

# Cognitive *Internet of Things* (Dezembro 2014)

Lucas R. Palma, *Instituto Eldorado*

**Abstract**— This article is part of the Artificial Cognitive Systems class, which intend to argue on a field that wasn't presented during the classes. In this case, it consists on a survey containing many articles about Cognitive Internet of Things, presenting the field and exhibiting the area current status, demonstrating then different ways of applying Artificial Cognitive Systems on Internet of Things.

**Resumo**— Este artigo é parte da disciplina de Sistemas de Cognição Artificial, a qual possui o intuito de apresentar um tema ainda não tratado em classe. Neste caso, trate-se de um survey contendo vários artigos existentes na literatura sobre Cognitive Internet of Things, apresentando o assunto e exibindo o status atual da pesquisa na área, de maneira a demonstrar modos existentes de se aplicar Sistemas de Cognição Artificial em Internet of Things.

**Index Terms**— internet of things, monografia, sistemas de cognição artificial.

## I. INTRODUÇÃO

### A. Motivação

INTERNET of Things (IoT) é um termo novo, que acredita-se ter sido pela primeira vez nomeado por volta de 1999 [1], mas somente começou obter visibilidade depois de dois anos, através de um artigo publicado pelo Instituto Auto-ID do MIT [2]. Seu principal conceito é o da possibilidade de se inserir a internet em qualquer dispositivo, conectando-os para que possa ser feito um gerenciamento de maneira distribuída e remota.

Mas recentemente alguns pesquisadores destacaram que somente dispositivos interconectados não era o suficiente e, a partir dessa ideia, um novo paradigma foi gerado: a Cognitive Internet of Things (CIoT). Este conceito define que os dispositivos devem também aprender, pensar e entender tanto o mundo físico quanto o mundo social no qual eles estão inseridos [3].

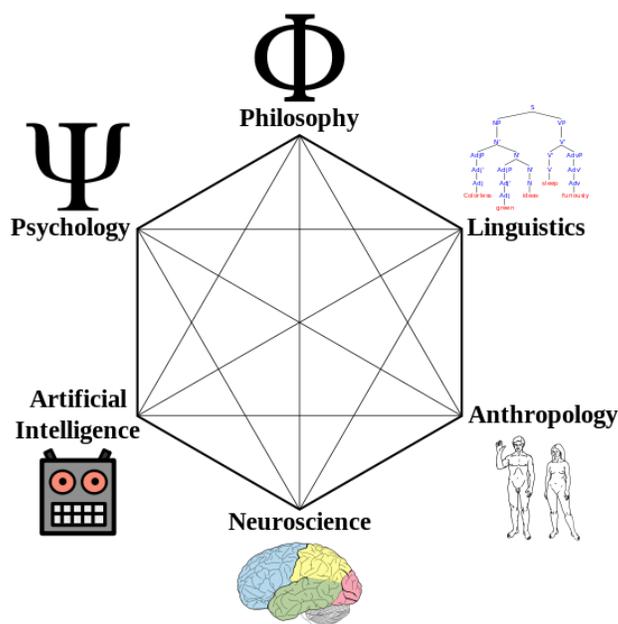
### B. Sobre Sistemas de Cognição Artificial

Os sistemas de cognição artificial são aqueles que possuem como objetivo apresentar uma cognição próxima àquela apresentada por um ser humano, realizando tal através de implementações computacionais modeladas a partir de estudos feitos na ciência cognitiva.

Trabalho submetido em Dezembro de 2014, feito como parte da disciplina de Sistemas de Cognição Artificial, na UNICAMP.

Lucas R. Palma é Engenheiro e Pesquisador pelo Instituto Eldorado, em Campinas, SP, Brasil.

Já à ciência cognitiva atribui-se o estudo científico das habilidades mentais existentes, assim como os processos relacionados ao aprendizado, como: atenção, memória, consciência, compreensão, produção de linguagem, entre outros. Para que isso seja possível, é necessária uma grande gama interdisciplinar, constituída das áreas de: filosofia, psicologia, neurociência, antropologia, linguística e inteligência artificial [4]. A Figura 1 exibe um diagrama onde todas essas áreas são relacionadas, formando a ciência cognitiva.



**Figura 1: Interdisciplinaridade existente para que seja possível o estudo da ciência cognitiva [5].**

Com isso, várias técnicas são aplicadas em sistemas computacionais, utilizando-se como entrada modelos neurais obtidos da ciência cognitiva. O resultado esperado é o de um sistema que possua uma cognição comparável à de um ser humano.

Estas técnicas possuem um resultado melhor quando são aplicadas em sistemas que, assim como os seres humanos, estão imersos no ambiente e podem interagir com ele. Estas aplicações computacionais podem até mesmo ter funções sociais, implementando-se uma interação com pessoas e outros sistemas que também estão no local.

Com isso, sistemas computacionais físicos, que possuem sensores e capacidade não só de ler, mas também de interagir com o meio ambiente, são considerados uma boa área para a aplicação dos modelos mentais implementados.

Entre estes sistemas computacionais, há uma área que demonstra uma grande robustez e está ganhando cada vez mais enfoque atualmente: a *Internet of Things*.

### C. Uma breve descrição sobre Internet of Things

A IoT surgiu como uma importante precursora da computação pervasiva (ou ubíqua), onde acredita-se que os computadores estarão tão intrínsecos no ambiente que eles sequer serão percebidos, tornando-se parte do próprio.

Sua essência é a de que este conjunto de dispositivos esteja interconectado, de maneira que eles possam prover várias informações sobre o ambiente no qual eles estão situados, além de permitir o gerenciamento remoto de várias máquinas próximas a eles.

Considerando a tradução direta, *Internet of Things* é popularmente conhecida no Brasil como Internet das Coisas. Como o conceito de Internet já é amplamente conhecido, a primeira questão a ser tratada é: “Qual a definição de ‘coisa’ nesse contexto?”.



Figura 2: Exemplos de "coisas" no contexto de Internet das Coisas [6].

Como pode ser visto na Figura 2, a definição de coisa nesse contexto é realmente ampla e pode denominar praticamente qualquer dispositivo com capacidade de processamento digital.

Neste exemplo, animais de estimação, luzes, câmeras, objetos, processo de trabalho, servidores entre outros, estão todos conectados comunicando-se com um dispositivo central, o qual pode monitorar e gerenciar todas essas coisas. Nota-se que há itens das mais diversas categorias, desde animais à processos, onde é possível aplicar e fazer parte da Internet das coisas.

A maneira mais comum de se encontrar a IoT é através do uso de sensores acoplados aos objetos ou ambiente o qual deseja-se obter informação, de modo que estes possam obtê-la

e enviá-la através de uma arquitetura de comunicações previamente definida.

Já a Figura 3 exibe um exemplo de uma possível arquitetura compatível com a Internet of Things. Nela, há dispositivos em uma casa, uma rede elétrica, um servidor de rede, um carro e uma base de dados, todos interconectados na mesma camada e provendo dados para a internet. Estes dados são gerenciados por pessoas que podem utilizá-los para o entendimento da situação e auxílio nas tomadas de decisões.

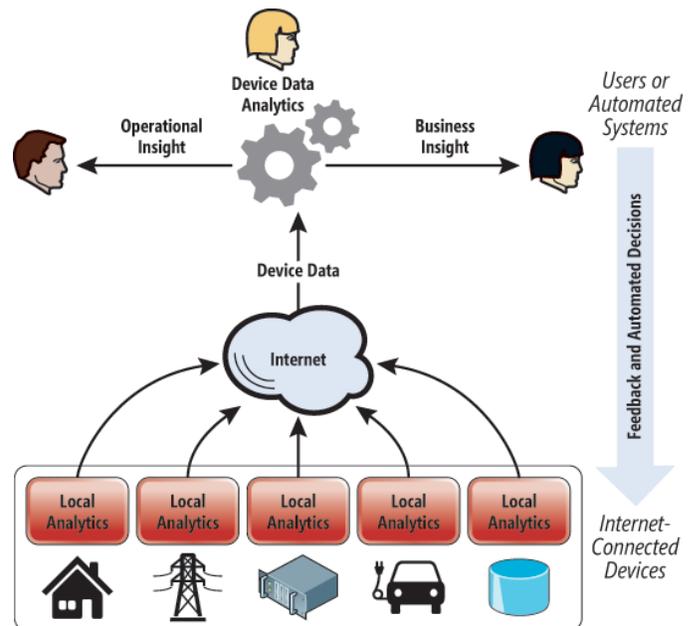


Figura 3: Exemplo de arquitetura da Internet of Things [7].

Estima-se que, até 2020, cerca de 50 bilhões de dispositivos estarão conectados na internet [8], o que será em torno de 7 dispositivos para cada ser humano no planeta. Esta grande variedade de máquinas, várias delas fazendo parte de sua própria *Internet of Things*, emerge em um conceito chamado *Internet of Everything*, onde tudo estará na internet para que possa ser constantemente monitorado e gerenciado.

É bastante evidente o grande potencial que este novo paradigma traz com relação ao uso e monitoramento de objetos e até mesmo do próprio ambiente, mas ressalta-se uma grande lacuna na pesquisa sobre o que fazer com os dados obtidos e quais outras possíveis funcionalidades estes objetos podem possuir.

Uma possível forma de preencher esse espaço é com o uso de Sistemas Cognitivos Artificiais. Aproveitando-se dos dados e desta interface de comunicação já existente, nota-se a necessidade de que os objetos não devem simplesmente estar conectados, mas como eles podem possuir também a capacidade de aprender e interagir com o meio ambiente no qual estão inseridos assim como ações sociais perante às pessoas que estão no mesmo.

Esta ideia de que pode haver uma mente artificial centralizando essas ações, a qual permite que esta gama de objetos possa aprender, pensar e entender dá origem à um novo paradigma que vem sendo cada vez mais discutido recentemente: a *Cognitive Internet of Things* [3].



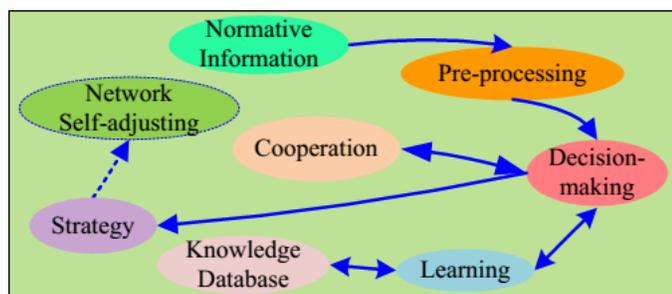


Figura 6: Metacognição possível em CioT [9].

Neste caso, a tomada de decisões recebe várias entradas: uma série de informações que foram pré-processadas, a cooperação existente no MDC e o processo de aprendizado, o qual utiliza-se da base de conhecimento.

Isso é necessário para que a tomada de decisões gere algumas saídas: as possíveis decisões escolhidas podem ser enviadas para o MDC de modo a definir-se, de maneira colaborativa, qual a melhor decisão a ser tomada. Com isso uma estratégia é definida e, finalmente, um aprendizado é gerado ao fim do processo, alimentando a base de conhecimentos.

De modo a pôr em prática o conhecimento gerado no estudo de CioT, os pesquisadores aplicaram o conceito em um sistema nomeado RmCTDS (*Ready-mixed Concrete Transportation and Dispatching System*, ou Sistema para envio e transporte de concreto pronto). Sua principal utilidade é levar o concreto do ponto de origem até o destino, utilizando uma rota ideal.

O resultado obtido ao modificar este sistema, indo de IoT para uma CioT, foram excelentes. Com a cognição o sistema aprendeu caminhos que, apesar de mais longos, consumiam menos energia e gastavam menos tempo, isso porque passaram a serem selecionadas ruas mais livres, visto que aprendeu-se que elas atrapalhavam menos o trajeto do dispositivo que carregava o cimento.

### B. Cidade Conectada e Cognitiva

Um estudo de caso bastante interessante é apresentado por um grupo de pesquisas espalhado por toda a Europa [10]. Eles definem uma possível arquitetura para um framework focado em realizar ações de cognição artificial em um sistema, considerando a hipótese de que esse irá se comunicar através de dispositivos interconectados com envio de mensagens diretamente entre eles ou utilizando-se de um gateway.

É apresentado inicialmente o framework, focando-se em quatro objetivos principais:

1. Esconder a heterogeneidade dos dispositivos, de modo que todos podem ser tratados de maneira uniforme;
2. Considerar que o sistema é dinâmico e algumas mensagens devem ser consideradas confiáveis e enviadas o mais breve possível;
3. Ensinar os sistemas conectados a gerenciar a interação existente entre os dispositivos da IoT e os objetos do ambiente;
4. Utilização da cognição para a definição de comportamentos na rede através do contexto atual e aprendizado prévio, maximizando a inteligência e

minimizando a necessidade de intervenção do usuário.

Esses objetivos são alcançados através da utilização de alguns conceitos chave:

- **VO (Virtual Objects, ou objetos virtuais):** São representações virtuais de objetos reais inseridos no ambiente;
- **CVO (Composite Virtual Objects, ou composição entre objetos virtuais):** é a aplicação de cognição nos VOs, de forma que eles possam ser reutilizados mesmo fora de seu contexto inicial, aumentando a performance na tomada de decisões;
- **Service Logic, ou lógica de serviço:** traduz os requisitos das aplicações em serviços para serem utilizados nos CVOs.

A partir destes conceitos algumas ações são tomadas, de modo que o framework possa alcançar os objetivos pré-estabelecidos:

- Autogerenciamento e autoconfiguração dos VOs, de maneira cognitiva;
- Tomada de decisões nos CVOs de acordo com os requisitos e que possam ser utilizadas novamente posteriormente;
- Tradução automática utilizando cognição na lógica de serviço;
- Autenticação e controle dos dados, melhorando a segurança e privacidade do sistema;
- Especificação de relações entre dispositivos IoT e objetos do mundo real, tornando automática e escalável a seleção de VOs/CVOs.

Como estudo de como seria o funcionamento deste framework, foi feito então uma implementação teórica do mesmo em um cenário de *Smart City* (ou cidade inteligente), onde os dispositivos da cidade estão conectados (através do uso de IoT) e podem facilitar a vida cotidiana dos moradores através da inteligência obtida com o uso de sistemas cognitivos artificiais, permitindo que a própria cidade seja um sistema que possa aprender e se relacionar com o ambiente.

Um exemplo de como a aplicação deste tipo de inteligência neste contexto pode aprimorar o sistema, é apresentado o caso de uma pessoa idosa que possui um serviço de saúde, o qual se comunica com os dispositivos da cidade inteligente.

Caso a pessoa idosa passe mal, dispositivos pessoais que monitoram sua saúde podem emitir um alerta ao hospital responsável por essa pessoa, já automaticamente alertando o médico e requisitando uma ambulância com urgência à sua residência. Ainda com cognição, pode ser traçada uma rota para a ambulância de modo que ela chegue ao local o mais rápido possível, evitando trânsito e ruas que possam estar fechadas.

Isso tudo pode ser feito utilizando-se dos sensores com a arquitetura do conceito de internet das coisas, espalhados pela cidade e aprendendo através do framework de cognição artificial aplicado na rede como um todo.

Vários benefícios são apontados pelos pesquisadores, obtidos nesta pesquisa através do possível uso do framework no contexto de cidades inteligentes, como a criação de serviços com um maior valor agregado e de maneira fácil, o

desenvolvimento de aplicação inovadoras entre domínios e o suporte à redes em uma larga escala utilizando-se da cognição.

### C. *Cognitive Internet of Things: Definição do conceito*

Um grupo de pesquisadores chineses definiu no ano de 2014 o que deve ser tomado como *Cognitive Internet of Things*, padronizando o conceito e estabelecendo o tópico na literatura [3].

Eles definem IoT como um “estegossauro desengonçado”, considerando que ela possui muitos músculos mas nenhum cérebro. Para que o potencial desta rede possa ser alcançado, é necessário adicionar a capacidade de cognição em sua arquitetura, tornando-a ainda mais poderosa e possuidora de um nível elevado de inteligência.

Com isso, a grande gama de dispositivos estará não somente conectada, mas também com capacidade cognitiva de maneira a permitir que eles possam aprender, pensar e entender o ambiente de maneira autônoma.

Um exemplo dado do potencial uso da CIoT seria por exemplo de uma sala de estar inteligente. Em uma rede de IoT, o sofá, a TV e o ar condicionado poderiam estar todos conectados e aptos a receberem comandos remotos de maneira única. Mas, considerando o caso que o usuário esteja esperando um programa passar de madrugada e ele simplesmente durma enquanto aguarda, tudo continuaria ligado e funcionando normalmente.

Já no caso de uma CIoT, poderia ser notado os gestos, movimento e voz atual do usuário para que facilmente seja notado que o mesmo está sonolento ou dormindo. Com isso, a sala poderia automaticamente gradativamente diminuir o brilho e volume da TV, alterar a temperatura do ar condicionado e deitar o sofá transformando-o em um sofá cama, permitindo que a pessoa durma muito mais confortavelmente.

Ainda considerando as comparações, no contexto de uma cidade inteligente, uma pessoa que quer traçar a melhor rota para ir de carro entre dois pontos poderia utilizar uma IoT para ver o status atual das ruas e o tráfego existente nelas. Uma CIoT conseguiria ver qual é o fluxo médio de motoristas naquele horário e se há alguma manutenção programada, de forma a considerar também como as ruas provavelmente irão estar no momento em que o motorista irá passar por elas.

Estes exemplos mostram como a IoT possui uma grande variedade de possíveis usos mas, ao mesmo tempo, ainda há um imenso potencial a ser explorado. Enquanto a definição e pesquisas de IoT datam de 1999 [1], algumas poucas pesquisas foram feitas desde então para melhorar a inteligência por trás de seus dados, e menos ainda na área de cognição, sendo a primeira data de 2012 [9], após quase 15 anos de evolução da Internet das Coisas.

Apesar disso, a motivação original de IoT era a de que “computadores e a própria internet são muito dependentes de informação provida diretamente por seres humanos (...) o problema é que as pessoas possuem tempo, atenção e precisão limitados (...) por isso, precisamos aumentar o potencial dos computadores criando a própria maneira para que eles colem informação, assim eles podem ver, ouvir e cheirar o mundo por eles próprios...” [1]. Ou seja, a ideia visionária de Kevin Ashton para a melhoria e total potencial da *Internet of Things* é exatamente a *Cognitive Internet of Things*.

A ideia dos autores deste artigo é, considerando estes fatos, apresentar técnicas de processamento cognitivo de modo que elas possam tornar a IoT uma CIoT.

Sua primeira definição é a de que a CIoT deve ser uma ponte de maneira transparente entre o mundo físico (com objetos, dispositivos, recursos, etc.) e o mundo social (com ações humanas, comportamentos sociais, etc.) gerando entre eles algo chamado de mundo cibernético e um sistema chamado iPCS (*intelligent physical-cyber-social*, ou sistema inteligente físico-cibernético-social).

Considerando o mundo físico mais abaixo e o social mais acima, com o cibernético entre eles, são definidas quatro camadas, apresentadas aqui em uma visão de baixo para cima:

- **Camada de controle de sensores:** interage diretamente com o meio ambiente, recebendo dados dos sensores e enviando decisões aos atuadores;
- **Camada de conhecimento semântico dos dados:** Analisa os dados coletados para gerar semânticas e conhecimento;
- **Camada de tomada de decisões:** utiliza a semântica e o conhecimento gerado pela camada inferior para permitir que múltiplos agentes possam raciocinar, planejar e selecionar a melhor ação a ser tomada;
- **Camada de avaliação de serviço:** Compartilha interfaces com a camada social, as quais provisionam serviços sob demanda para as redes sociais, além de analisar o retorno e o desempenho da interação dos serviços com os processos cognitivos.

Com isso, são definidos cinco itens principais necessários em um framework de CIoT, os quais são profundamente abordados no artigo: ciclo percepção-ação; análise massiva de dados; derivação semântica e descoberta de conhecimentos; tomada de decisões inteligentes; e provisionamento de serviços sob demanda.

Ao fim, o principal desafio dado pelos pesquisadores é o de futuramente implementar-se cada um desses tópicos para que conjuntamente eles possam gerar um framework, capaz de tratar as quatro camadas definidas e transformar uma IoT em uma CIoT.

É concluído que este é apenas o passo inicial o qual os autores visam fomentar o interesse de grupos pesquisas para esta área com enorme potencial futuro, para que então vários outros necessários passos possam ser dados, tornando possível que a *Internet of Things* se torne algo mais inteligente, mais autônoma, possuidora de poderosos sistemas de cognição artificial.

### III. CONCLUSÃO

A ideia de se unir as áreas de *Internet of Things* com Sistemas Cognitivos Artificiais é recente e inovadora. Apesar de já existirem várias pesquisas na área de cognição artificial, a área de IoT ainda está se desenvolvendo e possui vários rumos a seguir.

Considerando que IoT envolve vários dispositivos e interação com o ambiente, este torna-se um ótimo candidato

para a aplicação de técnicas de cognição artificial, para que estes dados não sejam somente captados mas também utilizados em um aprendizado sobre o ambiente e seus envolvidos.

Pesquisas brasileiras na área de Internet das Coisas são escassas. Já na área de *Cognitive Internet of Things* são inexistentes. Com essa monografia é possível criar-se uma base para inserir a área no contexto brasileiro, aumentando sua relevância e fomentando possíveis futuras pesquisas sobre o assunto.

Além disso, ressalta-se que a IoT traz uma perspectiva de muito inovadora mas, sem um cérebro, ela ainda não vai ter todo seu potencial alcançado. Definindo-se este novo paradigma do CIoT, almeja-se um futuro próspero e mais inteligente para os dispositivos conectados, de forma a ser possível uma maior gama de ações e uma maior autonomia da rede, diminuindo a necessidade da intervenção humana e priorizando a inteligência.

## AGRADECIMENTOS

Lucas R. Palma agradece ao Instituto Eldorado por todo o apoio dado durante a disciplina e também ao Professor Doutor Ricardo Gudwin por todo o aprendizado.

## REFERÊNCIAS

- [1] Kevin Ashton. (2009, Junho). “That ‘Internet of Things’ Thing”. *RFID Journal*. Disponível em: <http://www.rfidjournal.com/articles/pdf?4986>
- [2] David L. Brock. (2001, Janeiro). “The Electronic Product Code (EPC): A Naming Scheme for Physical Objects”. Auto-ID Center, MIT. Disponível em: <http://cocoa.ethz.ch/media/documents/2014/06/archive/MIT-AUTOID-WH-002.pdf>
- [3] Qihui Wu, Guoru Ding, Yuhua Xu, Shuo Feng, Zhiyong Du, Jinlong Wang, Keping Long. (2014, Março). “Cognitive Internet of Things: A New Paradigm beyond Connection”. *CoRR Journal*. Disponível em: <http://arxiv.org/pdf/1403.2498v1.pdf>
- [4] Barbara Von Eckardt. (Março, 1995). “What is cognitive science?”. Bradford Book.
- [5] George A. Miller. (Março, 2003). “The cognitive revolution: a historical perspective”. *TRENDS in Cognitive Sciences* Vol.7 No.3. Disponível em: <http://www.cs.princeton.edu/~rit/geo/Miller.pdf>
- [6] Amanda Staller. (2014, Agosto). “IoT and Sensors – Creating a Multitrillion-dollar Market”. The Electrochemical Society. Disponível em: <http://www.ecsblog.org/education/iot-and-sensors-creating-a-multitrillion-dollar-market/>
- [7] Torsten Grabs, Colin Miller. (2012, Março). “Building the Internet of Things”. Microsoft SreamInsight. Disponível em: <http://msdn.microsoft.com/en-us/magazine/hh852591.aspx>
- [8] Telefonaktiebolaget LM Ericsson. (2013, Dezembro). “Annual Report 2013: Living in the Networked Society”. Telefonaktiebolaget LM Ericsson. Disponível em: [http://www.ericsson.com/thecompany/investors/financial\\_reports/2013/annual13/sites/default/files/download/pdf/EN\\_-\\_Ericsson\\_AR2013.pdf](http://www.ericsson.com/thecompany/investors/financial_reports/2013/annual13/sites/default/files/download/pdf/EN_-_Ericsson_AR2013.pdf)
- [9] Mingchuan Zhang, Haixia Zhao, Ruijuan Zheng, Qingtao Wu and Wangyang Wei. (2012, Novembro). “Cognitive Internet of Things: Concepts and Application Example”. *Electronic & Information Engineering Colloge, Henan University of Science and Technology* Luoyang 471003, China. Disponível em: <http://ijcsi.org/papers/IJCSI-9-6-3-151-158.pdf>
- [10] Panagiotis Vlacheas, Raffaele Giaffreda, Vera Stavroulaki, Dimitris Kelaidonis, Vassilis Foteinos, George Poullos, Panagiotis Demestichas, Andrey Somov, Abdur Rahim Biswas, Klaus Moessner. (2013, Junho). “Enabling Smart Cities through a Cognitive Management Framework for the Internet of Things”. University of Piraeus, CREATE-NET, University of Surrey. *IEEE Communications Magazine*. Disponível em: <http://disi.unitn.it/~somov/pdf/IEEE%20ComMag%202013%20smart%20cities.pdf>

## SOBRE O AUTOR

**Lucas R. Palma** é bacharel em Ciência da Computação pela Universidade de São Paulo (USP), onde realizou pesquisa na área de Redes e Certificação Digital. Possui amplo conhecimento na área de Segurança da Informação, onde já atuou como pesquisador e consultor. Atualmente trabalha com qualidade de software e pesquisa em diversas áreas, incluindo *Internet of Things*, enquanto busca o título de Mestre pela Universidade de Campinas (UNICAMP).