

Internet of Things: Arquiteturas, Tecnologias e Aplicações

João Correia, Paulo Pereira, and Romeu Silva

University of Minho, Department of Informatics, 4710-057 Braga, Portugal
e-mail: {a84414,a86475,a89617}@alunos.uminho.pt

Resumo O presente documento tem como propósito a introdução e contextualização da temática *Internet of Things*, tendo principal foco nas suas componentes técnicas. São explorados modelos de arquitetura de ecossistemas *IoT*, assim como a componente protocolar que serve de base ao funcionamento destes. Apresentam-se também as atuais aplicações desta tecnologia, com indicação das várias áreas em que esta tem sido integrada e explorando um caso de estudo e aplicação.

1 Introdução

A *Internet of things* revela-se como uma tecnologia de enorme impacto atual, acompanhada do potencial necessário para se tornar um aspeto fundamental do dia a dia urbano no futuro.

Com este trabalho temos como objetivo explorar a componente técnica do funcionamento de um ambiente *IoT*. Para tal, serão explorados os modelos de arquitetura mais comuns para a formulação dos ecossistemas: o modelo de 3 camadas e, derivado desse com o propósito de melhor exploração técnica, o de 5 camadas.

Será salientada a importância de protocolos de forma a possibilitar a comunicação entre dispositivos com implementações físicas muito diferentes. Destes, estudar-se-á o MQTT, o protocolo de maior relevância na transmissão de mensagens entre aparelhos *IoT*, onde se explicitará a mecânica por trás da lógica *publish/subscribe*, assim como as suas vantagens.

De seguida, serão discutidas as áreas onde a introdução de sistemas *IoT* traria uma melhoria significativa, desde *smart living* a agricultura inteligente. Por fim serão investigadas as perspetivas futuras da área, incluindo os maiores desafios e quais as metas que se pretende atingir.

2 Contextualização

A *Internet of Things* resume-se a uma rede de dispositivos permanentemente ligados à internet capazes de se comunicarem entre si. Estes dispositivos partilham informação útil, que, depois de analisada, resulta em ações em prol da nossa qualidade de vida.

O que é uma *thing*? Pode ser uma pessoa com um implante que monitoriza o seu batimento cardíaco, um carro com sensores que alertam o condutor da baixa pressão de ar nos pneus ou qualquer outra coisa à qual possa ser atribuída um protocolo de internet (IP), capaz de transferir e enviar dados pela rede.

Como já mencionado, o objetivo da *IoT* é melhorar a vida das pessoas. Por exemplo, seria uma grande ajuda se o nosso frigorífico nos alertasse que produtos estão em falta, chegar a casa e ter o aquecimento ligado e até mesmo receber uma notificação no telemóvel se deixarmos a porta de casa aberta.

É fácil perceber o impacto que a *IoT* têm na vida das pessoas, daí ser uma área em constante evolução e ter uma atenção especial no mundo da tecnologia.

Atualmente, existem cerca de 10 mil milhões de dispositivos que integram a tecnologia *IoT*. Estima-se que este número duplique nos próximos 5 anos, como se pode verificar na figura 1.¹

¹ <https://www.statista.com/statistics/1101442/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>

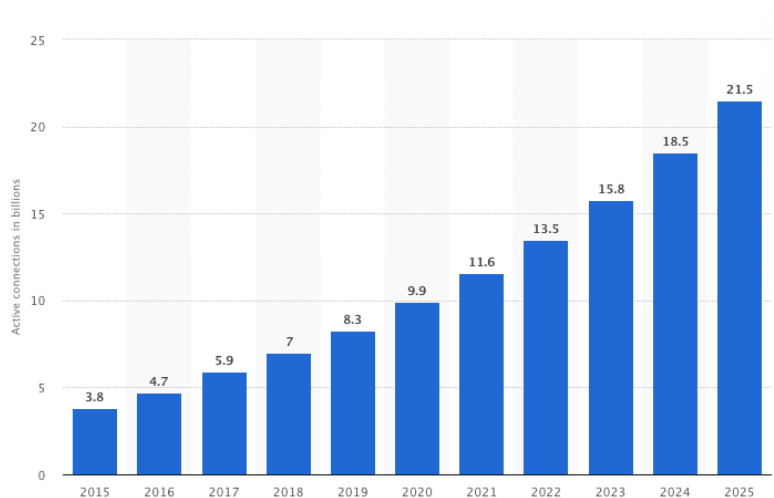


Figura 1. Número de dispositivos conectados na *IoT*, em milhares de milhão

Espera-se que no futuro, a *IoT* esteja implementada em todo o nosso quotidiano. Isto vai, naturalmente, exigir uma maior preocupação na segurança e na privacidade dos dados. Por outro lado, exigirá também um impulso em áreas como *Machine Learning* e *Cloud Computing*.

3 Arquiteturas

A *Internet of Things* não é composta por um único género de dispositivos, mas sim por um conjunto imensamente heterógeneo destes. Como tal, é necessário estabelecer um modelo de arquitetura que permita incorporar no ecossistema todos os dispositivos, independentemente da sua implementação física.

Não existe, porém, consenso numa arquitetura global e única, o que resultou na criação de diferentes modelos representativos dos sistemas [1].

3.1 Modelo de 3 camadas

Um dos modelos mais simples e utilizados para a representação de um ecossistema *IoT* é o modelo de 3 camadas [2]. Eis a especificação de cada uma:

- (i) A *camada de percepção* representa a base do ecossistema *IoT*, as peças que interagem com o mundo físico, estes são os sensores e os atuadores. Os sensores recolhem dados sobre o mundo real, seja, por exemplo, temperatura ou ruído. Os atuadores conseguem atuar, como o nome indica, no mundo real, como por exemplo regular a temperatura ou ligar/desligar uma lâmpada.
- (ii) A *camada de ligação* é responsável por ligar os dispositivos *IoT* entre si, assim como os ligar a servidores em camadas superiores. Nesta camada existe já algum processamento da informação recolhida pelos dispositivos e são tomadas algumas decisões de carácter mais automático.
- (iii) Na *camada de aplicação* esta é a *layer* que interage diretamente com o cliente e decide quais são os serviços que lhe irá disponibilizar. As implementações desta camada são imensamente variadas, desde *smart houses*, onde, por exemplo, é controlada a temperatura de cada divisão, até *smart cities*, em que sensores na cidade inteira controlam o tráfego.

3.2 Modelo de 5 camadas

O modelo de 3 camadas é eficaz para uma representação simples da estrutura de um ecossistema *IOT*, no entanto, existem muitos detalhes intermédios que são ocultados com esta representação, o que não é desejável quando se pretende uma abordagem técnica investigativa. Desta forma, derivado do modelo anterior, surge o *5-layer-model* [3].

- (i) A *camada de transporte*, também chamada de camada de abstração de objetos, assume a parte inicial da camada de rede. Esta camada será responsável pelo transporte da informação obtida na camada de perceção, através de canais seguros, para futuras camadas de processamento de dados e tomada de decisão.
- (ii) A *camada de processamento* irá assumir a parte final da camada de rede. Será nesta camada que os engenheiros de *IoT* trabalharão. O facto da informação que chega a esta camada já estar abstraída da implementação física do dispositivo, devido ao trabalho da camada anterior, permite aos engenheiros trabalharem com o ecossistema sem se terem de preocupar com os detalhes do hardware. Quem processa informação nesta camada são os sistemas edge, sistemas digitais que se encontram muito próximos dos sistemas físicos. As decisões feitas por esses sistemas são depois transmitidas de novo à *perception layer* através de protocolos de comunicação específicos.
- (iii) A *camada de negócio* será a camada final da arquitetura do ecossistema. Embora se possa crer que a arquitetura do sistema acabaria com a camada de aplicação, visto esta ser responsável pela interação com o utilizador, a camada de negócio será responsável por gerir todo o sistema *IoT*. Esta camada irá monitorizar todos os dispositivos que constituem o ecossistema, incluindo aqueles aos quais o utilizador não tem acesso, mas que providenciam informação essencial para o processo de decisão. Também será responsável por gerir a informação relativa aos próprios utilizadores envolvidos no sistema. Por fim, terá o papel de garantir a fidedignidade da informação recolhida e apresentada ao longo das várias camadas, comparando-a com resultados esperados, tanto de experiências passadas como de modelos de previsão de inteligência artificial.

A figura 2 ilustra a nova organização das camadas em relação ao modelo de 3 camadas.

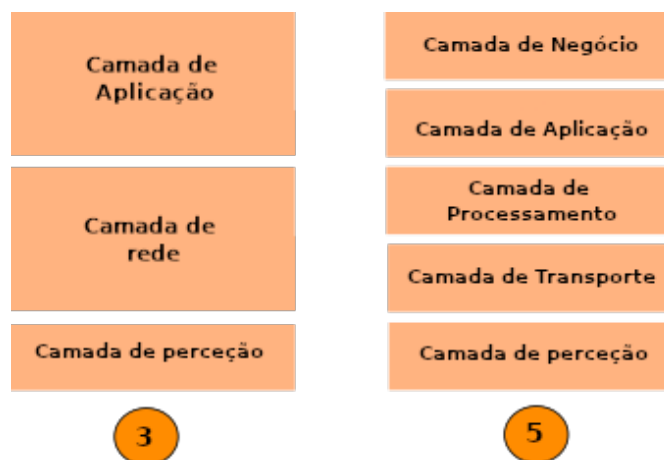


Figura 2. Modelos de 3 e 5 camadas.

4 Protocolos

Como referido na secção 3, é enorme a variedade de dispositivos a integrar um ecossistema *IoT*. De forma a permitir a comunicação entre todas as peças, é necessário escolher um protocolo que possibilite total entendimento e transmissão de mensagens.

Para tal propósito, existem 4 protocolos estabelecidos como as melhores opções para a facilitação da comunicação entre dispositivos, estes são o **MQTT**, **LwM2M**, **OMA-DM** e o **tr-369 USP** [4]. Destes, o MQTT, desenvolvido pela IBM [5], é o protocolo que tem maior adoção, sendo considerado a peça fundamental da grande maioria dos ecossistemas *IoT*.

4.1 MQTT

O **MQTT** (Message Queuing Telemetry Transport) é um protocolo que facilita a partilha de mensagens entre dispositivos, estando assente numa lógica *publish/subscribe*. Esta lógica utilizará dois tipos de entidades distintas, os *clients* e os *brokers*.

Um *client* será qualquer dispositivo do ecossistema que pretenda enviar ou receber mensagens. O carácter destas mensagens poderá variar, podendo ser informação que o dispositivo recolheu através de um sensor, como ordens que o dispositivo de controlo do utilizador deseje enviar a dispositivos atuadores na camada de perceção.

Quando um dispositivo do ecossistema deseja transmitir uma mensagem a outros dispositivos, este necessita primeiro de lhe associar um tópico: uma *string* que servirá para identificar o âmbito da mensagem e, caso seja necessário devido à existência de vários dispositivos do mesmo género, uma identificação individual do mesmo.

De seguida, a mensagem será enviada para um *broker*, um servidor cujo propósito será receber mensagens e distribuí-las pelos dispositivos interessados. A ação de enviar uma mensagem com um tópico associado é chamada de *publish*. Os dispositivos que estejam interessados em receber esta informação, deverão indicar previamente ao *broker* que pretendem que lhes seja redistribuída a mensagem, ou seja, que querem estar *subscribed* ao tópico associado a essas mensagens. O *broker* irá, ao receber a mensagem publicada pelo dispositivo inicial, distribuir a mensagem pelos dispositivos subscritos ao tópico associado, como exemplificado na figura 3.

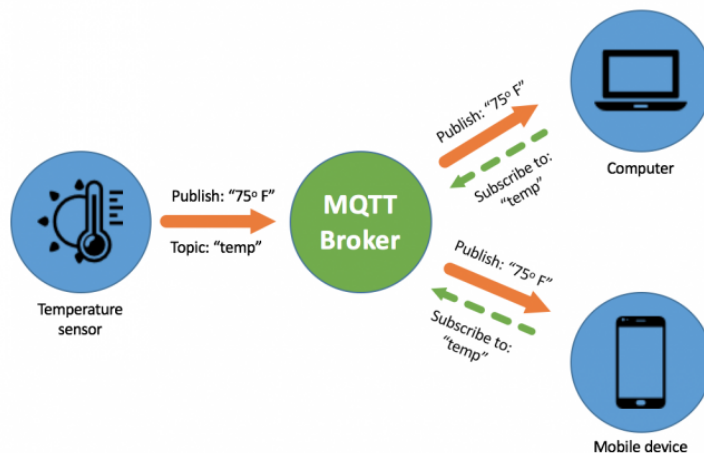


Figura 3. Ilustração do funcionamento do protocolo MQTT

Este protocolo é extremamente leve, o que lhe garante duas enormes vantagens num ecossistema *IoT*:

- Consegue garantir bom funcionamento do sistema tanto em condições fracas de rede, como em más condições dos próprios dispositivos.
- Embora seja construído em cima do protocolo TCP, cuja velocidade é mais lenta que a sua contraparte, o UDP, o protocolo consegue garantir velocidade de publicação quase instantânea em situações que seja requerido, como por exemplo, ao controlar o nível de luminosidade de uma lâmpada a partir de outro dispositivo [4].

5 Áreas de Aplicação

As possíveis aplicações de IoT são diversas e variadas, permitindo ser incorporadas em praticamente todas as áreas que conhecemos, tanto a um nível individual como coletivo. A seguir apresenta-se algumas formas de como aplicações *IoT* podem ser utilizadas [6]:

5.1 *Smart Living*

Desde o simples ligar/desligar de luzes ao monitoramento do sistema de segurança, do controlo dos gastos energéticos ao saber o que tem no frigorífico, do controlo da temperatura ambiente à do estado de lavagem da máquina de lavar roupa, e várias outras "tarefas" domésticas são já possíveis **remotamente** graças à comunicação dos vários dispositivos entre si.

5.2 Meio ambiente

Com a instalação de sensores capazes de monitorizar certos fatores, torna-se facilitada a execução e controlo de medidas de proteção do meio ambiente. Sensores estes que podem ser instalados em fábricas, controlando as emissões de CO₂, em florestas, controlando a presença de gases combustíveis, em rios, controlando cheias, etc.

5.3 Indústria

A constante manutenção e rápida reparação de equipamentos é também algo que pode ser verificado com a simples instalação de sensores que vão vigiando e enviando relatórios sobre o estado atual.

5.4 Saúde

Na saúde o espectro de aplicação é também amplo: monitoramento das condições de pacientes (níveis de colesterol, pressão sanguínea, etc.); aviso no caso de queda ou emergência (especialmente para pessoas mais velhas ou incapacitadas); controlo das condições dos frigoríficos médicos que contêm vacinas, remédios e elementos orgânicos; controlo de atividade física por relógios.

5.5 Agricultura

O controlo do microclima dentro de estufas maximizando a produtividade e qualidade das plantações nestas contidas. Localização e identificação de animais em grandes pastos. Redução de gastos e resíduos, com melhor supervisão e obtenção contínua de dados precisos.

6 Caso de estudo - Tesla

6.1 *Over-the-air*

Os carros da Tesla recebem regularmente atualizações de software automáticas que adicionam novas funcionalidades e melhoram as existentes. Quando estiver disponível uma atualização, uma notificação aparecerá no ecrã tátil central.

Com esta tecnologia, é também possível corrigir problemas no carro, sem ter de o levar à oficina. Por exemplo, os proprietários de Tesla receberam em 2014 um aviso da National Highway Traffic Safety Administration alertando-os de que um carregador precisava ser arranjado porque foi descoberto que poderia causar um incêndio. A Tesla garantiu essa correção para os seus 29222 proprietários por meio de uma atualização de software [7].

6.2 Aplicações

Conforto Os carros da Tesla estão equipados com sensores que recolhem dados sobre a irregularidade da estrada, memorizam as coordenadas e alteram a suspensão do carro sempre que se passa por essas zonas.

Segurança O veículo monitorizará atividades suspeitas através de sensores. Caso alguma seja detetada, as câmaras do veículo iniciam a gravação do suspeito e será ativado o sistema de alarme. É também enviado um alerta para a aplicação móvel associada. Existem também sensores de inclinação. O alarme é acionado se o veículo for inclinado significativamente. Este sistema protege contra elevações do carro, por exemplo, reboques [8].

Condução autónoma O mais recente equipamento permite obter 360 graus de visibilidade em redor do automóvel até 250 metros de distância, detetar objetos rígidos e flexíveis e recolher dados perante chuva forte, nevoeiro, poeira e até mesmo do automóvel à frente [9]. Para tal, o utilizador apenas necessitará de informar o automóvel onde quer ir. Se nada for dito, o automóvel consultará o calendário do condutor e levá-lo-á ao destino esperado ou, caso tenha o calendário vazio, para casa. Quando chegado ao local, apenas será necessário sair do automóvel e este entra no modo de procura de estacionamento para procurar lugar e estacionar automaticamente. No final, é possível "chamá-lo" a partir do telemóvel.

6.3 Limitações

De forma geral, a maior limitação da Tesla são as infra-estruturas, o que afeta particularmente a qualidade do seu piloto automático. É fácil concluir que equipar o material ao longo das estradas - postes, cruzamentos e as próprias faixas de rodagem - com os devidos sensores e atuadores é fundamental para um uso mais completo de sistemas *IoT*. No entanto, a reestruturação das várias infra-estruturas seria bastante dispendiosa, bem como a sua manutenção e segurança.

Ainda dentro da questão da condução autónoma, para garantir uma condução coletiva quase perfeita, todos os veículos, novos e usados, de qualquer marca, teriam de ser equipados com sensores e atuadores para poderem comunicar entre si e transmitirem todas as informações com respeito ao seu trajeto, de forma a garantir uma deslocação suave, rápida e segura. Esta situação também se enquadra numa possível implementação de uma infra-estrutura numa *Smart City*. Estamos, naturalmente, perante uma utopia, uma vez que os seus custos seriam elevadíssimos.

7 Desafios e direções futuras

Os desafios incluem desafios específicos de *IoT* como privacidade, *participatory sensing*², análise de dados, visualização baseada em *GIS*³ e computação na *Cloud*, além dos desafios padrão de RSSF (Rede de Sensores Sem Fio), incluindo arquitetura, eficiência energética, segurança, protocolos e qualidade de serviço. O objetivo final é ter objetos inteligentes *Plug n' Play* que podem ser colocados em qualquer ambiente, permitindo que estes se misturem com outros objetos inteligentes ao seu redor. A padronização de bandas de frequência e protocolos desempenha um papel fundamental na realização deste objetivo. [10]

Na figura 4 pode-se observar os principais desenvolvimentos tecnológicos da pesquisa geral de *IoT*, assim como *drivers* tecnológicos e resultados-chave de aplicações esperadas na próxima década.

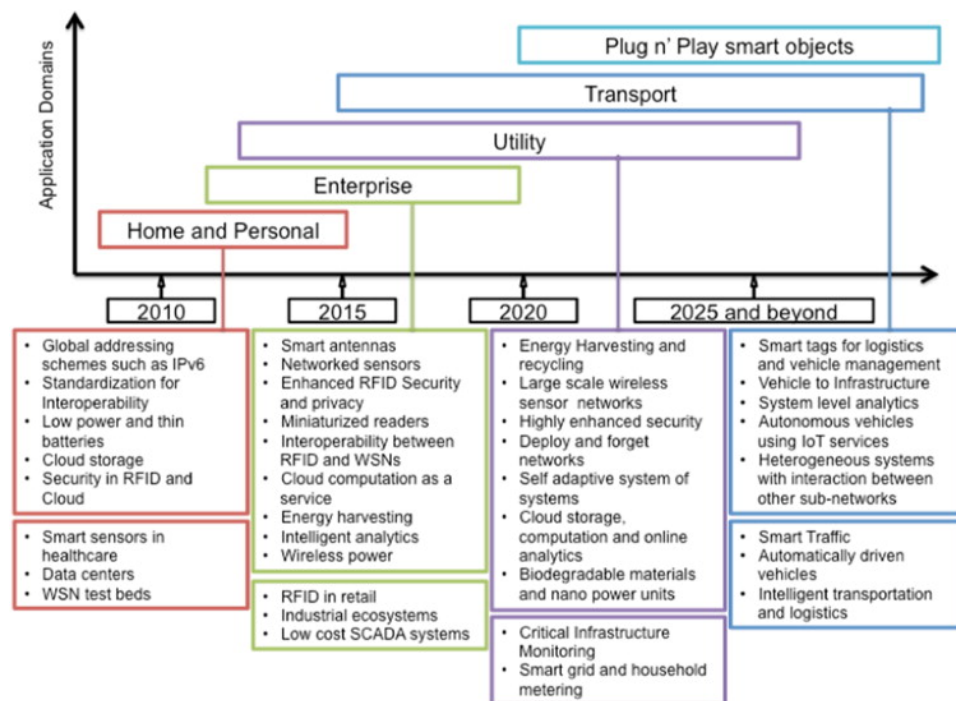


Figura 4. Roteiro dos principais desenvolvimentos tecnológicos no contexto dos domínios de aplicação de *IoT* previstos.[10]

8 Conclusão

Neste trabalho procurou-se explorar *Internet of Things* a um nível técnico, não entrando no entanto, em questões como a privacidade e segurança, questões estas que também não devem ser desprezadas. A *Internet of Things* trouxe um novo significado à *Internet* que previamente se conhecia. Com isto e derivada à sua capacidade de incorporação em diversas áreas, a sua investigação e desenvolvimento tornaram-se tópicos chave. Quando expostos os

² *Participatory Sensing*: é o conceito onde grupos de pessoas contribuem com informação sensorial para formar um corpo de conhecimento.

³ *GIS* : Sistema de Informação Geográfica é uma estrutura conceitual que fornece a capacidade de capturar e analisar dados espaciais e geográficos.

temas dedicados ao funcionamento interno, isto é, arquiteturas e protocolos, estes tiveram o acompanhamento das formas de implementação mais comuns na área, pois devem ser estas as que retratam melhor a situação atual. As áreas de aplicação tiveram como objetivo dar a conhecer uma pequena parte das áreas distintas onde foi possível observar a tecnologia em uso, ao invés da enumeração exaustiva dos diversos exemplos. Finalmente, foi apresentado o caso de estudo de uma empresa de reconhecimento internacional, seguido pela expectativa de futuro da tecnologia, onde se pode observar que esta não é uma tecnologia monótona ou estagnada, mas sim uma tecnologia que ainda está no início e não pretende abrandar. Espera-se assim que este ensaio tenha possibilitado uma introdução à temática da *IoT*, dando a entender a sua importância emergente no nosso quotidiano e talvez, despertar a curiosidade de explorar mais sobre o tema.

Referências

1. S. Krco, B. Pokric, and F. Carrez.: Designing IoT architecture(s): A European Perspective, in Proc. IEEE WF-IoT, 2013, pp 79-84
2. I. Mashal, O. Alsaryrah, T.-Y. Chung, C.-Z. Yang, W.-H. Kuo, and D. P. Agrawal: Choices for interaction with things on Internet and underlying issues. *Ad Hoc Networks*, vol. 28, pp. 68–90, 2015.
3. R. Khan, S. U. Khan, R. Zaheer, and S. Khan: Future internet: the internet of things architecture, possible applications and key challenges, em Proceedings of the 10th International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT '12), pp. 257–260
4. Friendly Technologies: What is IoT: Understanding IoT, Devices and Standards, pp. 8.
5. D. Locke: MQ telemetry transport (MQTT) v3.1 protocol specification. IBM developerWorks Technical Library (2010)
6. Patel, K., Patel, S., Scholar, P., Salazar, C.: Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. (2016)
7. Bourne, B.: Tesla's Over-the-Air Fix: Best Example Yet of the Internet of Things? *Wired*. Em <https://www.wired.com/insights/2014/02/teslas-air-fix-best-example-yet-internet-things> (2014)
8. Car safety and security features. *Tesla*. Em <https://www.tesla.com/support/car-safety-security-features>
9. Autopilot. *Tesla*. Em <https://www.tesla.com/autopilot>
10. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., Palaniswami, M.: Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. (2013)