações dos dispositivos, componentes e sistemas que compõem a estrutura física gerenciada pelo agente, quando esse for o caso. Esse módulo requer uma modelagem completa de todos os componentes conectados ou gerenciados pelo agente.
- **Módulo de Inteligência:** responsável pelo mapeamento e rastreamento de padrões, comportamentos e o controle de qualidade dos dados. Utiliza algoritmos avançados para apontar falhas e promove o comportamento preditivo e cognitivo do sistema. Deste

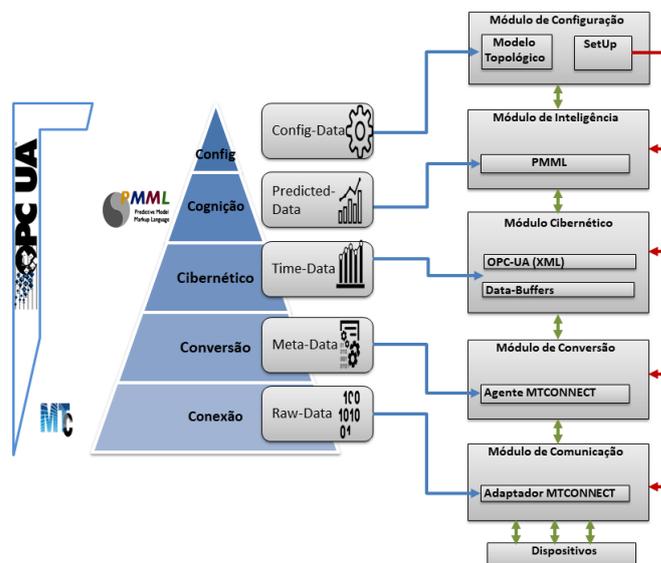


Figura 3: Arquitetura de Software em 5 módulos.

módulo emergem funções básicas de sistemas de manufatura, como controle, monitoramento, planejamento e escalonamento.

- **Módulo Cibernético:** responsável pela gerência das informações do sistema de modo a representá-los em escala temporal por meio de inferências e previsões. Ele é formado por um *buffer*, que registra os dados do agente e por um adaptador de dados para bases de dados externas que habilita a aquisição de dados.
- **Módulo de Conversão:** responsável pela conversão dos dados coletados no módulo de comunicação em informação para o sistema, atribuindo semântica e algum tipo de tratamento para a garantia do provimento contínuo desta informação.
- **Módulo de Comunicação:** responsável por adaptar os diferentes protocolos de redes industriais para o padrão adotado no sistema e viabilizar a interoperabilidade por meio desse padrão. O módulo também disponibiliza o modelo com a descrição topológica do equipamento para os demais agentes por meio da rede.

A arquitetura descrita acima impõe maiores restrições de comunicação e manipulação de informação para as três primeiras camadas, comunicação, conversão e cibernética, e maiores restrições de processamento para as duas camadas superiores, inteligência e configuração. A partir destes requisitos viu-se necessários estabelecer uma classificação para SBC aptos a embarcarem esta arquitetura. Esta classificação é apresentada na próxima seção.

#### 4 Classificação de Hardware para o Agente CPS

Com o avanço tecnológico dos últimos anos, os *Single Board Computers* (SBC) tiveram um aumento da capacidade de processamento e memória, redução de custo e conseqüentemente sua popularização. Diante disso, surgiram vários projetos que utilizam desse tipo de hardware para aplicações industriais.

Um SBC é um computador embarcado de forma reduzida e pronto para uso. Pode ser considerado como uma solução genérica em hardware e software que pode ser utilizada no desenvolvimento de sistemas embarcados. Oferece uma plataforma completa para o desenvolvimento de produtos finais para diversas aplicações como médicas, automação industrial, aeroespacial e robótica.

Desse modo, nessa seção serão apresentados projetos recentes que utilizam a plataforma Raspberry Pi em aplicações industriais. Também será realizada uma classificação de dispositivos de hardware para o desenvolvimento e implementação dos módulos do agente proposto nesse artigo.

##### 4.1 Soluções Industriais utilizando Raspberry Pi

Em RevolutionPi (2017) é apresentado um computador industrial baseado em Raspberry Pi atendendo a norma IEC 61131-2. Essa norma estabelece padrões de hardware para qualquer produto em que o objetivo principal seja a função de equipamentos de controle industrial, incluindo CLP (Controlador Lógico Programável) ou seus periféricos associados que tenham como objetivo o controle e comando de máquinas. Dependendo dos requisitos do cliente, esse dispositivo pode ser

complementado por módulos de E/S digitais ou analógicos, bem como por gateways fieldbus apropriados para conectá-lo a um rede industrial. Os módulos base e os módulos de expansão são fornecido com 24 volts que é o padrão utilizado na indústria.

A base Strato Pi (SferaLabs, 2017) capacita os modelos Raspberry Pi Model B versão 2 e 3 com vários recursos de hardware para torná-lo adequado para uso em aplicações profissionais onde a confiabilidade e continuidade do serviço são requisitos essenciais.

Modberry (ModBerry, 2017) é um controlador universal construído com as necessidades dos mercados dos sistemas automático, telemétrico e integrado em mente. Possui varias interfaces de comunicação como módulos de E/S digitais ou analógicos, GPS, Modbus e Wi-Fi.

A NetPI (netIOT, 2017) é uma plataforma baseada em arquitetura Raspberry Pi 3 para implementar projetos de automação industrial personalizados com recursos de Cloud, Internet of Things e Indústria 4.0.

#### 4.2 Classes de Hardware para o Agente CPS

De acordo com Newark (2014), hoje os SBC se dividem basicamente em duas categorias: proprietário e código aberto. Proprietário é aquele que geralmente é projetado para uso em aplicação final ou como referência de avaliação. São projetos industriais que passam pelos mesmos testes que um produto final requer. Os SBC de código aberto oferecem aos usuários o acesso ao design e layout de hardware e ao código fonte usado na placa. Isso é ideal para todos os usuários, pois eles podem facilmente entender como o software e o hardware operam e adotar o design para atender aos requisitos de projetos.

Considerando os SBC de código aberto mais populares, foi criada uma classificação, analisando características como: capacidade de processamento, memória disponível, dispositivos de E/S e conectividade. As classes por sua vez foram definidas utilizando apenas as informações de capacidade de processamento e memória disponível de cada hardware, como visto na Tabela 1.

As características adotadas para definição das classes de hardware, capacidade de processamento e memória disponível, servirão como base para implementações de diferentes tipos de aplicações. De acordo com as classes estabelecidas um conjunto de características como níveis de inteligência, cognição e controle, compatíveis com a estrutura do módulo do agente CPS, serão adicionadas a cada componente da classe, ou até mesmo quantas camadas da arquitetura 5C serão contempladas em cada dispositivo.

Foi realizado um levantamento de SBC correspondentes as famílias *Odroid*, *Raspberry Pi*, *Ba-*

*nana Pi*, *Orange Pi* e com isso foram definidas as seguintes classes:

- **Classe A** - Dispositivos com Processadores Quad Core a partir de 1GHz:

Dentro desta classe encontram-se dispositivos com uma grande capacidade de processamento, com processadores com 4 núcleos podendo chegar a 2GHz, e com diferentes capacidades de memórias, a partir de 512MB até 2GB. Os SBC de classe A dividem-se nas seguintes subclasses:

- **Subclasse A1** - Quad Core de 1.2 GHz até 2GHz e memória de 2GB;
- **Subclasse A2** - Quad Core de 1.2 Ghz até 1.5 GHz e memória de 1GB;
- **Subclasse A3** - Quad Core de no máximo 1Ghz e memória de 1GB;
- **Subclasse A4** - Quad Core de 1Ghz até 1.5 GHz e memória de 512 MB.

- **Classe B** - Processadores Dual Core de 1GHz e memória de até 1GB:

A classe B é caracterizada por dispositivos que apresentam uma taxa considerável de processamento com processadores com dois núcleos de 1GHz, e uma capacidade de memória podendo chegar a 1GB.

- **Classe C** - Processador Single Core de no máximo 1 GHz e memória até 512 MB:

A classe C de SBC é caracterizada por dispositivos que apresentam uma taxa de processamento, podendo chegar até 1GHz, mas apenas 1 núcleo. Outro ponto característico desta classe é a baixa capacidade de memória podendo chegar até 512 MB.

## 5 Testes Iniciais

Nessa seção será apresentado o cenário em que foram realizados os testes iniciais. Após isso serão apresentados os resultados obtidos com estes testes.

### 5.1 Metodologia

Para os testes iniciais foram utilizados uma planta didática industrial Smar PD3, um Raspberry Pi 3 e um computador (Figura 4). A planta industrial possui vários equipamentos e instrumentos como transmissores de temperatura, vazão e nível. Esses equipamentos por sua vez são conectados ao CLP Nexto3030 do fabricante Altus. O algoritmo de controle do CLP foi substituído por um algoritmo de aquisição de dados que tem como função disponibilizar os dados dos equipamentos conectados a ele via comunicação Modbus TCP/IP.

Tabela 1: Classificação dos SBC de acordo com suas capacidades de processamento e memória.

	Processamento	E/S	RAM	Conectividade	Classe
Banana Pi R2	ARM Cortex-A7 (ARMv7) 1.2GHz Quad Core ARMv7	2x USB 2.0 40pin header	2GB DDR3 RAM	Wi-Fi 802.11n Bluetooth 4.1 porta Ethernet	A1
Odroid XU4	Samsung Exynos5422 ARM Cortex-A15 Quad 2.0GHz	2x USB 3.0 1x USB 2.0 30Pin: GPIO/IRQ /SPI/ADC 12Pin: GPIO /I2S/I2C	2GB LPDDR3 RAM PoP stacked	porta Ethernet WLAN Antenna	A1
Odroid C2	Amlogic ARM Cortex-A53(ARMv8) 64 bits 1.5Ghz Quad Core	4x USB 2.0 1x USB OTG 40pin GPIOs 7pin I2S GPIO ]/I2C/ UART/ADC	2GB 32bit DDR3 912MHz RAM (512MByte x4pcs)	Wi-Fi adapter, Ethernet RJ-45	A1
Odroid C0	Amlogic S805 SoC ARM Cortex-A5 (ARMv7) 1.5GHz Quad Core ARMv7	2x USB 2.0 40pin (GPIO/UART/ SPI/I2C/ADC) 7pin port (I2S)	1GByte DDR3 32bit RAM (512MByte x 2pcs) 792Mhz	WLAN with Antenna	A2
Raspberry Pi 3	Broadcom BCM2837 4 x ARM Cortex-A53 1.2Ghz 64bit ARMv7	4x USB 2.0, 40 pin port GPIO / UART / SPI / I2S	1GB 32bit LPDDR2 450MHz	Wi-Fi 802.11n Bluetooth 4.1 porta Ethernet	A2
Raspberry Pi 2	Broadcom BCM2836 4x ARM Cortex-A7 900MHz ARMv7	4x USB 2.0, 40pin port (GPIO/UART/ SPI/I2C/I2S)	1GB 32bit LP-DDR2 400MHz	porta Ethernet	A3
Odroid C1+	Amlogic S805 SoC 4x ARM Cortex-A5 1.5GHz ARMv7 Architecture	4x USB 2.0 1x USB OTG 40pin GPIO/UART/ SPI/I2C/ADC) 7pin port (I2S)	1GB 32bit DDR3 792MHz	Gigabit Ethernet  WLAN with Antenna	A3
Banana Pi Zero	Cortex-A7 (ARMv7) 1.0 GHz Quad Core ARMv7	Micro USB 40pin GPIO	512 MB DDR3 RAM	Wi-Fi 802.11n Bluetooth 4.0	A4
Banana Pi M1+	A20 ARM Cortex-A7 (ARMv7) 1.0GHz Dual Core	2x USB 2.0 40pin (GPIO/UART/ SPI/I2C/ADC)	1GB DDR3	Wi-Fi 802.11n porta Ethernet	B
Raspberry Pi 1	Broadcom BCM2835 ARM11 de 700Mhz Single Core	2x USB 2.0 40pin GPIO	512 GB 32bit LP-DDR2 400MHz	porta Ethernet	C
Raspberry Pi 0 W	Broadcom BCM2835 ARM11 de 1GHz Single Core	Micro USB 40pin GPIO	512MB LPDDR2 SDRAM	Wi-Fi: 802.11n Bluetooth	C

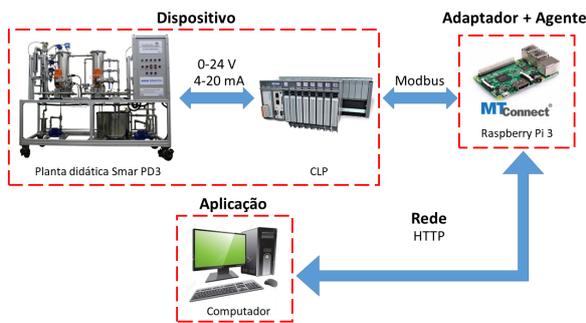


Figura 4: Disposição e conexão dos equipamentos utilizados nos testes.

Com o CLP transmitindo os dados da planta via Modbus TCP/IP, foi implementado um adaptador Modbus TCP/IP no MTConnect. Esse adaptador foi implementado utilizando linguagem de programação C++. O adaptador tem como função transformar os dados obtidos da planta para o padrão MTConnect. Também foi feita a modelagem topológica da planta no padrão XML do MTConnect. Foi utilizado o agente padrão, que também é implementado em C++. Esse agente publica os dados do adaptador em uma página HTTP padrão. O adaptador e o agente são executados em um Raspberry Pi 3 conectado a rede Ethernet do CLP. Também foi utilizado um computador conectado a internet para acessar a página que disponibiliza o XML gerado pelo MTConnect.

## 5.2 Resultados

A partir da execução do agente e adaptador é possível acessar através de um navegador web a página HTTP que exibe um XML gerado pelo MTConnect. Esse XML compreende séries temporais de todos os eventos, amostras e condições dos equipamentos em execução na planta. Na Figura 5 é possível visualizar a resposta do agente ao comando *Sample*. Nota-se que o agente disponibilizou todos os dados da planta de acordo com a modelagem XML previamente feita. Uma comparação com os dados lidos diretamente no CLP comprovou a exatidão dos dados. Também ficou comprovado que o MTConnect implementa totalmente os módulos de comunicação e conversão, além de implementar parte do módulo cibernético através do *buffer*, assim justificando sua utilização.

## 6 Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste artigo foi apresentada uma arquitetura de um agente inteligente embarcado para compor um sistema ciberfísico. O agente embarcado foi fundamentado nas teorias de agente inteligente e baseado na arquitetura CPS denominada 5C.

Também foi demonstrada a aplicação dessa arquitetura em ambientes industriais e resultados parciais obtidos em laboratório. Pode-se citar como vantagens dessa arquitetura a padronização da comunicação, a promoção do controle distribuído, a autoconfiguração, a visibilidade e transparência dos dados assim como a interoperabilidade entre agentes e aplicações.

O experimento proposto foi capaz de transformar os dados Modbus TCP/IP para o padrão MTConnect. O agente MTConnect tem capacidade total de execução dos módulos de comunicação, conversão, e parcial do módulo cibernético. Essas capacidades justificam a sua escolha para aplicação dessa arquitetura. Também ficou comprovado a capacidade do Raspberry Pi 3 para execução desses módulos.

Como visto na Seção 4, dispositivos SBC estão cada vez mais comuns para aplicações em soluções industriais atualmente. E a plataforma Raspberry Pi tem ganhando espaço devido seu alto desempenho, além de um custo considerável frente a outras plataformas. Visto isso na Tabela 1 dispositivos Raspberry Pi apresentam os requisitos desejáveis para o desenvolvimento deste trabalho.

Como trabalhos futuros, pode-se citar o desenvolvimento de uma interface de conexão para os equipamentos da planta industrial ao Raspberry, assim dispensando o uso de CLP. Também deve ser realizada a implementação dos demais módulos, fundamentais para a arquitetura apresentada nesse artigo. Tecnologias já existentes como OPC-UA (*Open Platform Communications Unified Architecture*) e PPML (*Predictive Model Markup Language*) se apresentam como possíveis soluções para implementação desses módulos por possuírem funções previstas nesses, além de serem padrões, assim permitindo que diferentes ferramentas falem o mesmo idioma.

Além disso, será necessário o desenvolvimento ou adequação de software essenciais para automação industrial como SCADA (Sistemas de Controle Supervisório e Aquisição de Dados), DCS (*Distributed Control System*) e AR-DCS (*Augmented Reality Distributed Control System*) (Rodrigues, 2016) para comunicação a partir do padrão MTConnect. Por fim, realizar testes de desempenho, funcionalidades e robustez desse sistema frente aos tradicionais sistemas de automação.

## Referências

- Hermann, M., Pentek, T. and Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios, *System Sciences (HICSS), 2016 49th Hawaii International Conference on*, IEEE, pp. 3928–3937.

```

M3 MTConnect Device Stream x
192.168.0.100:5000/sample
<Header creationTime="2018-03-12T17:14:26Z" sender="raspberrypi" instanceId="1520874148"
version="1.3.0.18" bufferSize="131072" nextSequence="101" firstSequence="1" lastSequence="830"/>
<Streams>
  <DeviceStream name="smar-device" uuid="1">
    <ComponentStream component="Sensor" name="TankFlow" componentId="">
      <Samples>
        <Flow dataItemId="" timestamp="2018-03-12T17:02:39.047062Z" name="tk1flow" sequence="4"
subType="ACTUAL">0</Flow>
      </Samples>
    </ComponentStream>
    <ComponentStream component="Sensor" name="TankTemperature" componentId="">
      <Samples>
        <Temperature dataItemId="" timestamp="2018-03-12T17:02:39.047062Z" name="tk1temp"
sequence="5" subType="ACTUAL">7167</Temperature>

```

Figura 5: Resposta do agente ao comando *Sample*.

Jazdi, N. (2014). Cyber physical systems in the context of industry 4.0, *Automation, Quality and Testing, Robotics, 2014 IEEE International Conference on*, IEEE, pp. 1–4.

Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A. and Wahlster, W. (2013). *Recommendations for Implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 working group*, Forschungsunion.

Lee, J., Bagheri, B. and Kao, H.-A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems, *Manufacturing Letters* **3**: 18–23.

Leitao, P., Karnouskos, S., Ribeiro, L., Lee, J., Strasser, T. and Colombo, A. W. (2016). Smart agents in industrial cyber-physical systems, *Proceedings of the IEEE* **104**(5): 1086–1101.

ModBerry (2017). ModBerry, <https://www.iot-store.com.au/products/modberry-500-m3-max-industrial-embedded-raspberry-pi-based-computer>. Acessado 20 de Setembro, 2017.

MTConnect (2008). MTConnect Institute, <http://www.mtconnect.org>. Acessado 13 de Agosto, 2017.

netIOT (2017). netPI, <https://www.netiot.com/de/netpi/industrial-raspberry-pi-3/>. Acessado 20 de Setembro, 2017.

Newark (2014). A brief history of single board computers, <http://www.newark.com/wcsstore/ExtendedSitesCatalogAssetStore/cms/asset/pdf/american/as/common/NE14-ElectronicDesignUncovered-Dec14.pdf>. Acessado 18 de Outubro, 2017.

RevolutionPi (2017). Revolution Today, <https://revolution.kunbus.com>. Acessado 20 de Setembro, 2017.

Rodrigues, N. G. (2016). Realidade aumentada aplicada a sistemas de supervisão e aquisição de dados utilizando dispositivos móveis, *Congresso Brasileiro de Automática(CBA) 2016*, CBA.

SferaLabs (2017). StratoPi, <https://www.sferalabs.cc/strato-pi/#documentation>. Acessado 20 de Setembro, 2017.

Shrouf, F., Ordieres, J. and Miragliotta, G. (2014). Smart factories in industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the internet of things paradigm, *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2014 IEEE International Conference on*, IEEE, pp. 697–701.

Zhou, K., Liu, T. and Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges, *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2015 12th International Conference on*, IEEE, pp. 2147–2152.