

Capítulo

1

Internet das Coisas: da Teoria à Prática.

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

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, mmvieira, lfvieira,
olga, loureiro}@dcc.ufmg.br

Resumo

A proliferação de objetos com capacidade de monitoramento, processamento e comunicação é crescente nos últimos anos. Diante disso, aparece o cenário de Internet das Coisas (Internet of Things - IoT) onde objetos podem se conectar à Internet e prover comunicação entre usuários, dispositivos (D2D), máquinas (M2M) e formarem novas aplicações. Várias questões teóricas e práticas surgem no desenvolvimento de IoT, por exemplo, como conectar esses objetos à Internet e como endereçar os objetos. Aliado a essas perguntas diversos desafios devem ser superados, por exemplo, como lidar com as restrições de processamento, largura de banda e energia dos dispositivos. Neste sentido, novos paradigmas de comunicação e roteamento podem ser explorados. Questões relacionadas ao endereçamento IP e como adaptá-lo precisam ser respondidas. Oportunidades de novas aplicações em uma rede de objetos inteligentes aparecem e, junto com essas aplicações, também surgem novos desafios.

O objetivo deste minicurso é descrever o estado atual da Internet das Coisas da teoria à prática, e discutir desafios e questões de pesquisa. Através de uma abordagem crítica, é exposto uma visão geral da área, ilustrando soluções parciais e/ou totais propostas na literatura para as questões mencionadas, além de destacar os principais desafios e oportunidades que a área oferece.

1.1. Indicação dos autores apresentadores

Bruno P. Santos, Clayson S. F. S. Celes, Lucas A. M. Silva, Antonio A. F. Loureiro.

1.2. Dados gerais

1.2.1. Motivação

Ao conectar objetos com diferentes recursos a uma rede, potencializa-se o surgimento de novas aplicações. Neste sentido, conectar esses objetos à Internet significa criar a Internet das Coisas (Internet of Things - IoT). Na IoT, os objetos podem prover comunicação entre usuários, dispositivos (D2D) e máquinas (M2M). Com isto emerge uma nova gama de aplicações, tais como coleta de dados de pacientes e monitoramento de idosos (*healthcare at home*), sensoriamento de ambientes de difícil acesso e inóspitos, entre outras.

Entretanto, ao passo que a possibilidade de novas aplicações é crescente, os desafios de conectar os objetos à Internet surgem. Naturalmente, os objetos são heterogêneos, isto é, divergem em implementação, recursos e qualidade e, em geral, apresentam limitações tais como: energia, capacidade de processamento, memória e comunicação. Questões tanto teóricas quanto práticas surgem, por exemplo, como prover endereçamento aos dispositivos, como encontrar rotas de alta vazão e melhor taxa de entrega ao passo que o baixo consumo de energia seja mantido. Deste modo, fica evidente a necessidade da adaptação dos protocolos existentes (por exemplo o IP). Além disso, os paradigmas de comunicação e roteamento devem ser explorados para permitir prover os serviços fundamentais para formar novas aplicações.

Novos desafios surgem ao passo que são criadas novas aplicações para IoT. Os dados providos pelos objetos agora podem apresentar imperfeições (calibragem do sensor), inconsistências (fora de ordem, *outliers*), serem de diferentes tipos (gerados por pessoas, sensores físicos, fusão de dados). Assim, as aplicações e algoritmos devem ser capazes de lidar com esses desafios sobre os dados. Outro exemplo diz respeito ao nível de confiança sobre os dados obtidos dos dispositivos da IoT e como/onde podemos empregar esses dados em determinados cenários. Deste modo, os desafios impostos por essas novas aplicações sobre a IoT devem ser explorados e soluções devem ser propostas.

1.2.2. Objetivos do curso

O objetivo deste minicurso é descrever o estado atual da Internet das Coisas da teoria à prática. Para alcançar esse objetivo, a IoT será contextualizada na história das redes de computadores, com enfoque em seus blocos básicos de construção e especificidades. Com base nesta contextualização e por meio de uma abordagem crítica são expostos os desafios e questões de pesquisa que a IoT impõe.

Os desafios e questões de pesquisa que o minicurso aborda podem ser divididos em quatro categorias:

- i) **Objetos IoT:** são aqueles que envolvem blocos básicos de construção dos objetos inteligentes capacitando-os a operar na IoT. Em geral, as características desejáveis para os dispositivos são: apresentar baixo consumo de energia; possibilidade de comunicação e; tamanho reduzido;

- ii) **Redes de comunicação:** dizem respeito a como conectar os dispositivos à infraestrutura existente (IP), como devem ser explorados os paradigmas de comunicação e roteamento para prover protocolos otimizados para IoT que levem em conta as limitações dos dispositivos, escalabilidade e outras;
- iii) **Padronizações:** destacam o impacto das padronizações sobre a intrínseca heterogeneidade dos objetos. Por serem construídos por diferentes fabricantes, esses dispositivos apresentam especificidades, por exemplo, alta precisão para alguns sensores e baixa para outros. Por isso, padronizar o acesso aos recursos e trabalhar com dados oriundos da IoT é tão desafiador.
- iv) **Novas aplicações em IoT:** neste quesito se enquadram as questões referentes às novas aplicações sobre IoT, dificuldades encontradas para tratar informações advindas dos objetos inteligentes. Assim, almejamos descrever quais são os principais problemas encontrados ao se implementar sobre IoT e quais os desafios que devem ser enfrentados.

Outro propósito deste curso é apresentar a visão geral da área através de soluções presentes na literatura para as questões acima citadas. As soluções discutidas ao longo do minicurso são demonstradas, pelos apresentadores, seguindo o estilo prático. O principal objetivo da exposição das soluções práticas é consolidar os conceitos vistos ao longo do curso. Para isso, exibiremos como anexar a um dispositivo IoT de baixa potência a pilha básica de protocolos e uma aplicação (Ex: 6LOWPAN/RPL e CoAP). Também será exibida uma prática de como utilizar ferramentas de gerenciamento (*middleware*) e análise de dados. Portanto, os leitores e ouvintes podem experimentar a implantação de uma rede de dispositivos inteligentes, além de conhecer o estado da arte em IoT apreciando as questões e desafios do hardware e software utilizados.

1.2.2.1. Abordagem do minicurso

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 prática¹ dos conceitos discutidos a priori. A parte prática engloba a instalação da pilha de protocolos 6LoWPAN/RPL 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 ferramentas de gerenciamento (os *middlewares*) dos dispositivos e análise 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.

¹Vale ressaltar que a demonstração prática requer uso de *hardware*, portanto estamos avaliando a viabilidade de execução prática com uso de nós sensores TelosB [MEMSIC 2015b] e Iris [MEMSIC 2015a] de propriedade do DCC-UFMG. De todo modo, a prática também constará de exibição multimídia dos conceitos aprendidos.

1.2.3. Perfil do público-alvo

Este minicurso se destina a profissionais e estudantes de graduação e pós-graduação das áreas de Ciência da Computação, Sistemas 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 básicos 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.

1.3. Estrutura prevista do curso

O conteúdo do minicurso está distribuído nas seguintes seções, que são detalhadas a seguir:

1. Introdução

- Exemplos de aplicações como um gacho para a motivação da IoT
- Enfoque na motivação de conectar dispositivos inteligentes à Internet
- Sistemas embarcados
- Redes de sensores
- Computação ubíqua e pervasiva
- Definir o que é IoT através da evolução dos sistemas embarcados, RSSF e computação ubíqua/pervasiva.
- Deixar um gacho com os principais desafios existentes ao nível de hardware e ao nível de software

2. Dispositivos para IoT

- Quais são as melhores referências de dispositivos?
- Elencar quais são as principais tecnologias para conectar dispositivos
- Destacar as limitações dos dispositivos e quais são as principais propostas de solução existentes (Ex: energia -> Energy Harvesting)
- Custo para manutenção dos dispositivos
- Elencar as características dos dispositivos IoT
- Detalhar de modo textual e tabular uma lista não exaustiva de exemplos de dispositivos.
- Construir 'rank' baseado nas características

3. Software para IoT

- Quais são os sistemas operacionais?

- Porque IP para os dispositivos?
 - Quais as adaptações necessárias 6LOWPAN, μ IP...
- Paradigmas de comunicação e seus protocolos (facilita o Plug & Play?)
 - Muitos-para-um Ex: CTP, MultHopLQI...
 - Um-para-muitos: Direct Difusion, Deluxe, DIP/DRIP, CodeDRIP....
 - Qualquer-para-Qualquer: RPL, XCTP, Matrix
- Modelos de conectividade (Internet of Things X Autonomously Smart Objects networks).
 - Autonomously Smart Objects networks - objetos que não requerem nenhuma conexão com a Internet (Ex: smart grids,)
 - Internet of Things - onde objetos inteligentes realmente estão conectados à Internet pública e podem ser acessados diretamente ou através de middlewares.
- Roteamento
 - XCTP/Matrix (Estudo de caso)
- Desenvolvimento (simuladores)
- Tabular ou listar os simuladores e as principais características
- Exemplificar na prática com o Contiki-RPL 6LowPAN direto do simulador para uma rede externa.
- Questões de pesquisa
 - Pilha de protocolos X Consumo de recursos
 - Segurança*

4. IoT na prática

- Definir quais serão os experimentos.
 - A proposta inicial seria:
 - * Instalar os códigos de um ou dos SOs TinyOS e Contiki. Porém existe o problema de como explicar tal instalação no texto. Além dessa demonstração, seria executada consultas aos nós sensores através de requisições CoAP.
 - * Realizar uma consulta em uma plataforma middleware tal como o João utiliza a Xyvel.
 - * OBS (IMPORTANTE): vale notar que as demonstrações serão realizadas ao longo da apresentação e não em um momento específico.
 - * OBS (IMPORTANTE): podemos criar um vídeo para exemplificar de forma mais rápida e confiável, mas ainda assim seria interessante levar os testes reais para validar o conteúdo do vídeo.

5. Gerenciamento e análise de dados

- Técnicas para abstrair a heterogeneidade dos dispositivos

- CoAP, MQTT...
- Ferramentas existentes (Plataformas de middleware)
- Trabalhar com dados oriundos da IoT
 - Formato dos dados (JSON, XML ...)
 - Aspectos dos dados
 - * Espaços, Correlatos, Diferentes fontes, Imprecisos....
 - Qualidade dos dados (Estudo de caso)
 - Fusão de dados (uma questão e 2 níveis de problemas)
 - * com o artigo que o professor passou para Bruno e João, ou seja fusão (Estudo de caso).
 - * in-networks
- Questões de pesquisa

6. Comentários finais

- Questões não comentadas no capítulo (essas questões devem entrar em alguma seção?)
 - Como tornar os dispositivos Plug & Play
 - Localização (quais os problemas existentes? como fazer?)
 - Segurança
 - Descoberta de Serviços
 - Desempenho X quantidades de acessos
 - IP X Non-IP
 - Exemplos de Aplicações (Automação residencial, Smart Cities, Urban Networks, Monitoramento de Saúde)
- Revisão do texto e de forma tabular listar os problemas de pesquisa de cada seção.
- Agradecimentos

7. Referências Bibliográficas

1.4. Desenvolvimento dos capítulos

Na **Introdução (5 páginas)**, é apresentado o que são os objetos inteligentes, de onde surgiram e motivações do estudo da IoT. Como principal objetivo desta seção tem-se a perspectiva da evolução dos sistemas de hardware e software que suportam a IoT dos dias atuais. Os principais pontos históricos são levantados, destacando a interseção entre da IoT com as Redes de Sensores Sem Fio (RSSF), Redes de Computadores, telefonia móvel, computação móvel e ubíqua e, sistemas embarcados. Uma atenção especial é dada aos dispositivos IoT (ex: motes de baixo custo, nós sensores comerciais, *Arduino* e *Raspberry Pi*) e as tecnologias mais utilizadas para a conexão entre os dispositivos (ex: os padrões IEEE 802.15.4, IEEE 802.11 e *Bluetooth Low Energy (BLE)*). Para concluir a introdução, é feita uma visão geral da IoT, aliada a ênfases nos principais desafios do ponto de vista

de hardware e software que lançam as primeiras questões e direções de pesquisa na área. Isto, funcionará como âncora para as próximas seções do minicurso.

Na seção **Dispositivos para IoT (5 páginas)**, são discutidos os mais variados dispositivos utilizados na IoT. Classificamos os dispositivos em três grandes grupos: i) os **dispositivos para pesquisa e desenvolvimento** são os famosos motes (Mica, Micaz, Telos e outros); ii) **dispositivos de uso doméstico** são aqueles que podem ser usados para pesquisa, passatempo (*hobby*) por usuários comuns ou para implementação final no caso de empresas, exemplos desses dispositivos são Arduino e Raspberry Pi; iii) os **dispositivos comerciais** são aqueles já em produção e venda através de empresas, exemplo desses dispositivos são os Galileo e Edison da Intel e Samsung ARTIK. Em particular, uma ênfase maior é realizada ao mote TelosB, o qual é empregado nos exercícios práticos do minicurso. Em seguida, são postos em pauta os desafios de pesquisa dos dispositivos IoT. Para finalizar a seção, uma conexão com os requisitos de software para esses dispositivos é realizada, introduzindo e justificando a próxima seção.

A seção **Software para IoT (15 páginas)** tem por objetivo expor a perspectiva de softwares para IoT, tanto para operação quanto para desenvolvimento. Nesta seção, a atenção se volta para os sistemas operacionais (SO) para IoT e na pilha de protocolos de rede. Inicialmente são abordados os SOs TinyOS e Contiki OS, os quais são amplamente empregados em dispositivos IoT tanto na academia quanto para produção final de empresas. Em seguida, apresentamos os principais simuladores que apoiam o desenvolvimento de software para IoT, tais como: NS2/NS3, Cooja, Tossim, OMNet++/Castalia e Sinalgo.

Ainda na seção **Software para IoT**, damos destaque a variados protocolos que podem compor a pilha de protocolos de rede para IoT, em particular, é posto em evidência IPv6/6LoWPAN, RPL, CoAP, Zeroconf, MQTT, e as pilhas lwIP e μ IP. Além disso, pontuamos o estado da arte em protocolos para IoT que exploram questões de endereçamento e paradigmas de comunicação para otimizar a rede de objetos IoT, uma amostra desses protocolos são: RPL, CTP, XCTP, MHCL, Hydro, OLSR, AODV, DSR e outros que exploram os paradigmas de comunicação para otimizar a rede IoT. Como nas seções anteriores, também levantamos questões de pesquisa e, principalmente, alertamos para as padronizações que são fundamentais para o funcionamento de uma IoT composta por dispositivos heterogêneos. Com base nessas 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 (8 páginas)**, demonstra-se com exercícios práticos os conceitos vistos na seções *Dispositivos para IoT e Software para IoT*. Esta seção é dividida em duas partes. Na primeira, é demonstrado minuciosamente como instalar a pilha de protocolos com 6LoWPAN/RPL em motes TelosB, para tanto, são utilizados os SOs TinyOS e Contiki OS. As principais diferenças e interseções das duas diferentes implementações também são analisadas. Com isto é possível validar e diagnosticar a operacionalidade dos dispositivos através do protocolo ICMPv6. 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, apresentamos como instalar e manipular o protocolo CoAP nos objetos IoT, além de mostrar como realizar consultas (inserção, atualização e remoção de estados) nos dispositivos da rede. Finalmente chamamos a atenção dos participantes

para as diferentes aplicações possíveis sobre uma IoT funcional e padronizada, este elo é importante para o entendimento da próxima seção que abordará as diferentes aplicações e desafios após uma rede de dispositivos IoT funcional.

A seção **Gerenciamento e análise de dados (15 páginas)** tem por objetivo descrever quais os principais desafios ao se implementar aplicações sobre IoT. Esta seção é dividida em dois momentos. No primeiro momento, explicamos quais são as 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 abstraem as complexidades do sistema para usuários finais. Já no segundo momento, é discutido o impacto que os dados oriundos da IoT podem causar sobre as aplicações. Neste quesito, diversas questões e desafios de pesquisa estão em abertos como, por exemplo, tratar imperfeições (imprecisos, vagos, ambíguos etc.) nos dados, como lidar com a sua granularidade e inconsistência (ex: dados espaçados no tempo, fora de ordem, *outliers*) e, em especial, como trabalhar com dados de fontes heterogêneas.

Destacamos quais são os modelos de referências existentes que indicam os blocos básicos de construção dessas abstrações, também pontuamos algumas plataformas de gerenciamento (*middleware*) e análise de dados existentes. Em seguida, retomamos a discussão sobre padronizações e desenvolvimento de protocolos otimizados para IoT, dando destaque aos mais atuais protocolos MQTT e CoAP. Em seguida, apresentamos ferramentas de gerência e análise de dados (Ex: Xively e OpenIoT) e, para os ouvintes ocorrerá uma demonstração prática das ferramentas, demonstrando como manipular dados da IoT. Para finalizar a seção, levantaremos as principais questões de pesquisa e oportunidades relacionadas ao conteúdo apresentado.

Finalmente, na seção **Conclusões e desafios (2 páginas)**, são apresentadas as considerações finais, as conquistas e limitações da IoT nos dias 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.

Referências

- [Abu-Elkheir et al. 2013] Abu-Elkheir, M., Hayajneh, M., and Ali, N. A. (2013). Data management for the Internet of Things: Design primitives and solution. *Sensors (Switzerland)*, 13(11):15582–15612.
- [Atzori et al. 2010] Atzori, L., Iera, A., and Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15):2787–2805.
- [Bellavista et al. 2012] Bellavista, P., Corradi, A., Fanelli, M., and Foschini, L. (2012). A survey of context data distribution for mobile ubiquitous systems. *ACM Computing Surveys*, 44(4):1–45.
- [Borges Neto et al. 2015] Borges Neto, J. B., Silva, T. H., Assunção, R. M., Mini, R. A. F., and Loureiro, A. A. F. (2015). Sensing in the Collaborative Internet of Things. *Sensors*, 15(3):6607–6632.
- [Borgia 2014] Borgia, E. (2014). The Internet of Things vision : Key features , applications and open issues. *Computer Communications*, 54:1–31.

- [Chaouchi 2013] Chaouchi, H. (2013). *The internet of things: connecting objects*. John Wiley & Sons.
- [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*. IEEE.
- [Gubbi et al. 2013] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., and Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7):1645–1660.
- [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.
- [Khaleghi et al. 2013] Khaleghi, B., Khamis, A., Karray, F. O., and Razavi, S. N. (2013). Multisensor data fusion: A review of the state-of-the-art. *Information Fusion*.
- [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.
- [Lee and Lee 2015] Lee, I. and Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4):431–440.
- [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.
- [Ma et al. 2013] Ma, M., Wang, P., and Chu, C.-H. (2013). Data Management for Internet of Things: Challenges, Approaches and Opportunities. In *2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing*, pages 1144–1151. IEEE.
- [MEMSIC 2015a] MEMSIC (2015a). Iris wireless measurement system.
- [MEMSIC 2015b] MEMSIC (2015b). Telosb mote platform.

- [Paulo F. Pires 2015] Paulo F. Pires, Flavia C. Delicato, T. B. (2015). Plataformas para a Internet das Coisas.
- [Perera et al. 2014] Perera, C., Zaslavsky, A., Liu, C. H., Compton, M., Christen, P., and Georgakopoulos, D. (2014). Sensor Search Techniques for Sensing as a Service Architecture for the Internet of Things. *Sensors Journal, IEEE*, 14(2):406–420.
- [Peres and Goussevskaya 2015] Peres, B. S. and Goussevskaya, O. (2015). IPv6 Multihop Host Configuration for Low-Power Wireless Networks. In *Computer Networks and Distributed Systems (SBRC), 2015 XXXIII Brazilian Symposium on*, pages 189–198.
- [Santos et al. 2015] Santos, B., Vieira, M., and Vieira, L. (2015). eXtend Collection Tree Protocol. In *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2015 IEEE*, pages 1512–1517.
- [Shanzhi Chen et al. 2014] Shanzhi Chen, Hui Xu, Dake Liu, Bo Hu, and Hucheng Wang (2014). A Vision of IoT: Applications, Challenges, and Opportunities With China Perspective. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(4):349–359.
- [Shelby et al. 2014] Shelby, Z., Hartke, K., and Bormann, C. (2014). The constrained application protocol (CoAP).
- [Tsai et al. 2014] Tsai, C. W., Lai, C. F., Chiang, M. C., and Yang, L. T. (2014). Data mining for internet of things: A survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 16(1):77–97.
- [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.
- [Winter 2012] Winter, T. (2012). RPL: IPv6 routing protocol for low-power and lossy networks.
- [Zanella et al. 2014] Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., and Zorzi, M. (2014). Internet of Things for Smart Cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1):22–32.

1.5. Currículo resumido dos autores

- **Bruno P. Santos:** possui graduação em Bacharelado em Ciência da Computação Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC (2012), mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG (2015) e, atualmente, é aluno de doutorado pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG (2015 - 2019). As principais áreas de interesse são redes de computadores, gerenciamento de redes, redes de sensores sem fio, computação móvel, computação ubíqua, redes inteligentes, fusão/análise de dados, Modelagem Computacional para

CAD (Computação de Alto Desempenho), processamento paralelo (GPU, MPI, OpenMP). Atuando ativamente no desenvolvimento de técnica e tecnologias nas áreas de interesse.

- **Lucas A. M. Silva:** possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG (2014), atualmente, é aluno de mestrado pela Universidade Federal Minas Gerais - UFMG (2014 - 2016). As principais áreas de pesquisa são redes de computadores, Redes Definidas por Software e Internet das Coisas, participando ativamente em projetos nas áreas citadas.
- **Bruna S. Peres:** possui graduação em Ciência da Computação pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC Minas (2012), mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG (2015) e, atualmente, é aluna de doutorado pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG (2015 - 2019). As principais áreas de interesse são redes de computadores, redes de sensores sem fio, computação móvel, computação ubíqua, modelos de conectividade e redes inteligentes. Atuando ativamente em projetos nas áreas de interesse.
- **Clayson S. F. S. Celes:** Estudante de doutorado em ciência da computação na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Possui mestrado em Ciência da Computação pela UFMG. Graduação em Ciência da Computação pela Universidade Estadual do Ceará. Graduação em Teleinformática pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em sistemas distribuídos, atuando principalmente nos seguintes temas: computação móvel e ubíqua, algoritmos distribuídos, comunicação sem fio e redes de computadores.
- **João B. B. Neto:** Possui mestrado em Engenharia de Teleinformática pela Universidade Federal do Ceará (2009) e graduação em Ciência da Computação pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (2006). Atualmente é doutorando em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais e professor assistente na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, onde atua em projetos de desenvolvimento, pesquisa e extensão. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Redes de Computadores, atuando principalmente nos seguintes temas: Redes de Sensores Sem Fio, Computação Móvel e Computação Ubíqua. Também atua nos seguintes temas: Sistemas Operacionais, Sistemas Distribuídos, Aplicações Web e Software Livre.
- **Olga N. Goussevskaia:** Possui doutorado em ciência da computação pelo Instituto Federal de Tecnologia Suíço (ETH Zurich, 2009) e mestrado em ciência da computação pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG, 2005). Atualmente é professora adjunto na Universidade Federal de Minas Gerais. Tem experiência na área de ciência da computação, com ênfase em algoritmos para redes de comunicação sem fio, atuando principalmente nos seguintes temas: complexidade computacional e algoritmos de escalonamento de requisições, algoritmos distribuídos, modelagem de interferência, assim como em temas como análise de redes complexas e aplicativos baseados em dados coletados na web.

- **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 F. 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).
- **Antonio A. F. Loureiro:** possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais (1983), mestrado em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Minas Gerais (1987) e doutorado em Ciência da Computação pela University of British Columbia, Canadá (1995). Atualmente é Professor Titular do Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em sistemas distribuídos, atuando principalmente nos seguintes temas: algoritmos distribuídos, computação móvel/ubíqua, comunicação sem fio, gerenciamento de redes, redes de computadores, redes de sensores sem fio.