

Um Estudo Comparativo de Padrões de Arquiteturas para IoT e as Aplicações Comerciais

João Paulo Silvino Belo da Silva e Cleonilson Protásio de Souza

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Centro de Energias Alternativas e Renováveis – Universidade Federal da Paraíba (UFPB)
{joaopaulo.silva, protasio}@cear.ufpb.br

Resumo: Existem hoje várias plataformas para Internet das Coisas (*IoT*, *Internet of Things*) com soluções diferenciadas, cabendo ao interessado avaliar as vantagens e desvantagens que cada empresa disponibiliza. Uma das formas para efetuar uma avaliação é a análise da arquitetura estabelecida e se seguem normas e documentos de padronização existentes. Neste contexto, este trabalho descreve um estudo, realizado por meio de pesquisa bibliográfica, sobre padrões arquiteturais em IoT, como IEEE Std 2413-2019, IoT-A e a IIRA. Como resultado, um estudo comparativo entre algumas arquiteturas de plataformas consolidadas no mercado, como Azure da Microsoft, e IBM Industry 4.0, e os padrões descritos é apresentado.

Palavras-chave: *IoT*; padrões arquiteturais; plataformas de desenvolvimento.

1. Introdução

O termo Internet das Coisas ou IoT foi primeiramente citado por Kevin Ashton em 1999 em uma apresentação sobre aplicação da tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*) na cadeia logística da Procter & Gamble [1]. Por volta de 2008, o termo IoT passou a ter novo significado, sendo aplicado ao uso de várias tecnologias que utilizam a internet para interconectar dispositivos embarcados. Atualmente, o conceito de IoT tornou-se ainda mais amplo e se baseando em objetos do cotidiano que interagem e geram dados autonomamente via internet [2].

A indústria de IoT apresenta grande crescimento e atualmente já conta com mais de 20 bilhões de objetos conectados [2] muito devido à disponibilização no mercado de várias plataformas computacionais em IoT por grandes empresas de nuvem de alcance mundial.

Para garantir a compatibilidade, segurança e uniformidade das diferentes plataformas utilizadas em IoT, tornou-se bastante necessário adotar padrões e assim diferentes organizações passaram a propor e estabelecer padrões arquiteturais para implementação de plataformas em IoT.

Em 2014, o IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) definiu o conceito de IoT como simplesmente “uma rede de itens embarcados e com sensores conectados à internet” [3]. Entretanto, há um conjunto de dispositivos, como os *smartphones*, que possuem sensores embarcados, mas não estão no contexto de IoT.

Observa-se então a dificuldade em uniformizar conceitos em IoT iniciando pelo próprio termo IoT dado que este envolve um conjunto de diversas tecnologias aplicadas em diferentes áreas e contextos e que possuem, como principal característica, a conexão de objetos ou coisas com a internet.

Outros conceitos também existem. Por exemplo, um conceito mais amplo de IoT, apresentado em [4], seria: “Um sistema de entidades (incluindo dispositivos físico-cibernéticos, pesquisas de dados e pessoas) que trocam informações e interagem com o mundo físico”.

Portanto, foi a partir da necessidade de uniformidade nas definições relacionadas a IoT, bem como suas aplicações, características e estruturas, que foram iniciados o estabelecimento de processos de padronização e os decorrentes padrões de mercado.

Em 2015, o IEEE foi iniciada a concepção de um padrão de *framework* arquitetural para IoT, finalizado em 2019: o padrão IEEE Std 2413-2019. Como ponto de partida, este padrão caracteriza uma coisa em IoT como “um componente ou sistema que possui funções, propriedades e meios de comunicação”, conforme Figura 1. Assim, para um dispositivo ser considerado uma “coisa” em IoT, este necessita desempenhar funções específicas, conter propriedades que caracterizem interna ou externamente o ambiente ao seu entorno e ter capacidade de trocar informações com aplicações e serviços através da *internet*.



Figura 1. Uma “coisa” conforme o padrão IEEE Std 2413-2019 [4].

Além do padrão IEEE Std 2413-2019, existem outros padrões que abordam arquiteturas em IoT, seus blocos constitutivos e suas funcionalidades, como a IoT-A (*Internet of Things - Architecture*) e a IIRA (*Industrial Internet Reference Architecture*).

Neste trabalho, serão apresentadas as principais características dos principais padrões atuais em arquitetura de plataformas em IoT e um estudo comparativo breve entre esses padrões com as

arquiteturas de plataformas de nuvem de grandes empresas, como a Intel e a IBM.

2. Metodologia

Este estudo foi desenvolvido tendo como base uma pesquisa bibliográfica sistemática partindo da busca por definições de IoT e conceitos associados, seguindo-se da análise de normas e padrões pertinentes às arquiteturas de sistemas no contexto de IoT. A partir do resultado da pesquisa bibliográfica, buscou-se averiguar o emprego das normas e padrões encontrados com plataformas de computação em nuvem para IoT de grandes empresas do mercado. Por fim, foi realizado um estudo comparativo entre as padronizações em IoT levantadas e as plataformas comerciais.

3. Arquiteturas de Referência

Adotar uniformidade por meio de um padrão em IoT, pode proporcionar a superação de alguns desafios dentre os quais: a identificação e endereçamento das coisas mesmo com uso massivo; promover a interoperabilidade dos sistemas; e fornecer gerenciamento com segurança e privacidade para usuários e empresas [5].

As principais arquiteturas de referência encontradas e orientadas especificamente para IoT são as seguintes:

- IEEE Std 2413-2019 (*Standard for an Architectural Framework for the Internet of Things*);
- IoT-A (*Internet of Things - Architecture*); e
- IIRA (*Industrial Internet Reference Architecture*).

Estes padrões arquiteturais foram desenvolvidos considerando diferentes abordagens e priorizando aspectos variados, mas, em comum, visam estabelecer uniformidade e a base necessária para o desenvolvimento, a concepção, a operação e a manutenção de soluções em IoT. A concepção das arquiteturas de referência também é baseada em padrões previamente existentes, que orientam os procedimentos para elaboração e estabelecem suas características.

O padrão IoT-A e o IEEE Std 2413-2019, e indiretamente o IIRA, são baseadas no padrão ISO/IEC/IEEE 42010:2011 *Systems and software engineering*, que estabelece como as especificações arquiteturais dos sistemas devem ser organizados e descritos. A seguir serão descritas as principais características desses padrões em IoT.

3.1 IEEE Std 2413-2019

O padrão IEEE Std 2413-2019 tem como característica principal reunir as particularidades relacionadas a cada um dos domínios de interesse (*domains*) de IoT, entre esses, *smart buildings*, *smart cities*, *smart transportation*, *smart grid* e *healthcare*.

O modelo conceitual do *framework* arquitetural adotado pela IEEE Std 2413-2019, que foi baseado no padrão ISO/IEC/IEEE 42010:2011, é apresentado na Figura 2, em que é possível observar as relações estruturais entre os *stakeholders* (parte interessada), seus *concerns* (interesses) e seus *domains* (domínios) e

suas interrelações com a perspectiva de *framework* (estrutura arquitetural) e *viewpoint* (*perspectiva arquitetural*).

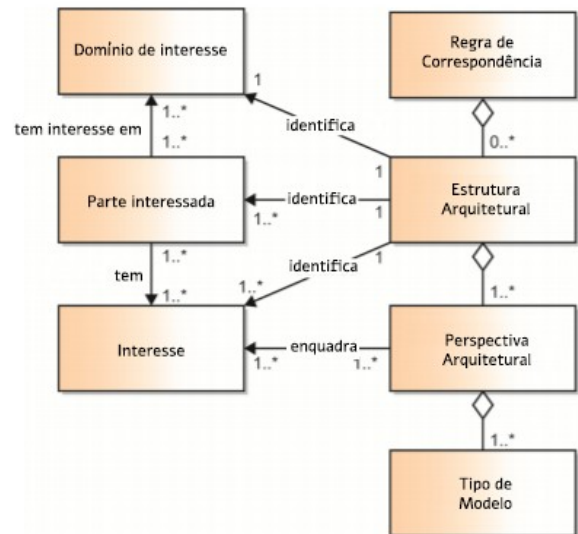


Figura 2. Modelo de *framework* arquitetural adotado pela IEEE Std 2413-2019 [4].

O *framework* visto na Figura 2 representa uma descrição completa da arquitetura de referência para uma dada aplicação. O *stakeholder* é o conjunto de indivíduos ou entidades que têm interesse ou relação com o sistema, a saber: os desenvolvedores, os usuários, os vendedores, os órgãos de regulação governamentais, entre outros e, por sua vez, os interesses (*concerns*) são as preocupações/necessidades de cada *stakeholder*. Os *viewpoints* são representações arquiteturais que relacionam os *stakeholders* e seus respectivos *concerns*. Exemplos de *viewpoints* são: *viewpoint* funcional, *viewpoint* de implementação, *viewpoint* de negócio (*business viewpoint*), entre outros. Os modelos (*models*) são as representações mais próximas da realidade de um processo, conceito ou do dispositivo real. As regras de correspondência estabelecem a relação entre as *viewpoints* que, com os tipos de modelos (*model kinds*), consistem em elementos que sub-categorizam cada *viewpoint*, formam a base do *framework* arquitetural.

3.2 IoT-A (Internet of Things - Architecture)

O padrão IoT-A foi desenvolvido em 2013 por um grupo de empresas em conjunto com a *European Lighthouse*, projeto ligado à União Europeia. O padrão IoT-A foi um modelo de referência pioneiro já que naquela época ainda não era conhecida outra arquitetura relacionada à IoT e foi aplicada em diferentes domínios.

O padrão IoT-A apresenta perspectiva voltada aos aspectos relacionados à informação e à funcionalidade, abordando também requisitos técnicos [6]. Na Figura 3, é ilustrado o modelo de referência do padrão IoT-A, constituído de submodelos, que são as diferentes categorias que fundamentam a arquitetura.

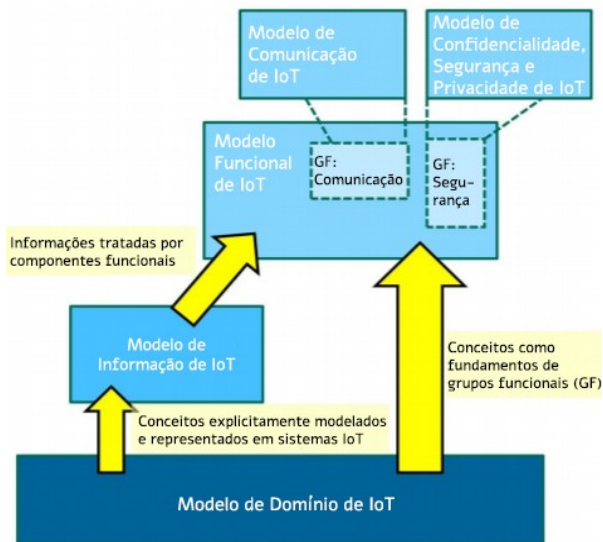


Figura 3. Interação entre submodelos na arquitetura IoT-A [7].

3.3 IIRA (Industrial Internet Reference Architecture)

O padrão IIRA foi desenvolvido especificamente para aplicações industriais, pois o interesse é na Internet das Coisas Industriais (IIoT) [6]. O padrão IIRA foi construído pelo *Industrial Internet Consortium* (formado por pesquisadores, empresas, universidades e órgãos governamentais) e finalizado em 2015.

Na Figura 4 é observado um dos modelos de arquitetura no padrão IIRA, baseado em três camadas (*three-tier*). Nela cada elemento do sistema no padrão IIRA é representado por um bloco funcional localizado em um dado nível (*tier*), de acordo com sua funcionalidade. No nível de borda (*Edge Tier*), estão os

dispositivos (coisas) e *gateways*. No nível de plataforma (*Platform Tier*), são executados serviços, isto é, neste nível ocorre recebimento, processamento e envio de dados que devem trafegar entre os dispositivos e as aplicações. Os blocos referentes às aplicações que recebem dados de dispositivos e enviam comando situam-se no nível de empreendimento (*Enterprise Tier*).

No padrão de 2008 foi adicionado a linguagem o que se chama de *coarray*, que é uma estrutura de dados que pode ser compartilhada entre diferentes *images*, sendo *images* cópias idênticas do executável. Essa característica permite que a linguagem se aproveite da computação paralela através de uma técnica de paralelismo chamada SPMD, do inglês *Single Program Multiple Data*. Em outras palavras, o objetivo era tornar a programação paralela de fácil implementação, fazendo com que várias *images* pudessem trabalhar em diferentes dados ou partes de um mesmo *coarray*, fornecendo ao programador a possibilidade de trabalhar com programação de memória compartilhada. Além disso, foi introduzida também a estrutura *DO...CONCURRENT* que especifica laços sem interdependência, que é particularmente interessante para compiladores de paralelização automática.

Considerando somente as maiores empresas que disponibilizam plataformas em nuvem de IoT em um cenário mundial - a Azure da Microsoft, IBM Industrie 4.0, Intel IoT e a Amazon - observa-se que essas possuem arquiteturas próprias em IoT e oferecem serviços variados com intuito de atender domínios e necessidades diferentes e específicas dos clientes.

No levantamento realizado nos documentos oficiais dessas empresas, não foi possível associar as arquiteturas das plataformas Intel IoT e Amazon Web

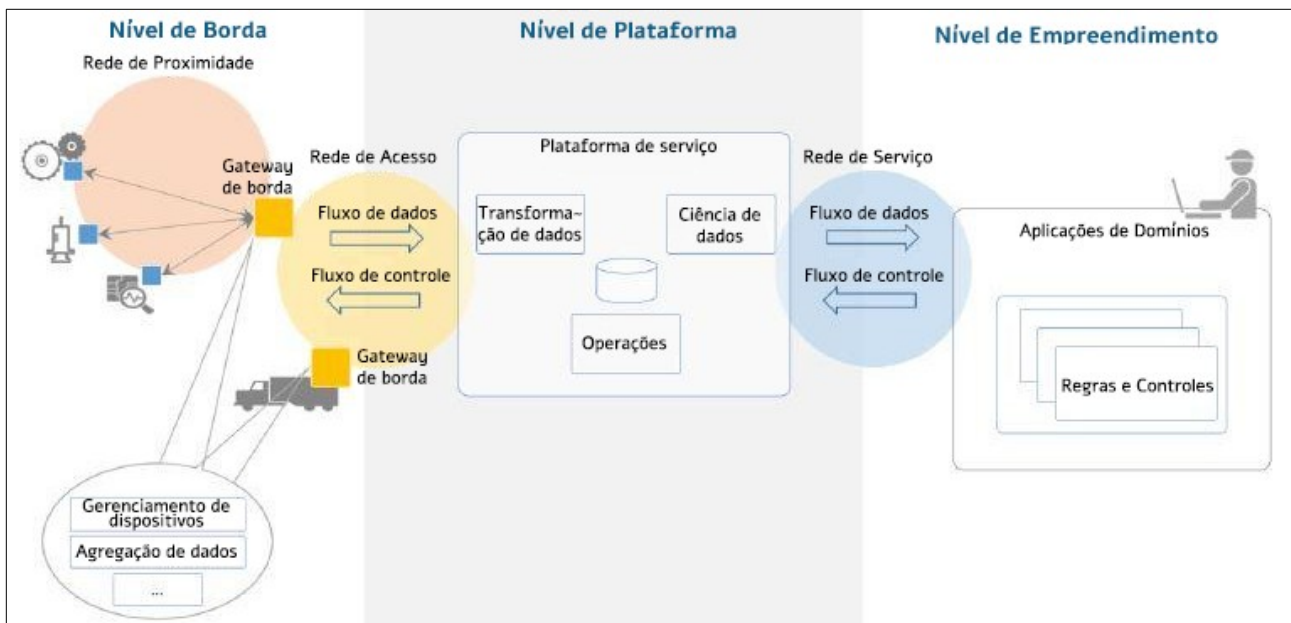


Figura 4. Modelo de arquitetura padrão three-tier do IIRA [8].

Services lambda, com as Arquiteturas de Referência apresentadas neste trabalho, pela falta de documentação. Para a Microsoft Azure e a plataforma IBM Industrie 4.0, a seguir será descrito um estudo comparativo.

Microsoft Azure: pelo levantamento bibliográfico realizado, a arquitetura de referência da Microsoft Azure não menciona diretamente a utilização de qualquer padrão na sua concepção, mas por estudo comparativo é possível associar a arquitetura Azure com o padrão IIRA, como visto na Figura 5, em que as colunas Coisas (Things), Insights e Ações (Actions) podem ser facilmente associadas ao modelo *Three-tier* do padrão IIRA.

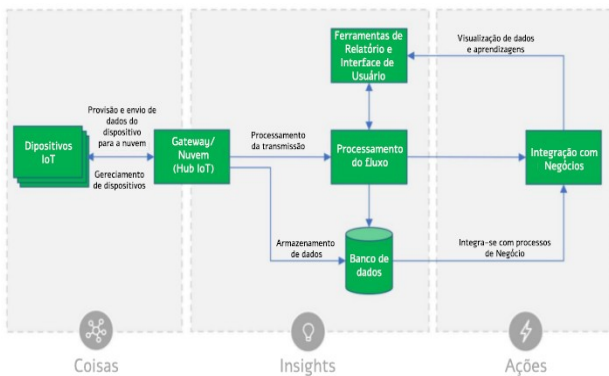


Figura 5. Arquitetura de Referência da Microsoft Azure IoT [9].

IBM Industrie 4.0: é caracterizada como uma versão industrial de serviços de IoT e é também baseada no IIRA [10]. Esta associação é evidenciada na utilização do padrão *Three-tier* do padrão IIRA, como pode ser visto na Figura 6.

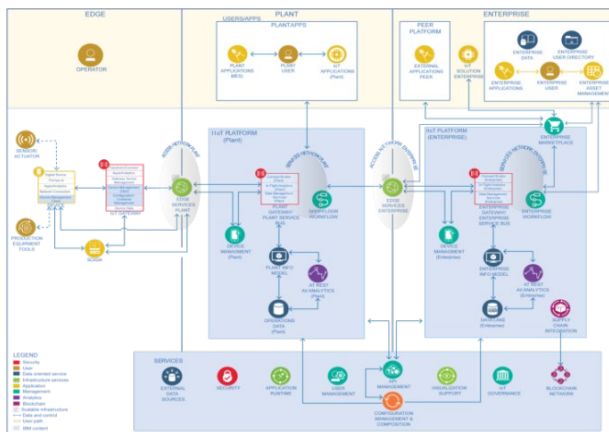


Figura 6. Arquitetura de Referência da IBM Industrie 4.0 [11].

5. Conclusões

Neste trabalho foram apresentados os padrões principais de arquiteturas em IoT: o padrão IEEE Std 2413-2019, o IoT-A e o IIRA. Apresentou-se também suas principais características e uma breve comparação com as arquiteturas de plataformas de grandes empresas, como a Microsoft, a IBM, a Intel e a Amazon. Concluiu-se que existe um certo nível de associação entre os padrões e algumas dessas arquiteturas. Entretanto, não é simples determinar se uma dada plataforma se baseia ou não em um algum padrão, por meio somente da documentação oficial das arquiteturas comerciais.

Bibliografia

- [1] That “Internet of Things” Thing. RfID Journal. Online: <https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing> Acesso em: 18 mai. 2021.
- [2] Souza, C. P.; Baiocchi, O. (2018) Energy Resources in Agriculture and Forestry: How to be Prepared for the Internet of Things (IoT) Revolution, Energy Systems and Environment, Pavel Tsvetkov. IntechOpen, DOI: [10.5772/intechopen.74940](https://doi.org/10.5772/intechopen.74940)
- [3] Minerva, R.; Biru, A.; Rotondi, D. (2015) Towards a definition of the Internet of Things (IoT). 1ed. IEEE.
- [4] IEEE Std 2413-2019: Standard for an Architectural Framework for the Internet of Things (IoT). (2020). DOI: [10.1109/IEEESTD.2020.9032420](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2020.9032420)
- [5] Stankovic, J. (2014) Research Directions for the Internet of Things. *Internet of Things Journal* 1(1): 3-9. IEEE. DOI: [10.1109/JIOT.2014.2312291](https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2312291)
- [6] Weyrich, M.; Ebert, C. (2016) Reference Architectures for the Internet of Things. *IEEE Software* 33(1): 112-116. DOI: [10.1109/MS.2016.20](https://doi.org/10.1109/MS.2016.20)
- [7] Bauer, M. et al. (2013) Internet of Things – Architecture IoT-A Deliverable D1.5 – Final architectural reference model for the IoT v3.0.
- [8] Industrial Internet Reference Architecture. Industrial Internet Consortium (IIC). Online: <https://www.iiconsortium.org/IIRA.htm>. Acesso em: 18 mai. 2021.
- [9] Microsoft Azure IoT Reference Architecture. Online: <https://azure.microsoft.com/pt-br/resources/microsoft-azure-iot-reference-architecture/>. Acesso em: 18 maio 2021.
- [10] Simplify the development of your IoT solutions with IoT architectures. Online: <https://developer.ibm.com/technologies/iot/articles/iot-lp201-iot-architectures/>. Acesso em 18 maio 2021.
- [11] IBM Industrie 4.0 Reference Architecture. Online: https://www.ibm.com/cloud/architecture/architectures/iot_industry_40. Acesso em: 18 maio 2021.