

## Capítulo

# 1

## Internet das coisas: o segredo que liga a teoria e a prática

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, lams, bperes, claysonceles, joaoborges, loureiro, mmvieira,  
lfvieira}@dcc.ufmg.br

### *Abstract*

*Máximo de 10 linhas cada (abstract e resumo).*

### *Resumo*

*Máximo de 10 linhas cada (abstract e resumo).*

### 1.1. Dados gerais

#### 1.1.1. Indicação dos autores apresentadores

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

#### 1.1.2. Motivação

Os autores do presente minicurso, notam a falta de documentação e/ou trabalhos que mostrem como implementar Internet das Coisas (IoT) na prática, em especial, no nosso idioma. Na literatura, é fácil encontrar documentos que descrevem os dispositivos e softwares utilizados, entretanto não é fácil encontrar os softwares e documentos que mostram

como instalar e desenvolver para IoT. Por outro lado, encontramos trabalhos que descrevem plataformas de *middleware* capazes de gerenciar as informações advindas dos dispositivos IoT, entretanto essas plataformas abstraem as complexidades das bases da IoT. Para aqueles que desejam entender as bases e implementar uma “IoT própria” a curva de aprendizado é dispendiosa, visto que é necessária diversas buscas para entender os conceitos, dispositivos e softwares a serem utilizados, além de todo o trabalho para a instalação e escolha das ferramentas de desenvolvimento. Diante deste cenário, nos vemos motivados a abrandar essa curva aprendizado para entender e implementar uma IoT.

Diferente dos minicursos anteriormente apresentados no SBRC, nossa proposta visa mostrar como ligar a teoria, a prática, as aplicações e serviços existentes na IoT. Para evidenciar as diferenças dessa proposta, destacamos que no minicurso *Plataformas para a Internet das Coisas* de 2015 e *Web das coisas: conectando dispositivos físicos ao mundo digital* de 2011, pouca atenção foi dada a quais dispositivos são empregados na IoT, suas limitações e desafios, em nossa proposta esses quesitos serão abordados. Em 2010, foi apresentado o minicurso *Redes de Sensores Aquáticas*, o qual teve enfoque em redes de sensores e redes aquáticas destacando tanto hardware quanto protocolos da época. Entretanto, não foi abordado os trabalhos que hoje compõem as principais protocolos para IoT, por exemplo, *IPv6 in Low-Power Wireless Personal Area Networks* (6LoWPAN) e o protocolo roteamento *IPV6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks* (RPL). Hoje esses protocolos estão mais consolidados, por isso, temos a intenção de comentar e contextualizar estes e outros protocolos ao longo do minicurso proposto. Já o minicurso *Arquiteturas para Redes de Sensores Sem Fio* de 2004, possui uma perspectiva introdutória e de caracterização das redes de sensores sem fio. Diferente deste minicurso, nós pretendemos contemplar desde uma introdução a IoT, os dispositivos e *softwares* de implementação e desenvolvimento, realizar exercícios práticos, chegando até conceitos mais avançados como as padronizações (MQTT e CoAP) que viabilizam a construção das plataformas de *middleware*, bem como questões de pesquisa na área.

### 1.1.3. Objetivos do curso

Este minicurso tem por objetivo apresentar a Internet das Coisas pontuando sua história, blocos básicos de construção (tanto *hardware* quanto *software*), implementação e validação prática dos conceitos discutidos. Diante de um cenário IoT, visto na prática, também vemos como meta mostrar como gerenciar os dispositivos e dados, além de pontuar as principais oportunidades de inovação e questões de pesquisa 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 dessa rede implementada com dispositivos heterogêneos, comunicação sem fio, diferentes sensores, variados protocolos, plataformas de *middlewares* para 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 leitores e participantes será realizada, identificando os blocos iniciais para a construção e desenvolvimento da IoT. No segundo momento, mostraremos uma implementação prática<sup>1</sup> dos conceitos discutidos a priori.

---

<sup>1</sup>Vale ressaltar que os exercícios práticos requerem uso de *hardware*, portanto estamos avaliando a

A parte prática engloba a instalação da pilha de protocolos UDP/IPv6 e CoAP em dispositivos (os conhecidos motes). Após o entendimento teórico e prático, retomaremos as discussões teóricas sobre as implicações e desafios dos momentos apresentados, pontuaremos também as padronizações que permitem construir *middlewares* de gerenciamento dos dispositivos e dados, além de destacar questões de pesquisa em aberto. Para finalizar, os participantes serão convidados a opinar e refletir sobre as tendências futuras da IoT.

#### 1.1.4. 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 programação, 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
2. Dispositivos para IoT
3. Software para IoT
4. IoT na prática
5. Gerenciamento e análise de dados
6. Sensores sociais e combinação sensores
7. Conclusão
8. Referências Bibliográficas

#### 1.2.1. Desenvolvimento dos capítulos

Na **Introdução (7 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

---

viabilidade de execução prática dos participantes com uso de motes TelosB e Iris de propriedade do DCC-UFG. 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.

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 (10 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 requisitos de software para esses dispositivos será realizada, introduzindo e justificando a próxima seção.

A seção **Software para IoT (11 páginas)**, dará ênfase aos sistemas operacionais dos dispositivos IoT e na pilha de protocolos de rede. Inicialmente discutiremos os sistemas operacionais Contiki OS 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 apoiam o 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, alertamos para as padronizações que são fundamentais para o funcionamento de uma IoT composta por dispositivos heterogêneos. Com base nestas considerações e nos conhecimentos discutidos nesta e nas seções anteriores, os participantes estão aptos a entender e realizar o exercício prático, que é o propósito da próxima seção.

Em **IoT na prática (10 páginas)**, exercitará na prática 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 **Contiki OS**. Com isso será possível validar e diagnosticar através de ICMPv6 a operabilidade 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 (10 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, também 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 (2 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.

#### **Divisão do trabalho.**

- Introdução (Bruno e Professores)
- Dispositivos para IoT (Lucas e Bruno)
- Software para IoT (Bruna, Bruno e Clayson)
- IoT na prática (Bruno, Bruna, Marcos e Luiz)
- Gerenciamento e análise de dados (João, Clayson, Bruno, Antonio)
- Conclusão (Bruno, Bruna, Lucas e Professores)

### **1.3. Bibliografia utilizada na preparação do curso**

Para a confecção do curso serão utilizadas como principais fontes as referências [Vasseur and Dunkels 2010], [Ludovici et al. 2013], [Ko et al. 2011], [Loureiro et al. 2003], [de França et al. 2011], [Vieira et al. 2010], [Paulo F. Pires 2015], [Levis et al. 2005], [Dunkels et al. 2004], .

#### **Referências**

- [de França et al. 2011] de França, T. C., Pires, P. F., Pirmez, L., Delicato, F. C., and Farias, C. (2011). Web das coisas: conectando dispositivos físicos ao mundo digital.
- [Dunkels et al. 2004] Dunkels, A., Grönvall, B., and Voigt, T. (2004). Contiki-a lightweight and flexible operating system for tiny networked sensors. In *Local Computer Networks, 2004. 29th Annual IEEE International Conference on*, pages 455–462. IEEE.
- [Hunkeler et al. 2008] Hunkeler, U., Truong, H. L., and Stanford-Clark, A. (2008). Mqtt-s—a publish/subscribe protocol for wireless sensor networks. In *Communication systems software and middleware and workshops, 2008. comsware 2008. 3rd international conference on*, pages 791–798. IEEE.

- [Ko et al. 2011] Ko, J., Terzis, A., Dawson-Haggerty, S., Culler, D. E., Hui, J. W., and Levis, P. (2011). Connecting low-power and lossy networks to the internet. *Communications Magazine, IEEE*, 49(4):96–101.
- [Levis et al. 2005] Levis, P., Madden, S., Polastre, J., Szewczyk, R., Whitehouse, K., Woo, A., Gay, D., Hill, J., Welsh, M., Brewer, E., et al. (2005). Tinyos: An operating system for sensor networks. In *Ambient intelligence*, pages 115–148. Springer.
- [Loureiro et al. 2003] Loureiro, A. A., Nogueira, J. M. S., Ruiz, L. B., Mini, R. A. d. F., Nakamura, E. F., and Figueiredo, C. M. S. (2003). Redes de sensores sem fio. In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)*, pages 179–226.
- [Ludovici et al. 2013] Ludovici, A., Moreno, P., and Calveras, A. (2013). Tinycoap: a novel constrained application protocol (coap) implementation for embedding restful web services in wireless sensor networks based on tinyos. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 2(2):288–315.
- [Paulo F. Pires 2015] Paulo F. Pires, Flavia C. Delicato, T. B. T. B. E. C. e. M. P. (2015). Plataformas para a internet das coisas.
- [Vasseur and Dunkels 2010] Vasseur, J.-P. and Dunkels, A. (2010). *Interconnecting smart objects with ip: The next internet*. Morgan Kaufmann.
- [Vieira et al. 2010] Vieira, L., Loureiro, A., Fernandes, A., and Campos, M. (2010). Redes de sensores aquáticas. *XXVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, Gramado, RS, Brasil*, 24.

#### 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 Ciencia da Computacao 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).