

## Capítulo

# 1

## Internet das coisas: do hardware utilizado ao gerenciamento das coisas e dados

Bruno P. Santos, Lucas A. M. Silva, Bruna S. Peres, Clayson S. F. S. Celes,  
João B. B. Neto, Antonio A. F. Loureiro, Marcos Augusto M. Vieira, Luiz  
Filipe M. Vieira

Departamento de Ciência da Computação – Instituto de Ciências Exatas  
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – Belo Horizonte, MG – Brasil

{bruno.ps, . . . .}@dcc.ufmg.br

### *Abstract*

*Lorem Ipsum é simplesmente uma simulação de texto da indústria tipográfica e de impressos, e vem sendo utilizado desde o século XVI, quando um impressor desconhecido pegou uma bandeja de tipos e os embaralhou para fazer um livro de modelos de tipos. Lorem Ipsum sobreviveu não só a cinco séculos, como também ao salto para a editoração eletrônica, permanecendo essencialmente inalterado. Se popularizou na década de 60, quando a Letraset lançou decalques contendo passagens de Lorem Ipsum, e mais recentemente quando passou a ser integrado a softwares de editoração eletrônica como Aldus PageMaker.*

### *Resumo*

*Lorem Ipsum é simplesmente uma simulação de texto da indústria tipográfica e de impressos, e vem sendo utilizado desde o século XVI, quando um impressor desconhecido pegou uma bandeja de tipos e os embaralhou para fazer um livro de modelos de tipos. Lorem Ipsum sobreviveu não só a cinco séculos, como também ao salto para a editoração eletrônica, permanecendo essencialmente inalterado. Se popularizou na década de 60, quando a Letraset lançou decalques contendo passagens de Lorem Ipsum, e mais recentemente quando passou a ser integrado a softwares de editoração eletrônica como Aldus PageMaker.*

## 1.1. Dados gerais

### 1.1.1. Objetivos do curso

Este minicurso tem por objetivo apresentar a Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) pontuando sua história, blocos básicos de construção (tanto *hardware* quanto *software*), implementação e validação prática dos blocos básicos discutidos e, finalmente, com uma rede de "coisas" operacionais, mostrar como coletar, modificar, gerenciar, extrair conhecimento e inovar na área de IoT. Ao final do minicurso, o participante terá compreendido o processo de evolução e conceitos que englobam a implementação IoT, apreciando os desafios dessas redes implementadas com dispositivos de baixo custo, comunicação sem fio, diferentes sensores, variados protocolos, *middleware* de gerenciamento de dados, bem como discutir quais são as tendências para o futuro da IoT.

A abordagem empregada neste curso será no estilo *teórico-prática*. No primeiro momento, uma introdução e contextualização dos participantes identificando os blocos iniciais para a construção e desenvolvimento da IoT. No segundo momento, uma implementação prática<sup>1</sup> dos conceitos discutidos a priori será realizada, a saber uma implementação da pilha de protocolos (UDP/IPv6) nos dispositivos de baixo custo (os conhecidos motes). Após o entendimento teórico e prático, volta-se-á as discussões teóricas sobre as implicações e desafios dos momentos já apresentados, destacando questões de pesquisa em aberto. Para finalizar, os participantes serão convidados a opinar sobre as tendências futuras da IoT.

### 1.1.2. Perfil do público-alvo

Este minicurso se destina a profissionais e estudantes de graduação e pós-graduação das áreas de Ciência da Computação, Sistema de Informação, Tecnologia da Informação, Engenharias (Elétrica, Automação, Computação) e outras correlatas. Alunos ou profissionais com conhecimento em sistemas em rede e/ou comunicações digitais podem expandir suas competências com o conteúdo teórico e prático discutidos e apresentados ao longo do minicurso. Espera-se que os alunos tenham conhecimentos básico de redes de computadores somente, pois o minicurso visa explorar desde os blocos básicos da implementação da IoT até questões mais avançadas do tema. Conhecimentos básicos de redes sem fio, sistemas distribuídos e análises estatísticas são bem vindos, mas não são obrigatórios para o entendimento do curso.

## 1.2. Estrutura prevista do curso

O conteúdo do minicurso será distribuído nas seguintes seções, que serão detalhadas a seguir:

### 1. Introdução

#### (a) A história do IoT

---

<sup>1</sup>Vale ressaltar que os exercícios práticos requerem uso de *hardware*, portanto estamos avaliando a viabilidade de execução prática dos participantes com uso de motes TelosB e Iris de propriedade do DCC-UFGM. Essa decisão será baseada na quantidade de alunos inscritos, visto que possuímos uma quantidade limitada de motes; caso o número de alunos seja muito grande, iremos apresentar os exemplos práticos como demonstração.

- (b) Dispositivos de baixo custo
- (c) Tecnologias de conexão
  - 802.11 - WiFi
  - 802.15.4 - ZigBee
  - Bluetooth-LE (Bluetooth Smart)

## 2. Hardware

- (a) Motes (Mica, Micaz, Iris, TelosB)
- (b) Intel
- (c) Samsung
- (d) Desafios e conquistas
- (e) Comercial e não Comercial Pi e Arduino MSP430g2553

## 3. Software

- (a) **Linux**
- (b) Contiki OS
- (c) Tiny OS
- (d) Google Brillo
- (e) Simuladores
  - Sinalgo
  - NS2/NS3
  - OMNet++/Castalia
  - Cooja
  - TOSSIM
- (f) Protocolos
  - lwIP
  - uIP
  - IPv6
  - 6LoWPAN
  - CoAP
  - MQTT
  - DHCPv6
- (g) Desafios e conquistas
  - Protocolos
  - Padronizações
  - COAP

## 4. Prática

- (a) 6LoWPAN para motes L2Ns sobre o TinyOS motes
- (b) CoAP uma padronização para IoT sobre TinyOS motes

## 5. Gerenciamento e análise de dados

- (a) Plataformas middleware (Xively.com etc...)
- (b) RESTFul api
- (c) CoAP
- (d) apps
- (e) Desafios e conquistas

## 6. Sensores sociais e combinação sensores

### 1.2.1. Desenvolvimento dos capítulos

Na **Introdução (XX páginas)**, serão apresentados os principais pontos históricos, definições e motivações do estudo da IoT. Daremos uma atenção especial aos dispositivos IoT (por exemplo, motes de baixo custo, nó sensores comerciais, *Arduíno* e *Raspberry Pi*) e as tecnologias mais utilizadas para a conexão entre os dispositivos (por exemplo, 802.15.4, 802.11 e *Bluetooth low energy*). Será apresentada a evolução do sistemas de hardware e software que suportam a IoT dos dias atuais. Para concluir, a introdução uma visão geral da IoT será feita, enfatizando os principais desafios do ponto de vista de hardware e software que lançam as primeiras questões e direções de pesquisa na área. Assim realizando uma ligação com as próximas seções do minicurso.

Na seção **Dispositivos para IoT (XX páginas)**, serão discutidos os mais variados dispositivos utilizados na IoT, expondo em quais aplicações cada dispositivo é mais adequado. Daremos destaque à arquitetura dos mais atuais dispositivos IoT empregados tanto em âmbito acadêmico (ex: motes Iris e TelosB) quanto comerciais (ex: Intel® Edison e Galileo, Samsung ARTIK) e domésticos (*Arduíno*, *Raspberry Pi* e MSP430g2553). Em particular, uma ênfase maior será dada ao mote TelosB, o qual será utilizado nos exercícios práticos do minicurso. Em seguida, será posto em pauta os desafios de pesquisa dos dispositivos IoT. Para finalizar a seção, uma conexão com o as requisitos de software para esses dispositivos será realizada, introduzindo e justificando a próxima seção.

A seção **Software para IoT (XX páginas)**, dará ênfase aos sistemas operacionais dos dispositivos IoT e na pilha de protocolos de rede. Inicialmente discutiremos os sistemas operacionais ContikiOS e TinyOS bastante utilizados em dispositivos utilizados na academia e para produção final de empresas. Posteriormente, falaremos sobre sistemas linux para IoT, bem como sistemas privados como é o caso do Google Brillo. Em seguida, um enfoque especial será dado aos principais simuladores que podem ser empregados no desenvolvimento de software para IoT, tais como: NS2/NS3, Cooja, Tossim, OMNet++/Castalia e Sinalgo. Logo após, damos destaque a variados protocolos que podem compor a pilha de protocolos de rede para IoT, em particular, falaremos do IPv6/6LoWPAN, pilhas lwIP e uIP, CoAP, DHCPv6, MQTT, além de protocolos estado da arte para L2Ns tais como RPL, XCTP, MHCL, Hydro, AODV, DSR e outros. Como seções anteriores, também pontuaremos questões de pesquisa e, principalmente, alertando

para as padronizações que são fundamentais para o funcionamento de uma IoT heterogênea. Com base nestas considerações e nos conhecimentos discutidos nesta e nas seções anteriores os participantes estão aptos a realizar o exercício prático, que é o propósito da próxima seção.

Em **IoT na prática (XX páginas)**, apresentará uma prática utilizando os conceitos vistos na seções *Dispositivos para IoT e Software para IoT*. Esta seção é dividida em duas partes. Na primeira, será demonstrado minuciosamente como instalar a pilha de protocolos com 6LoWPAN nos motes TelosB, para tanto, esta prática utilizará os sistemas TinyOS e ContikiOS. Com isso será possível validar e diagnosticar através de ICMPv6 a operacionalidade da rede. Na segunda parte desta seção, a qual tem por objetivo contextualizar e exibir o potencial das padronizações sobre o modo de acesso aos recursos da IoT. Para tanto, será apresentado como instalar o protocolo CoAP nos nós sensores, além de mostrar como realizar consultas (inserção, atualização e remoção de estados) nos dispositivos da rede. Finalmente chamaremos a atenção dos participantes para as diferentes aplicações possíveis sobre a IoT funcional e padronizada, este elo será importante para o entendimento da próxima seção que abordará as diferentes aplicações e desafios após uma rede de dispositivos IoT funcional.

Em **Gerenciamento e análise de dados (XX páginas)**, terá um enfoque nas principais técnicas existentes para abstrair a heterogeneidade dos dispositivos IoT. Essas abstrações viabilizam a construção de aplicações e serviços sobre uma rede de dispositivos IoT, bem como abstrair as complexidades do sistema para usuários finais. Para tanto, mostramos quais são os modelos de referências existentes que indicam os blocos básicos de construção dessas abstrações, destacaremos algumas plataformas de *middleware* existentes. Em seguida, retomamos a discussão sobre padronizações e desenvolvimento de protocolos otimizados IoT, dado o destaque aos mais atuais protocolos MQTT e CoAP. Para finalizar esta seção, apresentamos as principais questões de pesquisa e oportunidades relacionada ao conteúdo apresentado.

Finalmente, na **Conclusões e desafios (XX páginas)**, serão apresentadas as considerações finais, as conquistas e limitações da IoT atuais, bem como apontamos uma visão do que será IoT no futuro. Chamaremos atenção, novamente, dos leitores e participantes do minicurso as questões de pesquisa e oportunidades da área.

### 1.3. Bibliografia utilizada na preparação do curso

Para a confecção do curso serão utilizadas como principais fontes as referências [Bhat 2011], [Ulversoy 2010], [Johnson Jr et al. 2011], [Schmid 2006], [de Matos et al. 2012], [A Rashid et al. 2011], [Szalontai and Festila 2010], [Meshkova et al. 2011], [Murphy et al. 2006], [Lin et al. 2006], [Tan et al. 2011], [Zhang et al. 2011] e [Wyglinski and Pu 2013].

### 1.4. Currículo resumido dos autores

- **Bruno Pereira dos Santos:** Lorem Ipsum é simplesmente uma simulação de texto da indústria tipográfica e de impressos, e vem sendo utilizado desde o século XVI, quando um impressor desconhecido pegou uma bandeja de tipos e os embaralhou para fazer um livro de modelos de tipos. Lorem Ipsum sobreviveu não só a cinco

séculos, como também ao salto para a editoração eletrônica, permanecendo essencialmente inalterado. Se popularizou na década de 60, quando a Letraset lançou decalques contendo passagens de Lorem Ipsum, e mais recentemente quando passou a ser integrado a softwares de editoração eletrônica como Aldus PageMaker.

- **Lucas A. M. Silva:** Lorem Ipsum é simplesmente uma simulação de texto da indústria tipográfica e de impressos, e vem sendo utilizado desde o século XVI, quando um impressor desconhecido pegou uma bandeja de tipos e os embaralhou para fazer um livro de modelos de tipos. Lorem Ipsum sobreviveu não só a cinco séculos, como também ao salto para a editoração eletrônica, permanecendo essencialmente inalterado. Se popularizou na década de 60, quando a Letraset lançou decalques contendo passagens de Lorem Ipsum, e mais recentemente quando passou a ser integrado a softwares de editoração eletrônica como Aldus PageMaker.
- **Bruna S. Peres:** Lorem Ipsum é simplesmente uma simulação de texto da indústria tipográfica e de impressos, e vem sendo utilizado desde o século XVI, quando um impressor desconhecido pegou uma bandeja de tipos e os embaralhou para fazer um livro de modelos de tipos. Lorem Ipsum sobreviveu não só a cinco séculos, como também ao salto para a editoração eletrônica, permanecendo essencialmente inalterado. Se popularizou na década de 60, quando a Letraset lançou decalques contendo passagens de Lorem Ipsum, e mais recentemente quando passou a ser integrado a softwares de editoração eletrônica como Aldus PageMaker.
- **Clayson S. F. S. Celes:** Lorem Ipsum é simplesmente uma simulação de texto da indústria tipográfica e de impressos, e vem sendo utilizado desde o século XVI, quando um impressor desconhecido pegou uma bandeja de tipos e os embaralhou para fazer um livro de modelos de tipos. Lorem Ipsum sobreviveu não só a cinco séculos, como também ao salto para a editoração eletrônica, permanecendo essencialmente inalterado. Se popularizou na década de 60, quando a Letraset lançou decalques contendo passagens de Lorem Ipsum, e mais recentemente quando passou a ser integrado a softwares de editoração eletrônica como Aldus PageMaker.
- **João B. B. Neto:** Lorem Ipsum é simplesmente uma simulação de texto da indústria tipográfica e de impressos, e vem sendo utilizado desde o século XVI, quando um impressor desconhecido pegou uma bandeja de tipos e os embaralhou para fazer um livro de modelos de tipos. Lorem Ipsum sobreviveu não só a cinco séculos, como também ao salto para a editoração eletrônica, permanecendo essencialmente inalterado. Se popularizou na década de 60, quando a Letraset lançou decalques contendo passagens de Lorem Ipsum, e mais recentemente quando passou a ser integrado a softwares de editoração eletrônica como Aldus PageMaker.
- **Antonio A. F. Loureiro:** Lorem Ipsum é simplesmente uma simulação de texto da indústria tipográfica e de impressos, e vem sendo utilizado desde o século XVI, quando um impressor desconhecido pegou uma bandeja de tipos e os embaralhou para fazer um livro de modelos de tipos. Lorem Ipsum sobreviveu não só a cinco séculos, como também ao salto para a editoração eletrônica, permanecendo essencialmente inalterado. Se popularizou na década de 60, quando a Letraset lançou

decalques contendo passagens de Lorem Ipsum, e mais recentemente quando passou a ser integrado a softwares de editoração eletrônica como Aldus PageMaker.

- **Marcos A. M. Vieira:** possui graduação em Bacharelado em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais(2002), mestrado em Ciências da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais(2004), mestrado em Computer Science pela University of Southern California(2007), doutorado em Ciência da Computação pela University of Southern California(2010) e pós-doutorado pela Universidade Federal de Minas Gerais(2011). Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Federal de Minas Gerais e bolsista de produtividade nível 2 no CNPq. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Sistemas de Computação, atuando principalmente nos temas Rede de Sensores Sem Fio e Robótica.
- **Luiz Filipe M. Vieira:** possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais(2002), mestrado em Ciências da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais(2004), mestrado em Computer Science pela Computer Science Department - UCLA(2007), doutorado em Computer Science pela Computer Science Department - UCLA(2009) e pós-doutorado pela Universidade Federal de Minas Gerais(2010). Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Federal de Minas Gerais, bolsista de produtividade nível 2 no CNPq, Revisor de periódico da IEEE Transactions on Wireless Communications, Revisor de periódico da IEEE Transactions on Mobile Computing, Revisor de periódico da IEEE/ACM Transactions on Networking (Print), Revisor de periódico da Ad Hoc Networks e Revisor de periódico da IEEE Communications Letters (Print).

#### 1.4.1. Indicação dos autores apresentadores

Bruno P. Santos, Lucas A. M. Silva, Bruna S. Peres, Antonio A. F. Loureiro. Sujeito a modificações.

#### Referências

- [A Rashid et al. 2011] A Rashid, R., Sarijari, M. A., Fisal, N., Lo, A., Yusof, S., Kamilah, S., and Mahalin, N. (2011). Spectrum sensing measurement using gnu radio and usrp software radio platform. In *ICWMC 2011, The Seventh International Conference on Wireless and Mobile Communications*, pages 237–242.
- [Bhat 2011] Bhat, N. S. (2011). Design and implementation of ieee 802.15.4 mac protocol on fpga. *IJCA Proceedings on Innovative Conference on Embedded Systems, Mobile Communication and Computing (ICEMC2)*, ICEMC2(1):1–5. Full text available.
- [de Matos et al. 2012] de Matos, R., Frohlich, A., and Becker, L. B. (2012). Using multiple channels to improve sdr flexibility and performance. In *Computing, Networking and Communications (ICNC), 2012 International Conference on*, pages 1031–1035. IEEE.

- [Johnson Jr et al. 2011] Johnson Jr, C. R., Sethares, W. A., and Klein, A. G. (2011). *Software Receiver Design: Build your Own Digital Communication System in Five Easy Steps*. Cambridge University Press, 1 edition.
- [Lin et al. 2006] Lin, Y., Lee, H., Woh, M., Harel, Y., Mahlke, S., Mudge, T., Chakrabarti, C., and Flautner, K. (2006). Soda: A low-power architecture for software radio. In *Computer Architecture, 2006. ISCA '06. 33rd International Symposium on*, pages 89–101.
- [Meshkova et al. 2011] Meshkova, E., Wangt, Z., Nasreddine, J., Denkovski, D., Zhao, C., Rerkrai, K., Farnham, T., Ahmad, A., Gefflaut, A., Gavrilovska, L., et al. (2011). Using cognitive radio principles for wireless resource management in home networking. In *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2011 IEEE*, pages 669–673. IEEE.
- [Murphy et al. 2006] Murphy, P., Sabharwal, A., and Aazhang, B. (2006). Design of warp: a wireless open-access research platform. In *European Signal Processing Conference*, pages 1804–1824.
- [Schmid 2006] Schmid, T. (2006). Gnu radio 802.15. 4 en-and decoding. *unpublished document and source*.
- [Szalontai and Festila 2010] Szalontai, L. and Festila, L. (2010). Using software defined radio and cognitive radio technologies in smart home environments. *Acta Technica Napocensis*, 51(3).
- [Tan et al. 2011] Tan, K., Liu, H., Zhang, J., Zhang, Y., Fang, J., and Voelker, G. M. (2011). Sora: High-performance software radio using general-purpose multi-core processors. *Commun. ACM*, 54(1):99–107.
- [Ulverson 2010] Ulverson, T. (2010). Software defined radio: Challenges and opportunities. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, 12(4):531–550.
- [Wygliniski and Pu 2013] Wygliniski, A. M. and Pu, D. (2013). *Digital Communication Systems Engineering with Software-Defined Radio*. Artech House.
- [Zhang et al. 2011] Zhang, C., Xie, P., Li, D., Zhang, J., and Yu, R. (2011). Wireless home gateway: Software-defined radio architecture and applications. In *Communication Technology and Application (ICCTA 2011), IET International Conference on*, pages 346–350.