

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONFIGURAÇÃO E GERENCIAMENTO DE
SERVIDORES E EQUIPAMENTOS DE REDE**

ROGÉRIO LUÍS DOS SANTOS

INTERNET DAS COISAS E 6LoWPAN

MONOGRAFIA

CURITIBA
2014

ROGÉRIO LUÍS DOS SANTOS

INTERNET DAS COISAS E 6LoWPAN

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Configuração e Gerenciamento de servidores e equipamentos de rede, do Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.
Orientador: Prof. MSc. Lincoln Herbert Teixeira.

CURITIBA
2014

RESUMO

SANTOS, Rogério L. **Internet das Coisas e 6LoWPAN**. 2014. 32 f. Monografia (Especialização em Configuração e Gerenciamento de Servidores e Equipamentos de Redes). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

O intuito desta monografia é apresentar o que é a Internet das Coisas e o 6LoWPAN – IPv6 em redes sem fio pessoal (*WPAN – Wireless Personal Area Network*) em baixo consumo de energia – Internet das Coisas - e seus protocolos usados. (IPSO Alliance..., 2014). (A Internet e a Rede das coisas:..., 2014).

Palavra-chave: 6LoWPAN. IPv6. RPL. CoAP. Internet das Coisas. Internet de Todas as Coisas. ZigBee. Sistemas Embarcados. WPAN. 802.15.4. Smart Grid. IoT. IoE.

ABSTRACT

SANTOS, Rogério L. **Internet of Things and 6LoWPAN**. 2014. 32 p. Monograph (Specialization in Configuration and Management of Servers and Network Equipment). Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2014.

The aim of this paper is to present what is the Internet of Things and the 6LoWPAN — IPv6 wireless personal networks (WPAN — Wireless Personal Area Network) in low energy consumption – Internet of Things-and their protocols used. (IPSO Alliance..., 2014). (The Internet and the Network of things:..., 2014).

Keyword: 6LoWPAN. IPv6. RPL. CoAP. Internet of Things. Internet of Everything. ZigBee. Embedded Systems. WPAN. 802.15.4. Smart Grid. IoT. IoE.

LISTA DE SIGLAS

6LoWPAN	IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks
ARPANet	Advanced Research Projects Agency Network
CIDR	Classless Inter-Domain Routing
CoAP	Constrained Application Protocol
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DoD	Department of Defense
IANA	Internet Assigned Numbers Authority
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IoE	Internet of Everything
IoT	Internet of Things
IPSO	Internet Protocol Smart Objects
IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
NAT	Network Address Translation
OSI	Open Systems Interconnection
PLC	Power Line Communication
QoS	Quality of Services
RFC	Requests for Comments
RFID	Radio-Frequency IDentification
RPL	Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks
UDP	User Datagram Protocol
WPAN	Wireless Personal Area Network

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

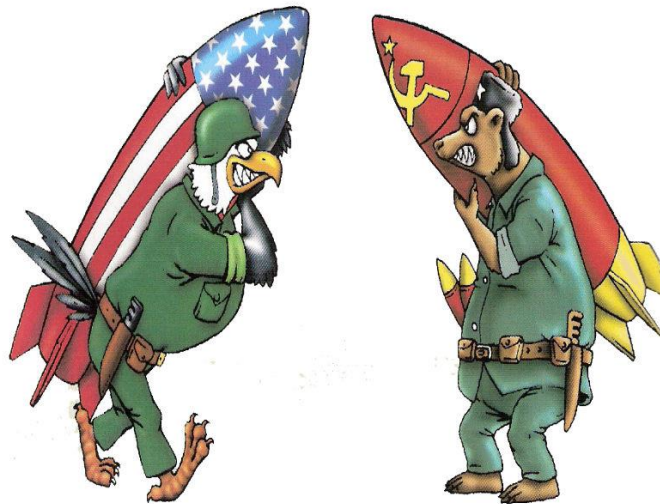
Figura 1 - Ilustração representando a “Guerra Fria”, que foi o conflito ideológico entre as duas potências mundiais, EUA e URSS.....	8
Figura 2 - Ilustração representando a Internet das Coisas.....	9
Figura 3 - Cabeçalhos de IPv4 e IPv6 - Comparativo entre os campos dos cabeçalhos IPv4 e IPv6.....	13
Figura 4 - Complexidade do gateway do ZigBee/IP. Exige processamento das informações no nível de aplicação.....	17
Figura 5 - Comparação entre o padrão 802.15.4 e o modelo ISO/OSI (esquerda) e topologias possíveis numa rede 802.15.4 (direita).....	18
Figura 6 - Posição hierárquica do 6LoWPAN em comparação ao Modelo ISO/OSI..	19
Figura 7 - Comparativo do gateway do 6LoWPAN. Baixa complexidade por trabalhar na camada de rede..	19
Figura 8 - Exemplo de compressão de cabeçalho no 6LoWPAN.....	20
Figura 9 - 6LoWPAN - RFC 4944 - Exemplo de compressão de cabeçalho.....	25
Figura 10 - Comparação de tamanho de cabeçalho comprimido entre IPv6 e HC1..	21

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 TEMA	9
1.1.1 O que é internet das coisas?	9
1.1.2 O que é 6LoWPAN?	10
1.2 REDES ATUAIS	11
1.2.1 Problemas de Infraestrutura.....	11
1.2.2 Protocolo IPv4 - Breve Explicação.....	11
1.3 NECESSIDADE DO IPv6.....	12
2 JUSTIFICATIVA	14
2.1 OBJETIVOS	14
2.2 OBJETIVO GERAL.....	14
2.3 OBJETIVO ESPECÍFICO	14
2.4 METODOLOGIA.....	15
3 APRESENTANDO O 6LoWPAN	16
3.1 Falando um pouco sobre ZigBee.....	16
3.2 O que é IEEE 802.15.4?	17
3.3 CABEÇALHO 6LoWPAN.....	20
3.4 SISTEMAS OPERACIONAIS PARA 6LoWPAN.....	22
3.4.1 TinyOS.....	22
3.4.2 Contiki.....	23
3.4.3 Arduino	24
CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

A evolução da microinformática, internet, avançam cada vez mais. De acordo com o sites (IPv6.br..., 2014) e (ARPANET..., 2014), o surgimento da internet deu-se na década de 60, pelo *DoD – Department of Defense* (Departamento de Defesa dos Estados Unidos), (U.S. Department of Defense..., 2014), com o objetivo de interligar as bases militares e os departamentos de pesquisa do governo americano, em virtude de conflito ideológico com a antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) que ficou conhecido como Guerra Fria.



**Figura 1 - Ilustração representando a “Guerra Fria”, que foi o conflito ideológico entre as duas potências mundiais, EUA e URSS.
Fonte: Historia Digital (2014).**

Finalizado o conflito entre esses dois países, a *ARPANet - Advanced Research Projects Agency Network* (Agência de Pesquisas em Projetos Avançados), (ARPANET..., 2014), compartilha esse conhecimento para as universidades que logo é passado para o comércio e indústria. Com todo esse advento, começa uma nova era, a era da tecnologia da informação; essa necessidade de compartilhar a informação foi tão extraordinária, que quase não se deu conta de comportar tantos equipamentos interligados usando o IPv4 (IPv4 – Internet Protocol versão 4), que estava com os seus dias contatos. Por isso cria-se o protocolo IPv6 que comporta uma infinidade de equipamentos; e atualmente dispositivos portáteis estão conectados a essa nova internet. Hoje temos *smart grid* (redes elétricas inteligentes)

(Techtudo..., 2014), que em conjunto com a eletricidade, também transportam dados lógicos (internet) e para que esse funcionamento seja bom e tenha qualidade – QoS - *Quality of Services* (Qualidade de Serviço), há a necessidade de regras, protocolos, no qual iremos frisar com 6LoWPAN.

1.1 TEMA

1.1.1 O que é internet das coisas?

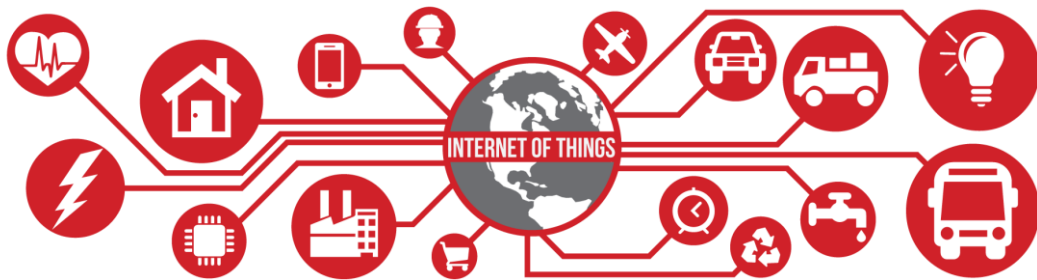


Figura 2 - Ilustração representando a Internet das Coisas.
Fonte: PubNub (2014).

Internet das coisas.

Como o próprio nome diz, é agregar, *linkar*, fazer comunicar entre si todos os objetos, coisas, na internet, na rede. De acordo com o livro de SHELBY Zach e BORMANN Carsten. (SHELBY..., 2009), podemos *linkar* smartphones, sensores pessoais, automação predial, logística, transporte, medidores de energia elétrica inteligente, infraestrutura de redes, etc.

A Cisco define *IoE - Internet of Everything* (Internet de todas as coisas), como uma união de pessoas, processos, dados e tudo que torna as conexões em rede mais relevantes e valiosas do que antes — transformando informações em ações que criam novos recursos, experiências mais ricas e oportunidades econômicas sem precedentes para empresas, indivíduos e países. Isso fará que essa rede torne-se

ubíqua, onipresente ou pervasivo (que pode ser encontrado em todos os lugares). Ela estará tão integrada e natural em nossas vidas, que não precisaremos nos preocupar com o que estará acontecendo nos bastidores da internet, porém todo profissional de T.I. (Tecnologia da Informação), precisa ter essa noção. (CISCO..., 2014).

1.1.2 O que é 6LoWPAN?

6LoWPAN.

É um acrônimo para *IPv6 over Low power Wireless Personal Area Network* (6LoWPAN..., 2014), que é o baixo consumo de energia em redes wireless pessoal. É uma adaptação do protocolo IPv6 com o protocolo 802.15.4 (WPAN – Wireless Personal Area Network), nas camadas 1 (física), 2 (enlace) e 3 (rede), do modelo OSI, para redes wireless de curto alcance. (IPv6.br..., 2014).

6LoWPAN pode ser implementado em sistemas embarcados – dispositivos fabricados para determinada função (por exemplo: smartphones, sensores pessoais, automação predial, logística, transporte, medidores de energia elétrica inteligentes, infraestrutura de redes, etc.) criando a *IoT – Internet of Things* (Internet das Coisas) ou a *IoE – Internet of Everything*, (Internet de todas as coisas) por estarem todos conectados entre si. (SHELBY..., 2009).

1.2 REDES ATUAIS

1.2.1 Problemas de Infraestrutura.

Como ter internet das coisas se ainda nossa infraestrutura não comporta tal demanda? (2º Congresso Brasileiro de RFIID..., 2011).

1.2.2 Protocolo IPv4 - Breve Explicação.

De acordo com o site IPv6.br (IPv6.br..., 2014), o protocolo de internet IPv4, comporta cerca de 4.294.967.296 (Quatro bilhões, duzentos e noventa e quatro milhões, novecentos e sessenta e sete mil e duzentos e noventa e seis) de endereços IP. Para que se tivesse uma maior flexibilidade e melhor distribuição de endereços IPs, eles foram divididos em três classes distintas. São elas: Classe A, Classe B e Classe C.

A Classe A comporta 128 redes com 16.777.214 números IP por rede.

A Classe B comporta 16.384 redes com 65.534 números IP por rede.

A Classe C comporta 2.097.150 redes com 254 números IP por rede. (CISCO..., 2014).

Segundo o site IPv6.br (IPv6.br..., 2014), este método não se mostrou muito eficiente, pois se ganhava de um lado e perdia-se de outro, causando desperdício de endereços IPs. Para que se prolongasse o uso do IPv4 também foi criado o *CIDR* (*Classless Inter-Domain Routing*) e o *DHCP* (*Dynamic Host Configuration Protocol*) (CISCO..., 2014), métricas para atender a atual realidade do uso do protocolo IPv4, mas não por muito tempo.

1.3 NECESSIDADE DO IPv6

Desde o ano de 1981, a internet usa o protocolo IPv4. (IPv6.br..., 2014). Com o rápido crescimento das tecnologias e sua expansão acelerada, observou-se entre os anos de 1993 e 1994 que a internet mantendo o IPv4, no futuro sofreria uma diminuição na taxa de crescimento da rede e que algumas novas aplicações que poderiam ser criadas, não comportariam e que as conexões internet ficariam mais caras. (IPv6.br..., 2014). Outros fatores a serem considerados para a necessidade do IPv6 são:

- O crescimento da população;
- Usuários móveis (aumento da telefonia celular);
- Transporte (carros, aviões, navios, etc, interagindo com a internet);

Equipamentos eletrônicos (monitoração remota, *smart TV*, (televisões inteligentes), *smart grid*, (redes elétricas inteligentes, etc)). (CISCO..., 2014).

Para corrigir esse impacto, foi criado o protocolo IPv6.

O IPv6 é a nova internet. (IPv6.br..., 2014).

O protocolo IPv6 comporta:

340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456 de endereços, ou seja, aproximadamente 79 octilhões ($7,9 \times 10^{28}$) de vezes a quantidade de endereços IPv4 e representa, também, mais de 56 octilhões ($5,6 \times 10^{28}$) de endereços por ser humano na Terra, considerando-se a população estimada em 6 bilhões de habitantes. (IPv6.br..., 2014).

Além da enorme quantidade de endereços disponíveis e poder comportar a “internet das coisas” ou “internet de todas as coisas”, o protocolo IPv6 também possui outras características de melhorias importantes como:

- Endereçamento IP aprimorado;
- Mobilidade e segurança;
- Cabeçalho simples;
- Riqueza de transição.

(CISCO..., 2014).

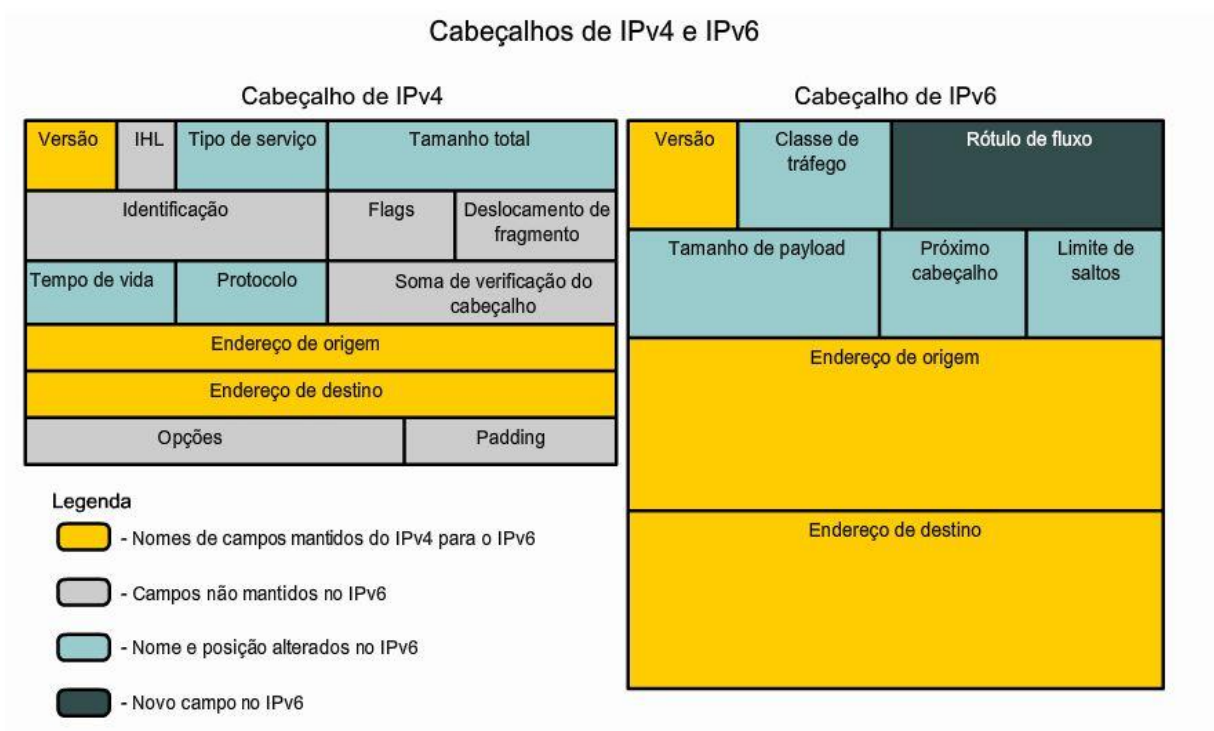


Figura 3 - Cabeçalhos de IPv4 e IPv6 - Comparativo entre os campos dos cabeçalhos IPv4 e IPv6.

Fonte: CISCO Networking Academy (2014 CCNA 4.0 módulo 4).

O que 6LoWPAN tem a ver com isso? Tudo! Pois essa tecnologia combina o protocolo IPv6 com o protocolo 802.15.4. para ser aplicado na internet das coisas.

2 JUSTIFICATIVA

Hoje existe uma enorme gama de aplicações que podem se beneficiar de uma internet sem fio. Estas aplicações seriam implementadas utilizando a tecnologia 6LoWPAN que facilita a integração em redes maiores com base nos serviços de internet. O benefício de integrar o protocolo 6LoWPAN na internet, facilita a comunicação de dispositivos embarcados com a internet das coisas por ser capaz de trabalhar nas camadas 1 (física), 2 (enlace) e 3 (rede) em relação ao modelo OSI. (SHELBY..., 2009).

2.1 OBJETIVOS

Explicar o que é A internet das coisas e 6LoWPAN, onde é usado e aplicado, para que serve e o que vem pela frente com essa tecnologia.

2.2 OBJETIVO GERAL

Explicar a universalidade de dispositivos e equipamentos interligados em redes, sua escalabilidade e qualidade de serviços.

2.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

Apresentar o Protocolo 6LoWPAN e sua integração na rede, na internet das coisas.

2.4 METODOLOGIA

O método utilizado para esta monografia foi por meio de referências bibliográficas, simuladores virtuais, pesquisas na internet, vídeo aulas e apresentações.

3 APRESENTANDO O 6LoWPAN

De acordo com o site 6lowpan.org, (6lowpan.org..., 2014), 6LoWPAN é uma tecnologia de rede que permite que os pacotes IPv6 possam serem executados de forma eficaz dentro de pequenos quadros na camada de enlace como os usados pelo IEEE 802.15.4. E segundo o site IPv6.br (IPv6.br..., 2014), diz que o uso do IP, no entanto, traz uma série de vantagens: o modelo de conexão fica simplificado, eliminando-se a necessidade de gateways complexos (que são usados na tecnologia proprietária ZigBee, mas isso já vem mudando); ferramentas já existentes para comissionamento, configuração, gerenciamento e tratamento de problemas nas redes IP podem ser utilizadas. Outros protocolos que funcionam sobre IP, TCP ou UDP podem ser aproveitados. Protocolos proprietários usados em produtos de automação e controle que foram adaptados para funcionar sobre o IP podem ser usados. A natureza aberta da especificação do IP favorece um melhor entendimento da tecnologia e, geralmente, gera menos problemas relativos aos direitos de uso da mesma. (IPv6.br..., 2014).

3.1 Falando um pouco sobre ZigBee.

Para que possamos compreender um pouco mais sobre a internet das coisas, também existe a tecnologia ZigBee. A tecnologia ZigBee, é uma aliança (ZigBee Alliance) entre várias empresas que trabalham em conjunto, para criação de tecnologia para internet das coisas, porém essa tecnologia tem uma certa complexidade para transmissão dos dados, por ter que trabalhar na camada 7 (aplicação) do modelo OSI, para que seja enviado um dado, como mostra a figura 4 abaixo. Porém a ZigBee Alliance, está lançando o ZigBee IP. Com isso surge indícios de que o padrão proprietário da ZigBee possa ser substituído para o 6LoWPAN. (Teleco..., 2014) e (IPv6..., 2014).

Segundo o site (Projeto de Redes..., 2014), a camada NWK utiliza um algoritmo que permite implementações da pilha de protocolos visando balancear os

custos das unidades em aplicações específicas, o consumo das baterias, buscando produzir soluções com o perfil específico de custo-desempenho para a aplicação.

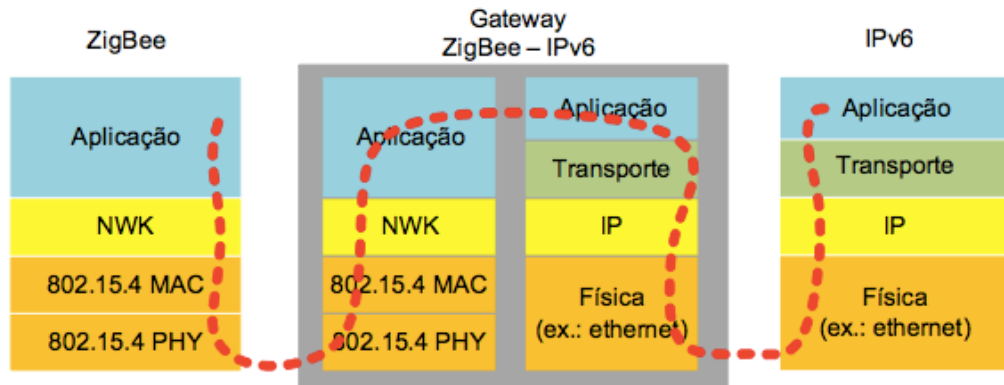


Figura 4 - Complexidade do gateway do ZigBee/IP. Exige processamento das informações no nível de aplicação.

Fonte: IPv6.br (2014).

3.2 O que é IEEE 802.15.4?

O IEEE 802.15.4 é um padrão (protocolo, conjunto de regras) para WPANs (Wireless Personal Area Networks) ou traduzindo, Rede sem fio pessoal. Uma de suas principais características é o seu curto alcance de sinal, que varia entre 10 a 100 metros de distância, o baixo consumo de energia que ela apresenta e por trabalhar nas camadas 1 (física) e 2 (enlace) conforme o modelo OSI. (IPv6.br..., 2014).

Na figura abaixo, temos um comparativo do padrão 802.15.4 em relação ao modelo OSI e topologias possíveis em uma rede WPAN.

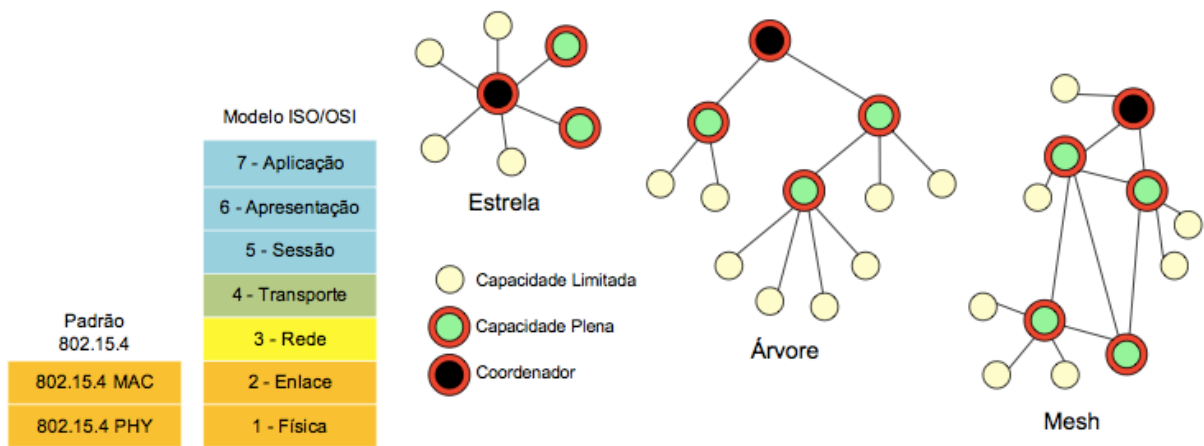


Figura 5 - Comparação entre o padrão 802.15.4 e o modelo ISO/OSI (esquerda) e topologias possíveis numa rede 802.15.4 (direita).
 Fonte: IPv6.br (2014).

Segundo o site (6LoWPAN.org... 2014), 6LoWPAN foi criado e nomeado por Geoff Mulligan, o "Pai da Internet embarcada". Em 2001, Geoff escreveu a primeira implementação embutindo IPv6 para demonstrar o potencial do IPv6 para pequenas redes de sensores e controle. Em 2004, ele propôs a formação de um novo grupo de trabalho do IETF para padronizar a ideia. Para que todos pudessem facilmente encontrar o grupo de trabalho, ele chamou de 6LoWPAN - para que fosse classificado para o topo da enorme lista de ativos do grupo de trabalho. (6LoWPAN.org... 2014).

6LoWPAN é uma adaptação, implementação para suportar IP nas redes IEEE 802.15.4. que é capaz de realizar a compressão dos cabeçalhos IPv6 para sua transmissão na rede, ou seja, no gateway. Essa tecnologia trabalha nas camadas 1, 2 e 3 para transmissão dos dados, agilizando assim o processo e sem complexidades. (IPv6.br..., 2014).

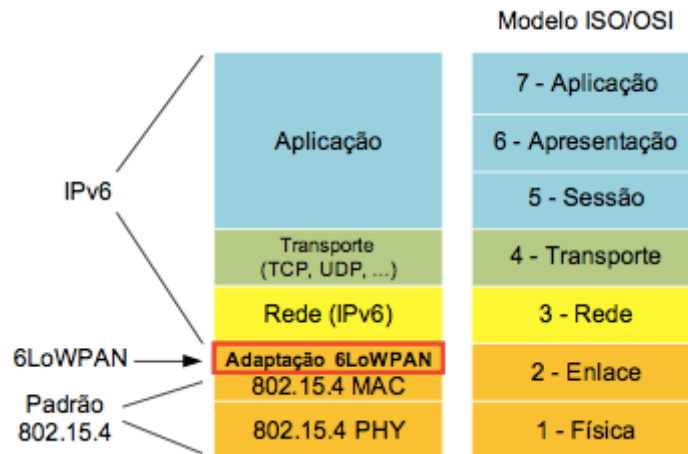


Figura 6 - Posição hierárquica do 6LoWPAN em comparação ao Modelo ISO/OSI. Fonte: IPv6.br (2014).

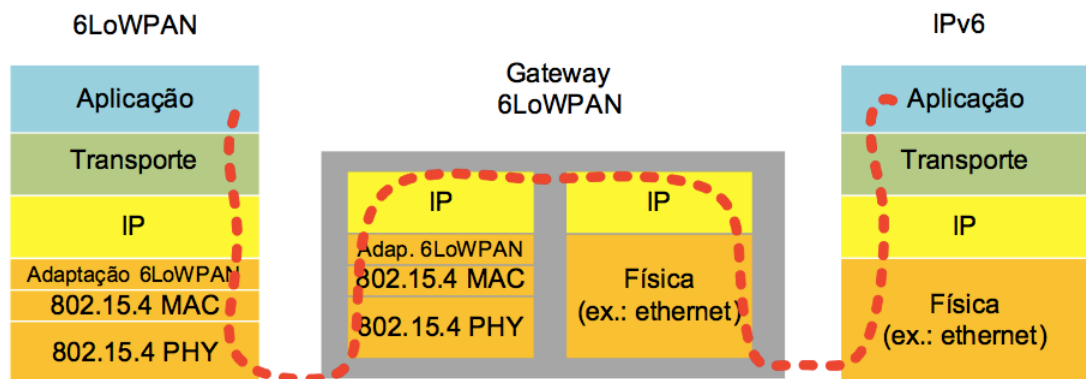


Figura 7 - Comparativo do gateway do 6LoWPAN. Baixa complexidade por trabalhar na camada de rede. Fonte: IPv6.br (2014).

De acordo com o site 6LoWPAN.org, (6LoWPAN.org... 2014), o primeiro documento do grupo de trabalho que descreve a área do problema e design de 6LoWPANs a RFC 4919, foi publicado em agosto de 2007. Este documento descreve a motivação e as restrições para essas redes IP embarcadas. A RFC 4944 que foi publicada em setembro de 2007, descreve o formato do pacote. Ela é atualizada pela RFC 6282 que prevê melhorias na compressão dos cabeçalhos IPv6 e UDP.

Segundo o site 6LoWPAN.org, (6LoWPAN.org... 2014) para redes que usam uma "rota a mais" a RFC 6775 descreve uma modificação para IPv6 Neighbor Discovery, para permitir o encaminhamento de mensagens de procurador do ND e

mensagens unicast de descoberta, em vez de multicast. As redes que utilizam a “malha em” arquitetura não precisam usarem essas modificações, mas sim o seu benefício do uso.

Dois outros documentos RFC 6606 e RFC 6568 descrevem encaminhamento requisito e casos de uso, respectivamente. (6LoWPAN.org... 2014)

Embora originalmente concebido para apoiar a rede sem fio 802.15.4, 6LoWPAN está sendo adaptado e usada em uma variedade de outros meios de comunicação de rede, incluindo *PLC - Power Line Communication* (Comunicação por Linha de Energia), de baixa potência Wi-Fi, Bluetooth e redes. Enquanto a compressão de cabeçalho não é necessária para algumas redes PLC e WiFi, a sua utilização pode melhorar a largura de banda e a utilização de energia.

3.3 CABEÇALHO 6LoWPAN

6LoWPAN é uma adaptação do protocolo IPv6 com LoWPAN, padrão definido pela normativa do IETF, RFCs 4919 e 4944. (IETF. RFC 4919..., 2014). (IETF. RFC 4944..., 2014) e (6LoWPAN..., 2014), porém para que os dados sejam transmitidos na rede, é necessário a compressão do cabeçalho IPv6. Vide figura 8, 9 e 10 abaixo.

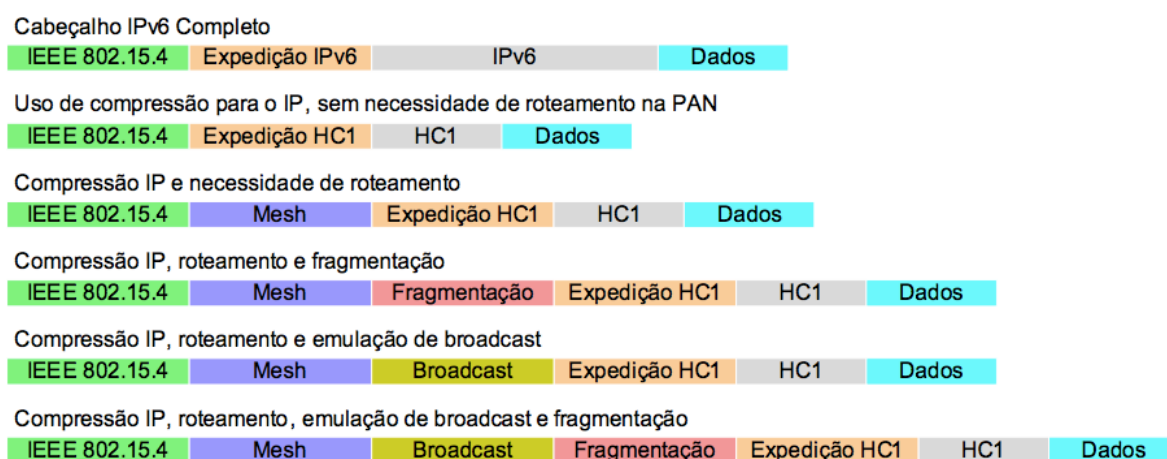
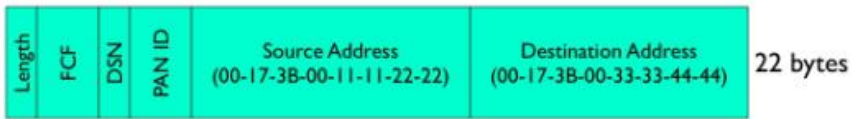


Figura 8 - Exemplo de compressão de cabeçalho no 6LoWPAN.
 Fonte: IPv6.br (2014).

IEEE 802.15.4 Header



Compressed UDP/IPv6 Header (fe80::0217:3b00:1111:2222 → fe80::0217:3b00:3333:4444)



Compressed UDP/IPv6 Header (fe80::0217:3b00:1111:2222 → ff02::1)

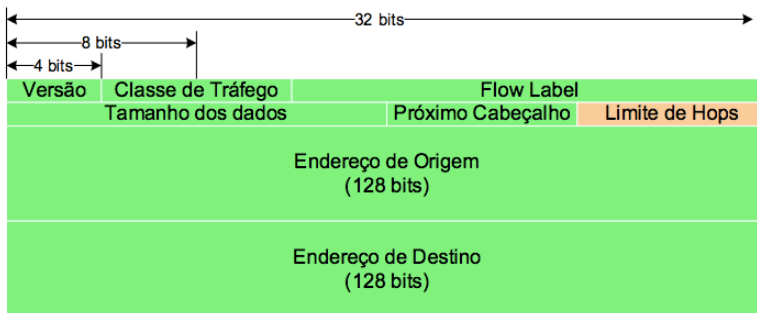


Compressed UDP/IPv6 Header (2001:5a8:4:3721:0217:3b00:1111:2222 → 2001:4860:b002::68)



Figura 9 - 6LoWPAN - RFC 4944 - Exemplo de compressão de cabeçalho. Fonte: IPSO Alliance (2014).

Cabeçalho IPv6 – tamanho fixo de 40 bytes



Como os campos são comprimidos:

- Versão = 6
- Class de Tráfego = 0
- Flow label = 0
- Tamanho dos dados = infere-se da camada física ou do cabeçalho de fragmentação
- Próx. Cabeçalho = UDP, ICMP ou TCP
- Limite de Hops = não é comprimido
- Endereços = inferidos da camada física

Cabeçalho HC1 – IPv6 Comprimido em 2 bytes

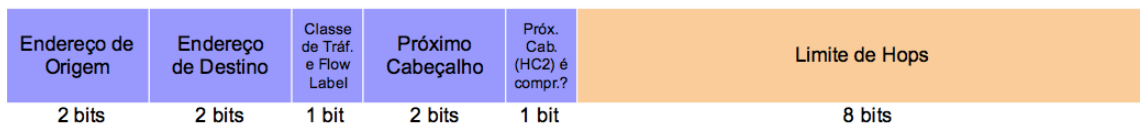


Figura 10 - Comparação de tamanho de cabeçalho comprimido entre IPv6 e HC1. Fonte: IPv6.br (2014).

O cabeçalho IPv6 quando comprimido, no 6LoWPAN ele recebe o nome de HC (Header Compression), que pode ser HC1 (IPv6 header), HC2 (UDP header), NHC (Next-header) ou IPHC (IP Header Compression). (CAMPOS..., 2014), (IPSO Alliance..., 2014) e (6LoWPAN..., 2014).

3.4 SISTEMAS OPERACIONAIS PARA 6LoWPAN.

Quais softwares Open Source são usados para o desenvolvimento de aplicações voltada para a Internet das Coisas direcionados para o 6LoWPAN?

Durante as pesquisas, foram encontrados dois softwares Open Sources.

São eles:

TinyOS. (TinyOS..., 2014).

Contiki. (Contiki..., 2014).

Arduino. (Arduino..., 2014)

Com base nas informações dos respectivos sistemas mencionados acima, irei mostrar um *Overview* (visão geral), de cada um deles.

3.4.1 TinyOS

De acordo com o site TinyOS (TinyOS Overview..., 2014), TinyOS é um "sistema operacional", projetado para sistemas embarcados de baixo consumo sem fio. Fundamentalmente, é um agendador de trabalho e um conjunto de drivers para microcontroladores e outros ICs comumente usados em plataformas embarcadas sem fio.

De acordo com o site (TinyOS Overview..., 2014), TinyOS é escrito em nesC, (network embedded systems C) (nesC: A Programming..., 2014) um dialeto do C. Geralmente se parece com:

```
configuration Led {
  provides {
    interface LedControl;
  }
  uses {
    interface Gpio;
  }
}
implementation {

  command void LedControl.turnOn() {
    call Gpio.set();
  }

  command void LedControl.turnOff() {
    call Gpio.clear();
  }
}
```

De acordo com o site (TinyOS Overview..., 2014), este trecho de código é um exemplo simples de como um driver de LED pode funcionar.

3.4.2 Contiki

De acordo com o site (Contiki..., 2014), Contiki é um sistema operacional de código aberto para a Internet das Coisas. Contiki conecta pequenos microcontroladores de baixa potência e de baixo custo, para a Internet.

De acordo com o site (Contiki..., 2014), Contiki fornece poderosa comunicação de Internet de baixa potência. Contiki suporta IPv6 totalmente padrão IPv4 e, juntamente com os recentes padrões sem fio de baixa potência: 6LoWPAN, RPL, . Com ContikiMAC do Contiki e roteadores sem fio mesmo quando em estado de hibernação, pode ser operado por bateria.

De acordo com o site (Contiki..., 2014), o desenvolvimento da aplicação para 6LoWPAN é rápido e fácil. Aplicações Contiki são escritas em padrão C, com o simulador Cooja networks Contiki, pode ser emulado antes que seja, gravado em hardware, o Instant Contiki oferece um ambiente de desenvolvimento inteiro em um único download.

3.4.3 Arduino

De acordo com o site (Arduino..., 2014), Arduino é uma plataforma open-source de computação física baseada em uma placa de microcontrolador simples e um ambiente de desenvolvimento para escrever software para a placa. (Arduino..., 2014).

Arduino pode ser utilizado para desenvolver objetos interativos, tendo entradas a partir de uma variedade de sensores ou interruptores, e controle de uma variedade de luzes, motores e outras saídas físicas. Projetos Arduino podem ser stand-alone, ou eles podem se comunicar com software rodando em seu computador (por exemplo, Flash, Processing, MaxMSP). As placas podem ser montadas à mão ou comprados pré-montados; o IDE de código aberto pode ser baixado gratuitamente. (Arduino..., 2014).

Placas Arduino são relativamente baratas em comparação com outras plataformas de microcontroladores. A versão mais barata do módulo Arduino, podem ser montados à mão, e até mesmo os módulos pré-montados Arduino podem custar menos de US \$ 50. (Arduino..., 2014).

Plataforma cruzada - O software Arduino roda em Windows, Macintosh OSX e sistemas operacionais Linux. A maioria dos sistemas de microcontroladores são limitados ao Windows. (Arduino..., 2014).

Ambiente de programação simples, limpo - O ambiente de programação Arduino é fácil de usar para iniciantes, mas suficientemente flexível para usuários avançados para um bom aproveitamento. Para os professores, é convenientemente com base no ambiente de programação Processing, para que os alunos possam aprender a programar no ambiente que vai estar familiarizado com o *look and feel* (ver e sentir) do Arduino. (Arduino..., 2014).

Open source e extensível por software O software Arduino é publicado como ferramentas de código aberto, disponível para a extensão por programadores experientes. O idioma pode ser expandido através de bibliotecas C ++, e as pessoas que querem entender os detalhes técnicos podem fazer o salto de Arduino para a linguagem de programação AVR C no qual ele se baseia. Da mesma forma, você pode adicionar código AVR-C diretamente em seus programas Arduino, se você quiser. (Arduino..., 2014).

Open source e hardware extensível - O Arduino é baseado em microcontroladores da Atmel ATMEGA8 e ATMEGA168. Os planos para os módulos são publicados sob uma licença Creative Commons, para que projetistas experientes possam fazer a sua própria versão do módulo, estendendo-o e melhorando-o. Até mesmo usuários relativamente inexperientes podem construir a versão de placa de ensaio do módulo, a fim de entender como ele funciona e economizar dinheiro. (Arduino..., 2014).

CONCLUSÃO

Por ser uma tecnologia nova e em rápida expansão, poderia informar muito mais coisas relevantes sobre a Internet das Coisas, mas conclui-se que as tendências das comunicações pessoais, tendem a serem mais fortes e dinâmicas com a Internet das Coisas.

Como a própria CISCO e Intel comentam, (Olhar Digital..., 2014), a Internet das Coisas é a “menina dos olhos”, por ser um mercado promissor. Estima-se que até 2020 ela movimentará cerca de US\$ 9 trilhões pelo mundo. O problema é ter uma infraestrutura robusta para suportar toda essa conectividade para que todos possam ser atendidos com qualidade.

Vejo a internet das coisas como um negócio rentável e com um grande leque de possibilidades a serem exploradas, principalmente em infraestrutura e desenvolvimento de aplicações.

REFERÊNCIAS

2º Congresso Brasileiro de RFID – **Internet das Coisas**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=QMn2j9MR6hl>>. Acesso em: 14 agosto 2014.

2º Congresso Brasileiro de RFID & **Internet das Coisas**, 2011, Buzios. Disponível em: <<http://www.congressorfid.com.br/>>. Acesso em: 24 agosto 2014.

6LowPAN.org. **The Embedded Internet. 6lowpan Info**. Disponível em: <<http://www.6lowpan.org/#>>. Acesso em: 09 outubro 2014.

6LoWPAN: **The Wireless Embedded Internet**. Companion Lecture Slides. Disponível em: <<http://6lowpan.net/wp-content/uploads/2009/12/6lowpan-book-slides-full-20091206.pdf>>. Acesso em: 24 outubro 2014.

Arduino. **What is Arduino?** Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 29 outubro 2014.

ARPANET -- **The First Internet**. Disponível em: <http://www.livinginternet.com/i/ii_arpanet.htm>. Acesso em: 27 outubro 2014.

CAMPOS, Bruno. OLIVEIRA, Luís. RODRIGUES, Joel. Instituto de Telecomunicações - University of Beira Interior, Covilhã, Portugal. **Design of a 6LoWPAN Gateway for Wireless Sensor Networks**. Disponível em: <http://rtcm.inescporto.pt/fileadmin/rtcm/Workshop_11_Fev_11/RTCM_11_Fev_2011_s3p1.pdf>. Acesso em: 20 outubro 2014.

CISCO Networking Academy. CCNA Exploration 4.0. Modulo 1. **Endereçamento de Rede – IPv4**. Capítulo 6, Endereçamento de Rede – IPv4, 6.2 Endereços para Propósitos Diferentes, 6.2.7 Histórico de Endereçamento IPv4. Disponível em: <<https://www.netacad.com/>>. Acesso em: 27 outubro 2014.

CISCO Networking Academy. CCNA Exploration 4.0. Modulo 4. **Acessando a WAN**. Capítulo 7, Serviços de endereçamento IP, 7.3 IPv6, 7.3.1 Motivos para usar o IPv6. Disponível em: <<https://www.netacad.com>>. Acesso em: 20 outubro 2014.

CISCO. **A internet de todas as coisas: conectando o que está desconectado**. Disponível em: <<http://share.cisco.com/loESocialWhitepaper/index-pt.php#/0/2>>. Acesso em: 09 outubro 2014.

Contiki:. **The Open Source OS for the Internet of Things**. Disponível em: <<http://www.contiki-os.org/>>. Acesso em: 16 outubro 2014.

Department of Computer Science. Institute of Mathematics and Statistics. University of São Paulo. **A Internet e a Rede das coisas: desafios e oportunidades**. Disponível em: <<http://grenoble.ime.usp.br/~gold/cursos/2013/movel/mono1st/2305-Straus.pdf>>. Acesso em: 05 agosto 2014.

Fundação Bradesco. Cezar Taurion. **Internet das Coisas**. Disponível em: <<http://eventos.fb.org.br/biteventos/historico.asp>>. Acesso em 14 agosto 2014.

História Digital. Questão: **Guerra Fria**. Disponível em: <<http://www.historiadigital.org/questoes/questao-enem-1999-guerra-fria/>>. Acesso em: 14 outubro 2014.

IANA.ORG. RPL. **Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks (RPL)**. Disponível em: <<http://www.iana.org/assignments/rpl/rpl.xhtml>>. Acesso em: 17 outubro 2014, 18:10.

IETF. **Request for Comments (RFC)**. Disponível em: <<http://www.ietf.org/rfc.html>>. Acesso em: 17 outubro 2014, 18:02.

IETF. RFC 4919. **IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPANs): Overview, Assumptions, Problem Statement, and Goals**. Disponível em: <<http://tools.ietf.org/html/rfc4919>>. Acesso em: 17 outubro 2014, 18:05.

IETF. RFC 4944. **Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks**. Disponível em: <<http://tools.ietf.org/html/rfc4944>>. Acesso em: 17 outubro 2014, 18:07

IETF. RFC 7252. . **The Constrained Application Protocol (CoAP)**. Disponível em: <<https://datatracker.ietf.org/doc/rfc7252/>>. Acesso em: 17 outubro 2014, 18:12.

IPSO Alliance. **6LoWPAN: Incorporating IEEE 802.15.4 into the IP architecture**. Internet Protocol for Smart Objects (IPSO) Alliance White paper # 3. Disponível em: <<http://www.ipso-alliance.org/wp-content/media/6lowpan.pdf>>. Acesso em: 15 outubro 2014.

IPv6.br. **IPv6.br -> Blog -> ZigBee usa agora 6LoWPAN! Sua próxima lâmpada terá IPV6?** Disponível em: <<http://ipv6.br/zigbee-usa-agora-6lowpan-sua-proxima-lampada-tera-ipv6/>>. Acesso em: 09 outubro 2014.

IPv6.br. **IPv6.br -> Curso e-learning**. Disponível em: <<http://ipv6.br/curso/>>. Acesso em: 13 junho 2014, 01:45

IPv6.br. **IPv6.br -> Endereçamento**. Disponível em: <<http://ipv6.br/entenda/enderecamento/>>. Acesso em: 19 junho 2014, 16:31

IPv6.br. **IPv6.br -> Funcionalidades Básicas**. Disponível em: <<http://ipv6.br/entenda/funcionalidades/>>. Acesso em: 13 junho 2014, 01:40

IPv6.br. **IPv6.br -> Introdução**. Disponível em: <<http://ipv6.br/entenda/introducao/>>. Acesso em: 26 junho 2014, 17:36

IPv6.br. **IPv6.br -> Questões Frequentes. O que aconteceu com o IPV5?**. Disponível em: <http://ipv6.br/faq/#O_que_aconteceu_com_o_IPv5>. Acesso em: 16 agosto 2014.

IPv6.br. **O que é IPv6 em português claro.**

Disponível em: <<http://ipv6.br/>>. Acesso em: 24 outubro 2014.

IPv6.br. IPv6 nas redes de sensores. **O 6LoWPAN e a Internet das coisas.**

Disponível em: <<http://www.ceptro.br/pub/CEPTRO/PalestrasPublicacoes/FISL10-6LoWPAN-v6.pdf>>. Acesso em: 17 outubro 2014, 18:16

nesC.: A Programming Language for Deeply Networked Systems. Disponível em: <<http://nesc.sourceforge.net/>>. Acesso em: 27 outubro 2014.

Office Microsoft. **Criar sumário.** Disponível em: <<http://office.microsoft.com/pt-br/word-help/criar-um-sumario-HA102824256.aspx>>. Acesso em: 17 outubro 2014, 18:19.

Olhar Digital. **Entenda como vai funcionar o IPv6.** Disponível em: <<http://olhardigital.uol.com.br/video/entenda-como-vai-funcionaro-ipv6/27873>>. Acesso em: 19 junho 2014, 16:58 - Data da matéria: 22/07/2012.

Olhar Digital. Leia 6 previsões para a tecnologia em 2014. **Internet das Coisas.** Disponível em: <<http://olhardigital.uol.com.br/pro/noticia/39673/39673>>. Acesso em: 17 outubro 2014.

Projeto de redes. **As Redes com ZigBee.** Camadas de Protocolos. Disponível em: <http://www.projetoederedes.com.br/artigos/artigo_zigbee.php>. Acesso em: 24 outubro 2014.

PubNub. **Worldwide Internet of Things Market to Exceed \$7 Trillion by 2020.** Disponível em: <<http://www.pubnub.com/blog/worldwide-internet-of-things-market-exceed-7-trillion/>>. Acesso em: 14 outubro 2014.

SHELBY, Zach. BORMANN, Carsten. **6LoWPAN: the wireless embedded internet.** Edition first, United Kingdom: John Wiley and Sons, Ltd, Publication, 2009. Disponível em: <<http://6lowpan.net/wp-content/uploads/2009/12/6lowpan-book-slides-full-20091206.pdf>>. Acesso em: 20 outubro 2014.

SHELBY, Zach. BORMANN, Carsten. **6LoWPAN: the wireless embedded internet**. Edition first, United Kingdom: John Wiley and Sons, Ltd, Publication, 2009.

Techtudo. **Aprenda a inserir um índice de figuras no Word**. Disponível em: <<http://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2012/10/aprenda-inserir-um-indice-de-figuras-no-word.html>>. Acesso em: 17 outubro 2014, 18:22

Tecmundo. **Smart Grid: a rede elétrica inteligente**. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/3008-smart-grid-a-rede-eletrica-inteligente.htm>>. Acesso em: 07 agosto 2014.

Teleco. Inteligência em Telecomunicações. **ZigBee: O que é?** Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialzigbee/pagina_1.asp>. Acesso em: 13 outubro 2014.

TEIXEIRA, Lincoln H. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. **Instalação e Configuração do GNS3**. Disponível em: <<http://paginapessoal.utfpr.edu.br/lincolnh/disciplinas/pos-graduacao/GNS3ipv6linux.pdf/view>>. Acesso em: 12 junho 2014, 22:57.

TEIXEIRA, Lincoln H. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. **Laboratório IPv6: Configuração Prática**. Disponível em: <<http://paginapessoal.utfpr.edu.br/lincolnh/disciplinas/pos-graduacao/Atividade1ipv6.pdf/view>>. Acesso em: 12 junho 2014, 23:04.

TEIXEIRA, Lincoln H. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. **Laboratório Serviços IPv6-DHCPv6-DNS-WEB: Configuração Prática**. Disponível em: <<http://paginapessoal.utfpr.edu.br/lincolnh/disciplinas/pos-graduacao/AtividadeDHCPv6DNSWEB.pdf/>>. Acesso em: 12 junho 2014, 22:58.

TinyOS Overview. Disponível em: <http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/TinyOS_Overview>. Acesso em: 16 outubro 2014.

TinyOS. **Open Source**. Disponível em: <<http://www.tinyos.net/>>. Acesso em: 16 outubro 2014.

U.S. Department of Defense. Disponível em:

<<http://www.defense.gov/releases/release.aspx?releaseid=12652>>. Acesso em: 27 outubro 2014.