



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Luis Fernando Castilho Maschi

SUMARIZAÇÃO DE DADOS NO NODO POR PARÂMETROS:

Fusão de Dados Local em Ambiente Internet das Coisas

RIO CLARO
2018

Luis Fernando Castilho Maschi

SUMARIZAÇÃO DE DADOS NO NODO POR PARÂMETROS:

Fusão de Dados Local em Ambiente Internet das Coisas

Dissertação de Mestrado apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título Mestre em Ciência da Computação, junto ao programa de pós-graduação em Ciência da Computação, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Rio Claro.

Orientador: Prof. Dr. Alexandro José Baldassin
Coorientador: Prof. Dr. Alex Sandro Roschildt Pinto

RIO CLARO
2018

Maschi, Luis Fernando Castilho.

Sumarização de dados no nodo por parâmetros: fusão de dados local
em ambiente internet das coisas / Luis Fernando Castilho Maschi . --
Rio Claro, 2018
59 f. : il.

Orientador: Alexandro José Baldassin

Coorientador: Alex Sandro Roschildt Pinto

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Ciência da computação. 2. Internet. 3. Processamento de dados.
I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de
Biociências, Letras e Ciências Exatas. II. Título.

CDU – 681.32

Luis Fernando Castilho Maschi

SUMARIZAÇÃO DE DADOS NO NODO POR PARÂMETROS:

Fusão de Dados Local em Ambiente Internet das Coisas

Dissertação de Mestrado apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título Mestre em Ciência da Computação, junto ao programa de pós-graduação em Ciência da Computação, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Rio Claro.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Alexandro José Baldassin
UNESP – Rio Claro
Orientador

Kalinka Regina Lucas Jaquie Castelo Branco
USP – São Carlos

Ivan Rizzo Guilherme
UNESP – Rio Claro

Rio Claro
28 de Fevereiro de 2018

Dedico este trabalho a Luciani e Rafael, minha esposa e filho pelo apoio e paciência e aos meus pais Laurindo e Dirce por serem responsáveis pela pessoa que sou hoje.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pela vida e pelos dons que me foram dados.

À minha esposa Luciani, pela dedicação, paciência, força, incentivo e carinho que tive de sua parte durante esta caminhada, e também ao meu filho, que ficou sem a companhia do pai em alguns momentos.

Aos meus pais, que na sua simplicidade, sempre me mostraram o caminho correto da vida e a necessidade do aprendizado constante durante a vida.

Aos meus orientadores, Professor Alexandro e Alex, pelos conselhos, paciência e tempo disposto nesta caminhada.

Aos meus familiares e amigos pelo incentivo, conselhos e momentos de descontração quando mais precisa e as preocupações e dúvidas surgiam.

A todos do Instituto Federal de São Paulo, campus Catanduva, que me apoiaram e ajudaram de diversas formas durante o desenvolvimento deste trabalho, em especial ao ex-diretor geral do campus Professor Marcio e atual diretor geral Osvaldo pela oportunidade em desenvolver o projeto no próprio campus.

A todos os professores e funcionários da UNESP de São José do Rio Preto e de Rio Claro.

⁸ *Filho meu, ouve a instrução de teu pai, e não deixes o ensinamento de tua mãe.*

⁹ *Porque serão como diadema gracioso em tua cabeça, e colares ao teu pescoço.*

Provérbios

RESUMO

Com o surgimento da Internet das Coisas, por meio de bilhões de objetos ou dispositivos serão inseridos na Internet, gerando um volume de dados nunca antes imaginado. Este trabalho propõe uma maneira de coletar e processar dados locais através da tecnologia de fusão de dados chamada de sumarização de dados. A principal característica desta proposta é a fusão local de dados, através de parâmetros fornecidos pela aplicação e/ou base de dados, garantindo a qualidade dos dados coletados pelo nodo do sensor. Nos testes, um nodo sensor com a técnica proposta, aqui identificada como Sumarização de Dados no Nodo por Parâmetros (SDNP), realiza a sumarização de dados e posteriormente é comparado com outro nodo que realizou uma gravação contínua dos dados coletados. Foram criados dois conjuntos de nós para estes testes, um com um nodo de sensor que analisou a luminosidade de salas de aula, que neste caso obteve uma redução de 97% no volume de dados gerados, e outro conjunto que analisou a temperatura dessas salas, obtendo uma redução de 80% no volume de dados. Através desses testes, verificou-se que a sumarização de dados local no nodo pode ser usada para reduzir o volume de dados gerados, diminuindo assim o volume de mensagens geradas pelos ambientes IoT.

Palavras Chaves: IoT, Sumarização de Dados, Fusão de Dados

ABSTRACT

With the advent of the Internet of Things, billions of objects or devices are inserted into the global computer network, generating and processing data in a volume never before imagined. This work proposes a way to collect and process local data through the data fusion technique called *summarization*. The main feature of the proposal is the local data fusion through parameters provided by the application, ensuring the quality of data collected by the sensor node. In the tests, the sensor node was compared when performing the data summary with another that performed a continuous recording of the collected data. Two sets of nodes were created, one with a sensor node that analyzed the luminosity of the room, which in this case obtained a reduction of 97% in the volume of data generated, and another set that analyzed the temperature of the room, obtaining a reduction of 80 % in the data volume. Through these tests, it has been verified that the local data fusion at the node can be used to reduce the volume of data generated, consequently decreasing the volume of messages generated by IoT environments.

Key Words: IoT, Data Summarization, Data Fusion

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Proposta da aplicação de Sumarização de Dados no Nodo por Parâmetros	16
Figura 2: Curva Gartner Agosto 2016 Fonte: (Gartner, 2016).....	20
Figura 3: Modelo Harmoni Baseado em: Mohomed et al., 2008	35
Figura 4: Diagrama da Aplicação Sumarização de Dados no Nodo por Parâmetros (SDNP) .	38
Figura 5: Fluxograma do Algoritmo de Sumarização de Dados no Nodo por Parâmetros	40
Figura 6: Bandas de Bollinger no Algoritmo de Sumarização	41
Figura 7. Atualização de Tempo de Sumarização na Base de Dados.....	42
Figura 8: Quantidade de Registros Enviados por Cada Nodo Sensor de Temperatura	47
Figura 9: Temperatura Média Gravada pelos Sensores de Forma Sumarizada (SDNP) e Sequencial.....	48
Figura 10: Registros de Luminosidade Gravados de Forma Sumarizada (SDNP) e Sequencial	49
Figura 11: Luminosidade Registrada pelos Nodos de forma Sequencial e Sumarizada (SDNP)	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Taxonomia de Aplicações em IoT e RSSF segundo Wang.....	32
Tabela 2: Tabela de Nodos Alocados nos ambientes monitorados	46
Tabela 3: Relação de Registros Gravados de Forma Sequencial e Sumarizada (SDNP) por Dia e Diferença de Porcentagem	50

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

BAN	Body Area Network
CFTV	Circuito Fechado de TV
IdC	Internet das Coisas
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
JDL	Data Fusion Group
QoS	Quality of Service
RDF	Resource Description Framework
RFiD	Radio-Frequency Identification
RSSF	Redes de Sensores Sem Fio
SDNP	Sumarização de Dados no Nodo por Parâmetros
SoA	Service-Oriented Architecture
SQL	Structured Query Language
SWASNS	Semantic Web Architecture for Sensor Networks
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WWW	World Wide Web

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos	16
1.2 Contribuições	16
1.3 Organização do Trabalho	17
2 INTERNET DAS COISAS	18
2.1 Definição	18
2.2 - Surgimento e Expectativas	19
2.3 Requisitos e Recursos	21
2.4 Considerações Finais	22
3 FUSÃO DE DADOS	24
3.1 Definição	24
3.2 Trabalhos Relacionados à Fusão de Dados	25
3.3 Estudos de Casos	28
3.4 Estudo de Caso Para Base do Projeto	33
4 O ALGORITMO SDNP	37
4.1 Aplicação	37
4.2 Algoritmo	39
4.2.1 Bandas de Bollinger	40
4.2.2 Base de Dados (Aplicação)	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1 Ambiente Experimental	44
5.2 Equipamentos Utilizados e o Ambiente Monitorado	45
5.3 Coletas dos Dados	46
5.4 Sensores de Temperatura	47
5.5 Sensores de Luminosidade	48
5.6 Comparativo Entre Registros Gravados de Forma Sequencial e Sumarizada pelo Nodo	50
6 CONCLUSÃO	51

6.1 Dificuldades Encontradas e Limitações	51
6.2 Contribuições	52
6.3 Trabalhos Futuros.....	52
6.4 Produção Científica	53

1 INTRODUÇÃO

Na última década a humanidade está presenciando uma nova revolução, comparada não somente com o advento e popularização da Internet na década de 1990, mas também com a revolução industrial no século XIX (Vermesan e Friess, 2014) (Siciliano e Khatib, 2008). Essa nova revolução é conhecida como Internet das Coisas, ou *Internet of Things* (IoT), sendo em alguns momentos citada como Internet dos Objetos, referindo-se a interconexão de objetos do cotidiano em rede, geralmente com alguma inteligência ubíqua (Xia *et al.*, 2012).

O volume de dados que ambientes de automação e sensoriamento podem gerar, é uma das áreas de pesquisa em Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) e IoT (Abdelgawad e Bayoumi, 2012), (Aggarwal, 2013). Uma das maneiras para o tratamento e armazenamento corretos destes dados são processos conhecidos como fusão de dados (Varshney, 1997). Inicialmente foram desenvolvidos várias propostas e métodos de fusão de dados por vários laboratórios e grupos de pesquisas, sendo muitas vezes essas propostas parecidas ou até idênticas, mas recebendo nomes diferentes uma das outras, gerando confusão e retrabalho entre os pesquisadores (White, 1991),.

Entre as técnicas de fusão de dados (Varshney, 1997) podemos citar a sumarização ou agregação (Renesse, van, 2003), como uma forma de buscar a diminuição deste volume de dados (Krishnamachari, Estrin e Wicker, 2002). Este processo de sumarização também pode diminuir o consumo de energia em RSSF (Nithyakalyani e Kumar, 2013). Uma das técnicas que podem ser utilizadas para a fusão de dados são os algoritmos de agregação de dados descentralizados, onde o processo de sumarização ocorre nos nodos e sensores que compõem uma RSSF ou um ambiente IoT (Nithyakalyani e Kumar, 2013).

A proposta deste trabalho é realizar a sumarização no nodo, através de parâmetros fornecidos pelo servidor de uma aplicação, ou base de dados, trabalhando de forma híbrida entre nodo e servidor. Através destes parâmetros fornecidos pela aplicação armazenada em um servidor, o nodo pode realizar um processo de fusão de dados mais consistente, garantindo assim a qualidade dos dados.

A Figura 1 mostra um diagrama ilustrando a proposta do trabalho, Sumarização de Dados no Nodo por Parâmetros (SDNP), onde sensores com conexão com a Internet se comunicam com a aplicação, recebendo os parâmetros para a sumarização dos dados e retornam os valores solicitados. Como exemplo, podemos analisar na Figura 1 o Sensor 1, que recebe como parâmetros a média de um período N de tempo. Após realizar o cálculo da média

dos valores coletados neste período de tempo, retorna a aplicação para gravação na base de dados, o valor já sumarizado, neste caso, a média.

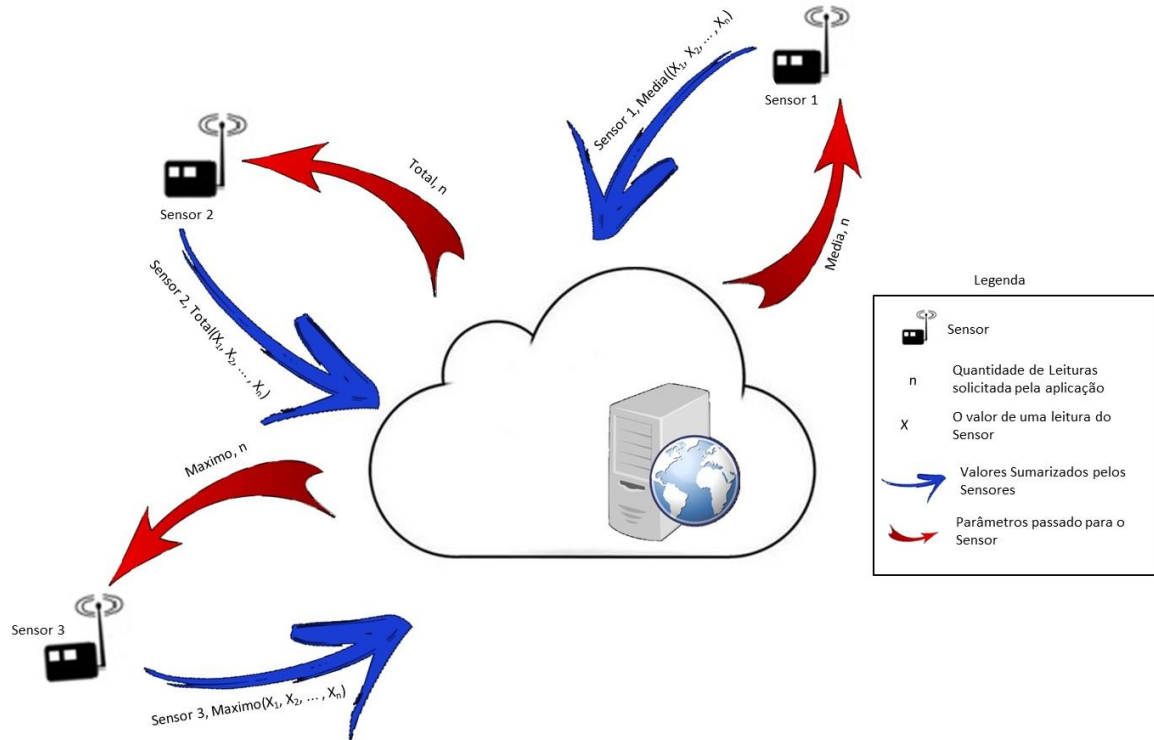


Figura 1: Proposta da aplicação de Sumarização de Dados no Nodo por Parâmetros

1.1 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é apresentar métodos de sumarização dos dados no nodo, onde esta sumarização ocorra de acordo com a parametrização fornecida pela aplicação, chamado neste trabalho de *Sumarização de Dados no Nodo por Parâmetros* (SDNP). Espera-se, desta forma, que a fusão de dados no nodo ocorra de forma consistente, garantindo a qualidade dos dados gerados, mas diminuindo significativamente o volume de dados gerados, através da diminuição do numero de mensagens enviadas pelo nodo a aplicação para serem armazenados..

1.2 Contribuições

Neste trabalho foi desenvolvido o método Sumarização de Dados no Nodo por Parâmetros (SDNP). Os parâmetros são fornecidos por uma base de dados e atualizados

constantemente a cada gravação do nodo de acordo com seu comportamento dinâmico. Este processo de sumarização observa os valores lidos da base de dados para os tipos de sumarização (por exemplo, valores mínimos e máximos) a serem obedecidos e, desta forma, realiza internamente no nodo a decisão da realização da gravação através de um método conhecido como *Bandas de Bollinger* (Lento, Gradojevic e Wright, 2007).

Para avaliação do SDNP foram realizados experimentos com dois tipos de sensores: luminosidade e temperatura. Esses sensores foram colocados em salas de aula e os resultados colhidos em um período de uma semana. Como forma de comparação, foram coletados também resultados para os sensores operando de forma contínua, sem o uso do SDNP. Os resultados mostraram: (i) para luminosidade, uma redução de 97% na quantidade de registros gravados; (ii) para temperatura, uma redução de 80% no volume de registros. Um efeito indireto da redução do volume de dados gerados é a respectiva economia energética.

1.3 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma. No Capítulo 2 é explanado os principais pontos de um ambiente IoT e suas características. No Capítulo 3 o conceito de fusão de dados, suas utilizações em ambientes IoT são apresentados e os trabalhos relacionados. Posteriormente, o Capítulo 4 mostra como o trabalho foi desenvolvido e os algoritmos relacionados. No Capítulo 5 os resultados obtidos são apresentados e, finalmente, o Capítulo 6 fecha com as conclusões deste trabalho.

2 INTERNET DAS COISAS

Este capítulo apresenta a definição do paradigma IoT, seu surgimento, aplicações possíveis, assim como as expectativas e desafios que esta nova forma de utilizar a Internet irá impor.

2.1 Definição

O termo conhecido como Internet das Coisas (IdC), ou *Internet of Things* (IoT) (Atzori, Iera e Morabito, 2010), (Greenfield, 2010), assim como outro termo menos utilizado, mas ainda encontrado em alguns artigos, *Internet of Objects* (Xia *et al.*, 2012), refere-se à interconexão em rede de objetos do cotidiano. Alguns autores destacam que em um mundo programável, todos os objetos irão agir, e porque não dizer interagir, como se fossem um só (WASIK, 2013).

Esta nova forma de conexão de objetos na Internet faz parte de um paradigma, a computação ubíqua (Greenfield, 2010), onde a computação, assim como a Internet, é parte do cotidiano de nossas vidas de uma forma tão transparente que não será possível perceber ou preocupar diretamente como sua existência.

O monitoramento de um determinado objeto ocorre por um dispositivo conhecido como nodo. O conceito de nodo surgiu antes do advento da IoT, sendo amplamente utilizado em Redes de Sensores Sem Fio (RSSF). Um nodo é basicamente um dispositivo autônomo, com capacidade de sensoriamento, processamento e comunicação (Loureiro *et al.*, 2003)

IoT já é parte essencial desta nova maneira de ver a computação no dia a dia, pois, sem suas principais funcionalidades, a computação ubíqua não iria conseguir executar processos de forma transparente aos usuários. Várias áreas do conhecimento estão diretamente envolvidas no desenvolvimento do conceito de IoT, como a telecomunicação, eletrônica, informática (Atzori, Iera e Morabito, 2010) e ciências sociais (Weber, 2010) (Gubbi *et al.*, 2013) (Chung *et al.*, 2013).

Necessariamente dois campos do conhecimento devem ser bem trabalhados para que este novo paradigma seja aceito de forma mais ampla: (i) os problemas tecnológicos que ainda são muito desafiadores; (ii) a questão social de ter várias conexões entre pessoas/objetos e objetos/objetos para garantir a integridade e a privacidade dos dados e informações que são

trocadas entre estes elementos (Weber, 2010), (Chung *et al.*, 2013). O impacto econômico, social e científico que isto pode causar ainda é muito difícil de ser calculado, assim como são imensuráveis as oportunidades que surgirão com a massiva aplicação destes conceitos no dia-a-dia das pessoas (Gubbi *et al.*, 2013).

A IoT é considerada a terceira onda da Internet. A primeira onda, conhecida como WWW, foi a era das páginas estáticas, onde aproximadamente um bilhão de equipamentos foram conectados na rede mundial de computadores. Posteriormente, na segunda onda, dispositivos móveis como celulares e smartphones foram adicionados, sendo que a Internet passou a ser composta por mais de dois bilhões de dispositivos. Com o advento da terceira onda, a previsão inicial é que possamos ter conectados nesta rede mundial aproximadamente 24 bilhões de dispositivos em 2020 (Gubbi *et al.*, 2013), sendo que atualmente (cerca de 2015) já estão conectados em torno de 9 bilhões destes dispositivos.

2.2 - Surgimento e Expectativas

O termo IoT foi citado pela primeira vez por Kevin Ashton, em 1999, em uma palestra sobre logística de produtos da empresa Procter & Gamble onde se discutia as possibilidades de aplicação da tecnologia RFiD (Gubbi *et al.*, 2013) (Ashton, 2009).

A tecnologia RFiD (*Radio-Frequency Identification*) (Chunli e Donghui, 2012) é composta de uma etiqueta eletrônica com antena, com possibilidade de leitura e gravação, utilizada para a identificação de objetos, mercadoria e produtos. Geralmente esta etiqueta possui um código único e universal, facilitando assim a identificação dos itens as quais ela está inserida.

Ambientes onde o paradigma de IoT é aplicado são denominados de ambientes IoT, assim como outras nomenclaturas também se referem à IoT, dependendo do contexto onde são utilizadas. Por exemplo, se os objetos de uma casa estão de alguma forma conectada à Internet, esta casa é conhecida como uma casa inteligente (*smart home*). Outros exemplos incluem: edifícios inteligentes (*smart buildings*), para ambientes maiores como edifício ou conjuntos desses, e cidades inteligentes (*smart cities*).

Definir o surgimento e as possibilidades de aplicações de ambientes IoT também como a nova revolução da humanidade, logo após a revolução e popularização da Internet (Greenfield, 2010). O conceito de IoT em si não é novo, pois basicamente a ideia de objetos conectados que interagem entre si em uma rede interna de computadores é relativamente antiga (Zorzi *et al.*, 2010). Com a popularização da Internet, dispositivos computacionais cada

vez menores, com custos mais acessíveis (Garcia-Sanchez, Garcia-Sanchez e Garcia-Haro, 2011), (Miorandi *et al.*, 2012) e novos protocolos de comunicação (Yuan, Wang e Linnartz, 2007), as possibilidades se tornaram exponenciais.

O Instituto Gartner (“Technology Research | Gartner Inc.”, 2016) é responsável pela análise e acompanhamento das tecnologias mais utilizadas atualmente. Este instituto dá o nome à curva que especifica a maturidade destas tecnologias junto ao mercado, analisando desta forma o surgimento, as expectativas, sua maturidade, fixação e plena utilização destas tecnologias. Em sua análise divulgada em agosto de 2015 (Gartner, 2016), colocou o paradigma IoT no topo das expectativas da curva.

O topo da Curva Gartner é atingido quando as expectativas de utilização estão infladas, onde grandes números de instituições, incluindo empresas e centros de pesquisas, olham para esta tecnologia, como observar-se na Figura 2. Esta curva indica também as expectativas destas tecnologias estarem maduras, ou plenamente utilizadas, sendo que para ambientes IoT, a expectativa é que estará em pleno uso dentro de 5 a 10 anos de acordo com a figura.

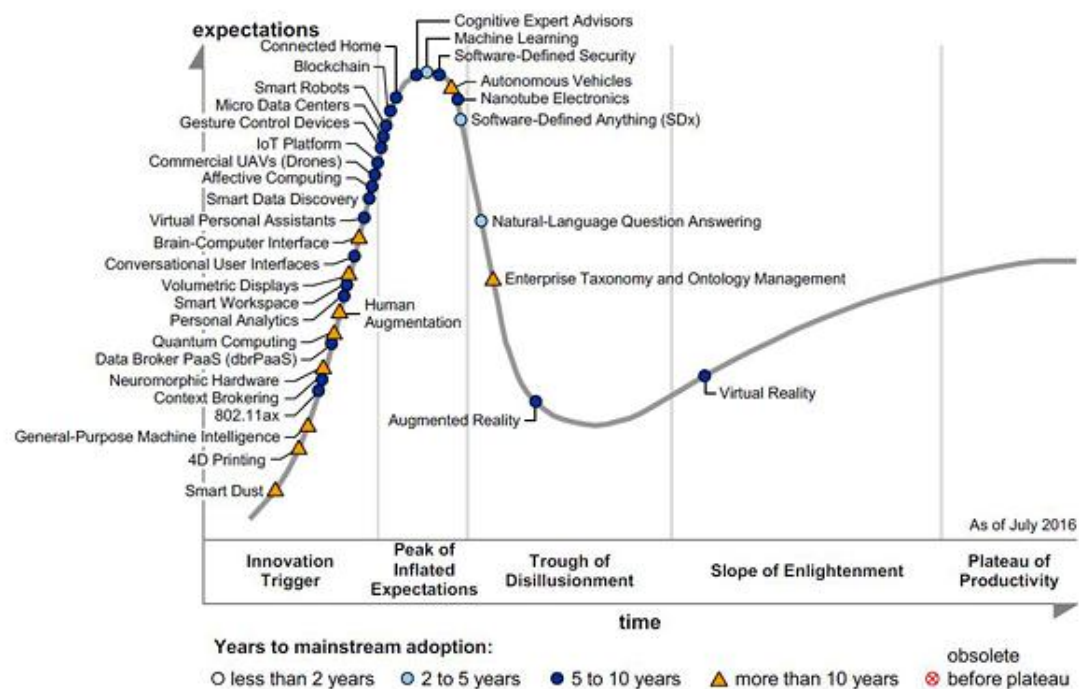


Figura 2: Curva Gartner Agosto 2016 Fonte: (Gartner, 2016)

2.3 Requisitos e Recursos

Inicialmente, para ser possível a criação de um ambiente IoT, era necessária uma conexão de rede entre os objetos, seja essa conexão através de cabeamento ou conexões sem fio. Quando pensamos em redes que conectam computadores e/ou dispositivos computacionais, de alguma forma pensamos em protocolos de comunicação padrão como o IEEE 802.11 (Santi, 2005), popularmente conhecido como wifi ou Wi-Fi. Em uma análise mais detalhada, no entanto, podemos identificar que este protocolo sozinho não é capaz de atender uma grande demanda de processos em execução ao mesmo tempo. Assim, se faz necessário outras tecnologias e protocolos para dar o apoio a esta comunicação, como protocolos mais restritos, tanto na largura de banda ou alcance, como ocorre com o protocolo IEEE 802.15.4 (“IEEE Standard Association - IEEE Get Program”, 2011).

Também é necessária em muitos casos a utilização de tecnologias de comunicação e transferência de dados através de sistemas de telefonia celular (Yeo *et al.*, 2014) para suprir uma melhor permanência de um determinado objeto conectado com a rede. Pois, esse objeto deve ser conectado a uma determinada rede, Internet ou não, sendo necessário que ele fique o maior tempo possível, ou requerido, conectado a esta rede, para uma melhor confiabilidade dos dados gerados e suas possíveis utilizações.

Outro problema apresentado com a IoT é a questão da utilização do protocolo IP (Internet Protocol), que atualmente está sendo migrado da sua versão IPv4 para IPv6. A versão IPv4 possui um endereçamento de 32 bits (Greenfield, 2010), sendo utilizado de forma global, somente em aproximadamente 4 bilhões ($4,0 \times 10^9$) de dispositivos de forma direta, o que o torna inviável, pois já possuímos em torno de 9 bilhões de dispositivos conectados.

A grande aposta para que este problema seja resolvido é a versão IPv6 (Greenfield, 2010) do protocolo IP, por possuir endereçamento de 128 bits, suportando em torno de 340 undecilhões ($3,4 \times 10^{38}$) de dispositivos conectados diretamente na Internet. A implantação desta nova versão está sendo gradual devido ao grande legado existente nas empresas de telecomunicações, que ainda possuem equipamentos que não suportam a nova versão do protocolo IP. Somam-se a isso as dificuldades burocráticas, de legislação e financeiras de alguns países.

Além das dificuldades com o protocolo IP, as tecnologias de comunicação móveis, mais especificamente 3G e 4G (LTE), não foram criadas necessariamente para suportar um grande

volume de dados e dispositivos conectados de forma constante e permanente na Internet. Devido a esta dificuldade surgiu a necessidade da criação de um novo sistema de comunicação, o qual foi denominado de 5G (Skouby e Lynggaard, 2014), voltado diretamente para ambientes IoT, que suporta o grande volume de dados e a permanente conexão entre estes objetos e a Internet. Esse novo sistema de transmissão já está sendo pesquisado intensamente tanto na Europa e Leste Asiático como Estados Unidos, sendo que já existem testes programados na Coreia do Sul e na Rússia para 2018 (“Como a conexão 5G mudará o mundo”, 2014).

As expectativas e possibilidades de aplicações IoT despertam também as atenções de grandes corporações de hardware e empresas de tecnologia. Uma dessas empresas é a Intel, que recentemente lançou processadores com poder de processamento relativamente pequeno para implementação de dispositivos que visem à utilização nestes ambientes (“Intel® Quark™ SoC X1000 (16K Cache, 400 MHz) Product Specifications”, 2016). Outro exemplo é a Qualcomm, que propõe o desenvolvimento de uma plataforma completa visando a conexão de tudo na Internet (“Internet of Everything | Qualcomm”, 2015).

2.4 Considerações Finais

O paradigma IoT basicamente é o processo de automação de ambientes e processos objetivando a conexão de objetos com a Internet, disponibilizando os dados coletados de forma mais cômoda aos usuários que necessitam dessas informações. Embora muitas empresas já estejam olhando mais atentamente para esta nova tecnologia e as possibilidades de criação de serviços e produtos com este novo paradigma, muitos desafios ainda deverão ser vencidos para que ela seja utilizada em larga escala.

O mais desafiador é garantir que estes objetos conectados à Internet e os dados gerados estejam seguros e seja privativo de quem for devidamente seus usuários, através de novas políticas e leis que possam ser aplicadas e principalmente de uma forma global. As possibilidades são imensas, assim como os desafios como pode-se observar em (Atzori, Iera e Morabito, 2010):

- Padronização: São necessários o aumento dos esforços de padronização das tecnologias que envolvem IoT de forma global;
- Suporte a Mobilidade: Existem várias propostas de como tratar um objeto, mas poucas que tratem a capacidade de adaptação a novas tecnologias heterogêneas e escalonáveis;

- Nomeação de objetos: A criação de um sistema de serviço de nomeação de objeto, para o mapeamento e associação de objetos com identificados se fará necessário;
- Protocolos: Os protocolos de comunicação atuais falham em cenários IoT, devido a seus mecanismos de roteamento e conexão exigirem buffers muito grandes para serem implementados em "objetos";
- Caracterização do Tráfego e suporte QoS(*Quality of Service*): Os padrões de espera e transporte de informações serão significativamente diferentes da Internet atual, sendo necessários novos requisitos de QoS e sistemas de apoio mais eficientes;
- Autenticação, Integridade e Privacidade: Sistemas de autenticação atuais não são muito bem suportados em IoT, pois objetos conectados possuem recursos limitados quando comparados a dispositivos computacionais atuais, além de ataques humanos a estes dispositivos serem um sério problema;

Esquecimento digital: Todos os dados coletados de um objeto ou pessoa poderão ser armazenados e recuperados assim que necessário. Para isso técnicas de *data mining* devem ser utilizadas para recuperação das informações mesmo após vários anos.

No próximo capítulo será abordado a fusão de dados em ambiente monitorados por sensores, como RSSF e ambientes IoT, com uma breve explanação dos principais conceitos, alguns trabalhos relacionados e os trabalhos utilizados como inspiração para o desenvolvimento desta proposta.

3 FUSÃO DE DADOS

Ambientes IoT geram um grande volume de dados, os quais necessitam ser tratados e armazenados de forma segura. Técnicas de fusão de dados auxiliam nestes processos e são tratadas neste capítulo.

3.1 Definição

Várias são as definições na literatura para o conceito de fusão de dados, sendo muitas vezes semelhantes, mas com alguns detalhes e especificidades segundo alguns autores (Nakamura, Loureiro e Frery, 2007), (Hall e Llinas, 1997), (Wald, 1998).

Quando identificado o termo fusão de dados na literatura, estão indicando processos de combinação de dados que visam a análise de várias fontes de dados para uma melhoria na informação obtida. Em IoT, isto se faz necessário devido às características dos equipamentos envolvidos, na sua maioria diminutos, com baixa capacidade de processamento, armazenamento e transmissão de informação, gerando perdas de dados em redes com baixa densidade ou redundância de dados em redes de grande densidades (Gubbi *et al.*, 2013).

Tanto os erros, a perda e a redundância dos dados na transmissão geram uma grande quantidade de problemas no momento da interpretação destes dados, causando transtornos no momento em que uma tomada de decisão se torna necessários. A fusão de dados em si é a aplicação de técnicas que interpretam os dados recebidos pelos sensores espalhados em um ambiente IoT e analisam sua validade e confiabilidade (White, 1991).

Uma das definições mais aceitas de fusão de dados é a combinação de dados de diversas fontes visando uma melhoria na informação final, sendo ela com maior qualidade, mais barata ou de maior relevância (Nakamura, Loureiro e Frery, 2007) (Khaleghi *et al.*, 2013). Em meados da década de 80, foi criada uma administração conjunta de laboratórios de fusão de dados denominada JDL (*Data Fusion Group*), que buscou a padronização dos termos e processos que envolviam a fusão de dados. Em 1991 foi proposto e definido um dicionário para todos os termos que envolvem a fusão de dados (White, 1991), no qual a abstração da própria fusão de dados é o ato ou processo de se obter uma informação de um objeto real e físico observado. Este grupo criou um modelo buscando a unificação dos processos de fusão de dados, especialmente em sistemas multissensores, buscando um melhor custo-benefício

envolvendo estes processos em 1999 (Steinberg, Bowman e White, 1999), o qual passou por uma revisão em 2004 (Llinas *et al.*, 2004).

A fusão de dados é utilizada em várias áreas, como robótica, inteligência artificial, processamento de imagens, além de ser amplamente utilizada em RSSF podendo ser necessária, buscando a diminuição de custos e garantia da informação colhida (Nakamura, Loureiro e Frery, 2007), e por consequência, sua utilização em IoT. O conceito envolve vários processos e técnicas que buscam a coleta, verificação, manipulação, combinação, eliminação e agrupamento de dados para obter a informação necessária (White, 1991), (Nakamura, Loureiro e Frery, 2007), (Khaleghi *et al.*, 2013). Estes processos e técnicas são utilizados e aplicados em vários momentos, desde a coleta da informação no nodo, transmissão utilizando-se de diversos protocolos de comunicação, armazenamento e até no momento da disponibilização, podendo ser adotados todos em conjunto, parcialmente ou de forma individual, conforme a necessidade.

A utilização de técnicas de fusão de dados buscando a diminuição do tráfego na rede para economia de energia (Nakamura, Loureiro e Frery, 2007), (Bitencort Junior, 2008), também conhecidos como sumarização, utilizando como exemplo, o cálculo de uma média, o valor mínimo ou máximo coletado (Renesse, van, 2003) (Akkaya e Younis, 2005) podem vir a diminuir. O processo de fusão, quando necessário, pode buscar a redução do número de mensagens enviadas, o tráfego pode ser reduzido consideravelmente.

3.2 Trabalhos Relacionados à Fusão de Dados

Ambientes monitorados e controlados através de sensores e atuadores geram um volume de dados muito grande (Zhou *et al.*, 2013) e heterogêneo, devido a grande gama de tipos de sensores envolvidos e os valores do ambiente que estes sensores leem. Os estudos iniciais sobre este volume de dados envolviam basicamente Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) (Akyildiz *et al.*, 2002), que procuram garantir que os dados sejam lidos e armazenados de forma segura e que a análise e tomada de decisão sejam efetivas e diretas (Gungor e Hancke, 2009).

Inicialmente estes dados ficavam armazenados em servidores locais ou intranets de uma determinada corporação, para serem analisados por pessoas especializadas e treinadas em suas determinadas áreas. Outros sistemas já eram previamente desenvolvidos e de alguma forma interagem com o ambiente, utilizando-se de aplicações para automação, como ocorre mais

especificamente em ambientes de automação industrial (Ciardiello, 2005)(Li *et al.*, 2014)(Cena, Valenzano e Vitturi, 2007).

Outra questão que deve ser observada também é o volume de dados que ambientes IoT podem gerar. Se em ambientes restritos, como em uma RSSF, o volume de dados já é uma preocupação, em ambientes integrados com a Internet, como o conceito de IoT, essa preocupação é ainda maior. O volume de dados que estes dispositivos podem gerar, tanto no processo de armazenamento e processamento, como no processo de transmissão, é incalculável, possuindo desde dados binários até imagem e som. O consumo de energia envolvido nos dias atuais com todo o tráfego de dados na Internet no mundo é em torno de 5% de toda a energia mundial produzida (Matharu, Upadhyay e Chaudhary, 2014), tornando ainda mais importantes novas formas para aperfeiçoar a manipulação e transmissão desses dados. Processos de agregação e fusão de dados (Varshney, 1997) em sensores podem ajudar a diminuir e controlar estes dados em ambientes IoT. O conceito de Fusão de Dados é muito pesquisado em RSSF, servindo como um dos principais pontos de apoio para o desenvolvimento do conceito de IoT (Mainetti, Patrono e Vilei, 2011).

Grande parte das pesquisas com Fusão de Dados é relacionada à qualidade e segurança em que os dados lidos são gravados (Nakamura, Loureiro e Frery, 2007). No entanto, a fusão de dados pode ajudar de alguma forma também na diminuição deste volume de mensagens e dados, com técnicas de agregação com operadores aritméticos como exemplo, valor médio, valor máximo, mínimo e acumulativo, como contadores e somatórios (Jesus, Baquero e Almeida, 2015). Os algoritmos que realizam estas técnicas são denominados algoritmos de agregação de dados distribuídos, devido a realizarem a fusão de dados de forma distribuída nos nodos ou em pontos concentradores conhecidos com *gateways* e/ou *sink's*, que realizam a comunicação entre os nodos e os servidores onde os dados serão armazenados (Nithyakalyani e Kumar, 2013).

Este processo de agregação, que se utiliza de valores como média, soma, mínimo e máximo, leva o nome de sumarização de dados (Renesse, van, 2003). Este recurso não é só utilizado em ambiente com sensores (Atzori, Iera e Morabito, 2010), mas também amplamente conhecido em sistemas que envolvem banco de dados e consulta utilizando-se da linguagem SQL (*Structured Query Language*) (Jesus, Baquero e Almeida, 2015). Na maioria das vezes, os recursos de agregação podem envolver vários sensores que são sumarizados em um *sink* (ponto concentrador) e utilizam-se de análises como proximidade dos nodos ou localização destes nodos, valores similares, entre outros. Algoritmos deste tipo podem proporcionar uma redução no consumo de energia de todos os sensores e dispositivos de

transmissão de dados envolvidos (Krishnamachari, Estrin e Wicker, 2002), buscando garantir a confiabilidade dos dados gerados.

Em RSSF, o ato de sumarizar os dados (Loureiro *et al.*, 2003) busca diminuir o volume de mensagens que uma RSSF produz, procurando a combinação de dados que pertencem ao mesmo conjunto de informação coletada pelos sensores do mesmo tipo. Estes dados são combinados e sumarizados ainda dentro da RSSF e enviados a uma estação base, que realiza o processamento final.

A preocupação com a garantia e segurança dos dados gerados, que já existia em RSSF (Yick, Mukherjee e Ghosal, 2008), se tornou ainda maior com o advento do conceito de IoT (Weber, 2010). Esse tópico é amplamente pesquisado por diversos campos da ciência, incluindo principalmente computação (Matharu, Upadhyay e Chaudhary, 2014), mas também outros campos, como o direito (Zhao e Ge, 2013), por estar diretamente relacionado com a segurança e a privacidade das pessoas.

Pesquisas também estão sendo realizadas onde sensores com tecnologia IEEE 802.11 (Chlamtac e Prabhakaran, 2004), popularmente conhecidas como WI-FI (*Wireless Fidelity*), podem também realizar a leitura e gravação dos dados de uma forma mais direta nos servidores sem a necessidade de utilização dos *sinks*. Este tipo de comunicação apresenta algumas vantagens em relação à combinação dos protocolos IEEE 802.15.4 e 802.11 (Li *et al.*, 2011), mas a coexistência entre os dois também apresenta possibilidade de utilização muito interessante, como a busca por um melhor desempenho do consumo de energia e a temporização das mensagens enviadas (Yuan, Wang e Linnartz, 2007).

Outro ponto importante a ser observado é que, com o crescimento da utilização da Internet para a conexão de objetos e coisas, ocorreu a necessidade de novas tecnologias de comunicação serem desenvolvidas especificamente para atender estas demandas, como a 5G (Vermesan e Friess, 2014), a qual possui o foco principal na diminuição do tempo de latência da rede, e não na ampliação do volume de dados transferido pela rede. A principal ideia com o desenvolvimento desta rede é que os nodos, ou sensores, possam ter uma comunicação direta com os servidores que irão armazenar e processar estes dados, dando a oportunidade de vários tipos de "objetos" serem conectados diretamente à Internet como carros, casas, pessoas, e até mesmo cidades (Skouby e Lynggaard, 2014).

Neste contexto, a possibilidade da realização da fusão de dados no próprio sensor, ou nodo, é um campo que pode ser bem aproveitado pelos algoritmos de agregação de dados distribuídos, diminuindo assim o número de mensagens, conforme a necessidade e possibilidade dos dados serem agregados.

Muitas vezes são criadas camadas de agregação dentro de uma determinada RSSF (Dahai Han *et al.*, 2010), onde uma ou mais camadas de fusão de dados são criadas. A primeira possibilidade de fusão de dados ocorre na camada de percepção dos dados, ou seja, no momento de leitura, podendo ser explorada para diminuir a geração dos dados, não prejudicando as camadas posteriores.

Devido à baixa capacidade de armazenamento e processamento de alguns tipos de nodos sensores, a possibilidade de utilização de algoritmos de fusão de dados mais complexos como algoritmos bio-inspirados baseados em redes neurais (Oldewurtel e Mahonen, 2006), evolutivos (Quintao, Nakamura e Mateus, 2005), enxames (Sung e Tsai, 2012) e colônia de insetos (Okdem e Karaboga, 2006) (Roberto *et al.*, 2015) (Fister, Yang e Brest, 2013) são mais difíceis de serem configurados.

Uma fusão no nodo sensor, conhecida como *in-node* (Neuzil, Kreibich e Smid, 2014), permite a transmissão dos dados de forma econômica. A possibilidade de utilização dos próprios nodos para a realização da fusão dos dados, neste caso mais especificamente a sumarização, é uma oportunidade que pode ser explorada visando inicialmente à diminuição do volume de dados gerados e consequentemente a economia de energia com a transmissão e um melhor aproveitamento de espaços de armazenamento em ambientes de computação em nuvem.

3.3 Estudos de Casos

Vários estudos e trabalhos foram desenvolvidos na última década envolvendo IoT em vários tipos de ambientes, e com propostas totalmente variadas de implementação. Como principais métodos de implementação do conceito de IoT, citando frameworks, plataformas, middleware e aplicações desenvolvidas especialmente para este fim.

Um processo de análise e avaliação destes trabalhos é proposta por Wang *et al.*, 2015, onde são propostos 10 itens a serem analisados em processos de fusão de dados em ambientes IoT, criando uma taxonomia de aplicações voltadas para a fusão de dados como listada a seguir:

- **Tipo de Arquitetura**, sendo Middleware ou Aplicação;
- **Reconhecimento de contexto**, onde o sensor tem conhecimento do ambiente e toma a decisão da fusão de dados baseado neste contexto, onde “./” possui

algum reconhecimento de contexto e “X” não possui ou não foi especificado no trabalho;

- **Interação Semântica**, medindo o nível em que a proposta entende o que está acontecendo para realizar a fusão, medidas em níveis alto (A), moderado (M), baixo (B) ou nenhum (N);
- **Configuração dinâmica**, onde os nodos podem se configurar dinamicamente de acordo com as condições do ambiente, podendo as medições ser em níveis alto, moderado, baixo ou nenhum;
- **Complexidade da fusão**, medidos em: (i) alta complexidade de fusão dos dados, respondendo a aplicação de forma complexa; (ii) média complexidade, onde a resposta a aplicação através de combinações simples de fusão não é possível; e (iii) baixa complexidade, onde somente métodos simples de fusão e filtragem de dados é possível;
- **Gerenciamento de atuação**, onde a proposta possui a capacidade de algum nível de gerenciamento;
- **Tipo de abordagem** de fusão dos dados: centralizada ou descentralizada;
- **Portabilidade entre domínios**, onde é possível a fusão alterar os domínios a que pertencem;
- **Implementação**, avalia se a proposta foi implementada na prática ou se é uma abordagem teórica;
- **Avaliação de desempenho**, onde é analisado se a pesquisa conduziu uma avaliação de desempenho da proposta ou não.

Para a criação desta taxonomia, segundo (Wang *et al.*, 2015), ao todo foram analisados 32 trabalhos publicados entre os anos de 2003 a 2015, em sua maioria relacionados a fusão de dados no conceito de cidades inteligentes e sistemas de apoio à saúde. A seguir são apresentados os trabalhos mais relevantes e relacionados com a proposta descrita aqui.

O projeto OpenIoT (Soldatos *et al.*, 2015) fornece uma proposta de interoperabilidade semântica dos objetos na nuvem, baseados em um modelo de representação de sensores físicos e virtuais, onde a ontologia semântica da W3C é apresentada, com capacidade de lidar com sensores móveis. A plataforma OpenIoT é um middleware que permite a coleta de dados de qualquer sensor, com uma programação mínima, graças a disponibilização de ferramentas visuais facilitando o desenvolvimento.

Em Zafeiropoulos *et al.*, 2008, o desenvolvimento de uma aplicação em 3 camadas pretende ajudar desenvolvedores e usuários finais aproveitar todas as facilidades que RSSF fornecem. Foca principalmente nas questões de agregação, enriquecimento e gerenciamento de dados através de técnicas de web semântica, propondo uma arquitetura aberta baseada em padrões.

A proposta de implementação de um middleware para IoT baseado em ontologia e lógica fuzzy é o foco do trabalho de (Rocha, da *et al.*, 2009), propondo um controle semântico - consciente baseado em nodos vizinhos. Podendo ser utilizado em monitoramento de estruturas de petróleo, ambiental, saúde e detecção de incêndios. Ou seja, possui flexibilidade e pode ser aplicada em vários domínios IoT e RSSF.

O conceito de ambientes inteligentes (AmI) é abordado no projeto HYDRA (Eisenhauer, Rosengren e Antolin, 2010), um middleware para desenvolvimento de aplicativos baseados em dispositivos sem fio e sensores. Baseado em uma combinação de Arquitetura Orientada a Serviços (SoA) e Arquitetura Orientada a Modelos (DMA), a proposta é possibilitar o desenvolvimento de serviços IoT e RSSF baseados em padrões aberto.

A arquitetura SWASN (*Semantic Web Architecture for Sensor Networks*), orientada a informação, busca a compreensão e processamento de dados de forma significativa por uma grande variedade de aplicações (Huang e Javed, 2008). Com a ajuda de ontologias para dados de sensores e uma API que busca a inferência em dados de sensores. O cenário aplicado foi em um sistema de incêndio em edifícios, onde foi possível comprovar que a aplicação de tecnologias de web semântica conseguiu fornecer informações de qualidade.

A aplicação u-Greenhouse (Hwang e Yoe, 2011) foca em um contexto de monitoramento de estufas agrícolas. Sendo que o monitoramento de um grande número de variáveis do ambiente se torna necessárias, como umidade, temperatura, luminosidade, emissão de CO₂, umidade e temperatura do solo. Circuitos fechado de TV (CFTV) foram instalados e coletavam dados complementares para a aplicação de prevenção de possíveis problemas como roubos e incêndios. Este sistema é composto basicamente de 3 camadas, sendo uma camada responsável pela coleta de dados (Sensores e CFTV), uma camada de processamento de dados e transmissão, através dos gateways, e uma terceira camada responsável pela interface do sistema. O sistema foi capaz de detecção de eventos simples e disparar gatilhos para tomada de decisão de forma eficiente.

Uma proposta de arquitetura híbrida é feita também em (Lee, Park e Oh, 2010), dividida basicamente em duas partes: uma no sensor que ficaria responsável por questões de eficiência

energética, ligada diretamente ao consumo dos nodos. A outra parte da arquitetura é implementada no sensor, que é capaz de detectar ocorrências de eventos em uma RSSF. A fusão de dados no lado dos sensores se mostrou limitada, focando somente nos dados incompletos e falsos valores.

Outra proposta de usar uma arquitetura híbrida para a fusão de dados é a plataforma HARMONI (Mohomed *et al.*, 2008), na qual a plataforma desenvolvida é voltada para o monitoramento de paciente. A arquitetura basicamente se resume aos sensores conectados a um paciente, o qual envia os dados a um servidor, através de *tablet*. Os sensores coletam os dados e enviam ao *tablet*. A aplicação configurada no *tablet* analisa os dados coletados pelos sensores e de acordo com os especificados pela aplicação para aquele determinado paciente, é realizado o envio dos dados para armazenamento e processamento no servidor.

UbiRoad (Terziyan, Kaykova e Zhovtobryukh, 2010) é a proposta de um middleware que usa semântica e agentes tecnológicos com foco em estradas inteligentes e controle de tráfego, impondo os desafios de interoperabilidade, coordenação flexível, auto gerenciamento e confiança e reputação. O reconhecimento de contexto neste tipo de ambiente foi imposto como uma condição secundária. Com o uso de ontologias de dispositivos, contexto, data e domínio conseguem-se, por exemplo, o reconhecimento de diferentes dispositivos em uma rede de sensores e o usado para identificar o tipo de tráfego que ocorre em uma determinada estrada.

Em *SensorMashup* (Le-Phuoc e Hauswirth, 2009), propõe-se o conceito de combinação de dados adquiridos de sensores, que são enviados a uma camada superior, onde ocorre vários processos de fusão de dados. Nesta camada superior, foram configurados filtros de dados, em um modelo de reconhecimento semântico RDF (*Resource Description Framework*). Cada sensor individualmente é um componente da RSSF. A combinação destes componentes define o sistema de detecção. Sistemas de sensores e operação de fusão podem ser combinados para desenvolvimento de complexos fluxos de trabalho. Este middleware trabalha com o Ajax como interface gráfica para o desenvolvimento destes fluxos.

A proposta de um sistema de processamento de dados chamado SASE (Gyllstrom *et al.*, 2006), onde o foco é sensores RFIID, utiliza o SQL para suporte às consultas dos usuários. O sistema é capaz de identificar eventos como roubo em lojas e perda de objetos. O usuário deve definir a consulta sintaticamente e o sistema processa esta consulta obtendo dados da loja. A filtragem no processo de fusão de dados detecta algumas anomalias como duplicação de mensagens e suavização temporal.

Na Tabela 1 a seguir, busca classificar os trabalhos citados acima conforme a proposta de (Wang *et al.*, 2015) e as características de cada trabalho. Por último, as características do trabalho proposto aqui utilizando o processo de sumarização com parâmetros fornecidos pela aplicação, denominado Sumarização de Dados no Nodo por Parâmetros.

Tabela 1: Taxonomia de Aplicações em IoT e RSSF segundo Wang

Trabalhos Analisados	Tipo de Arquitetura (M=Middleware; A=Aplicação)	Reconhecimento de Contexto (./= Possui; X=Não Possui)	Interação Semântica (A=Alta; M= Média; B=Baixa)	Configuração Dinâmica (A=Alta; M= Média; B=Baixa)	Complexidade de Fusão (A=Alta; M= Média; B=Baixa)	Gerenciamento de atuação (./= Possui; X=Não Possui)	Tipo do Processamento (D=Descent; C=Centr)	Portabilidade entre domínios	Implantação (./= Possui; X=Não Possui)	Avaliação de Desempenho (./= Possui; X=Não Possui)
Soldatos et al., 2015	M	./	A	A	A	./	D	Várias	./	./
Zafeiropoulos et al., 2008	M	X	A	B	M	X	C	1	./	./
Rocha, da et al., 2009	M	./	M	B	M	X	D	1	./	X
Eisenhauer, Rosengren et al., 2010	M	./	A	M	A	X	C	2	./	X
Huang e Javed, 2008	M	./	A	M	M	X	C	1	./	X
Hwang e Yoe, 2011	M	./	B	M	B	./	D	1	./	./
Lee, Park e Oh, 2010	M	X	B	X	B	X	D	1	./	./
Mohomed et al., 2008	A	./	B	M	A	./	D	1	./	./
Terziyan, Kaykova e Zhovtobryukh, 2010	M	X	B	B	M	B	C	1	./	./
Le-Phuoc e Hauswirth, 2009	A	X	A	B	A	X	C	1	./	X
Gyllstrom et al., 2006	A	X	X	X	M	X	C	1	./	X
Sumarização de Dados no Nodo por Parâmetros (SDNP)	A	./	X	M	M	M	D	1	./	X

A proposta deste trabalho, Sumarização de Dados por Parâmetros (SDNP) em ambientes IoT, é apresentar métodos de sumarização dos dados no nodo, onde realize a sumarização de acordo com a parametrização fornecida pela aplicação,). Esperando que a fusão de dados no nodo ocorra de forma consistente, garantindo a qualidade dos dados

gerados, diminuindo o volume de dados gerados. Assim consequentemente, através da diminuição do número de mensagens enviadas pelo nó à base de dados.

Na taxonomia de Wang, a proposta do Algoritmo SDNP se localiza como uma aplicação, pois embora seja um algoritmo, necessita de uma aplicação para que ocorra a sumarização. Possui um reconhecimento de contexto, onde alterações no ambiente são detectadas através dos parâmetros mínimos e máximos, os quais são utilizados também para verificar alterações menores entre as leituras. A proposta SDNP não possui interação semântica, assim também como não foi realizada uma análise de desempenho comparado às outras propostas. A configuração é dinâmica na maneira que o nó realiza as leituras dos novos parâmetros, sendo classificada aqui como Média. A sumarização dos dados é considerada uma forma de fusão de dados de baixa complexidade, mas a possibilidade de alterar a sumarização e identificar possíveis variações significativas no processo, neste trabalho pode ser considerada como média. Esta proposta possui uma característica de gerenciamento de atuação média, onde caso valores não tolerados em relação aos parâmetros mínimos e máximos ocorram, o processo de atuação dependerá do que a aplicação e/ou sensor estará programado a fazer. A proposta, embora possua um conceito simples, somente é possível de ser utilizado em ambientes onde os valores suportem valores numéricos, não podendo ser aplicado em ambientes de sensoriamento que utilizem imagens e sons, por exemplo, como métodos de monitoramento. Finalmente, o algoritmo deste trabalho foi configurado em um protótipo para análise da sua viabilidade.

3.4 Estudo de Caso Para Base do Projeto

A proposta deste trabalho foi baseada no artigo onde é apresentada a plataforma HARMONI (*Healthcare-oriented Adaptive Remote Monitoring*) (Mohomed *et al.*, 2008), desenvolvido mais especificamente para o suporte à saúde. A principal ideia é a utilização de valores padrões no monitoramento de paciente para garantir que os dados coletados sejam transmitidos somente quando estão fora dos padrões. O exemplo demonstrado nos testes foi principalmente o ritmo cardíaco, e a proposta principal é o envio de dados somente quando estes valores se encontrem fora da faixa padrão específico de cada paciente.

O protótipo desenvolvido por Mohomed (Mohomed *et al.*, 2008) é composto de 3 camadas. A primeira é a parte do sensoriamento do paciente, utilizando sensores corporais que no caso de testes verificavam o ritmo do batimento cardíaco dos pacientes e que faziam a composição da Rede de Área Corporal, ou BAN (*Body Area Network*) (Chen *et al.*, 2010). A

segunda camada utiliza-se de uma aplicação na qual os dados dos sensores são recebidos em um *tablet* e retransmitidos a um servidor. A terceira camada é composta pela aplicação onde os dados são armazenados e os padrões de cada usuário são definidos pelo profissional de saúde responsável.

O processo utiliza dois protocolos de comunicação, sendo a comunicação entre os sensores e o *tablet* realizado pelo protocolo de comunicação Bluetooth 1.2, baseado no protocolo IEEE 802.15.1, e a comunicação entre o *tablet* e o servidor da aplicação realizado com o protocolo IEEE 802.11 b/g. Muitas propostas de monitoramento aplicam o processo de contexto variável, onde os sensores já conhecem os valores padrões de uma determinada grandeza em um determinado ambiente. O envio somente é realizado quando os valores estão abaixo dessa faixa de valores.

Na Figura 3 observar-se o funcionamento esquemático proposto na plataforma HARMONI e o desenvolvimento em suas 3 camadas, sendo; (i) a camada *Sensores* onde ocorre a leitura dos dados a serem monitorados no paciente através dos sensores escolhidos para a finalidade desejada; (ii) os dados são transmitidos para a próxima camada, onde o *tablet* que possui a aplicação de análise dos valores se encontra; (iii) os valores lidos dos sensores são analisados e transmitidos para a camada do servidor de aplicação que processa os dados e armazena os mesmos no banco de dados da aplicação. Os dados analisados criam regras de monitoramento que são transmitidas para o *tablet* e colocadas como parâmetros para as próximas análises, realizando o gerenciamento destas regras através de uma interface própria ao usuário.

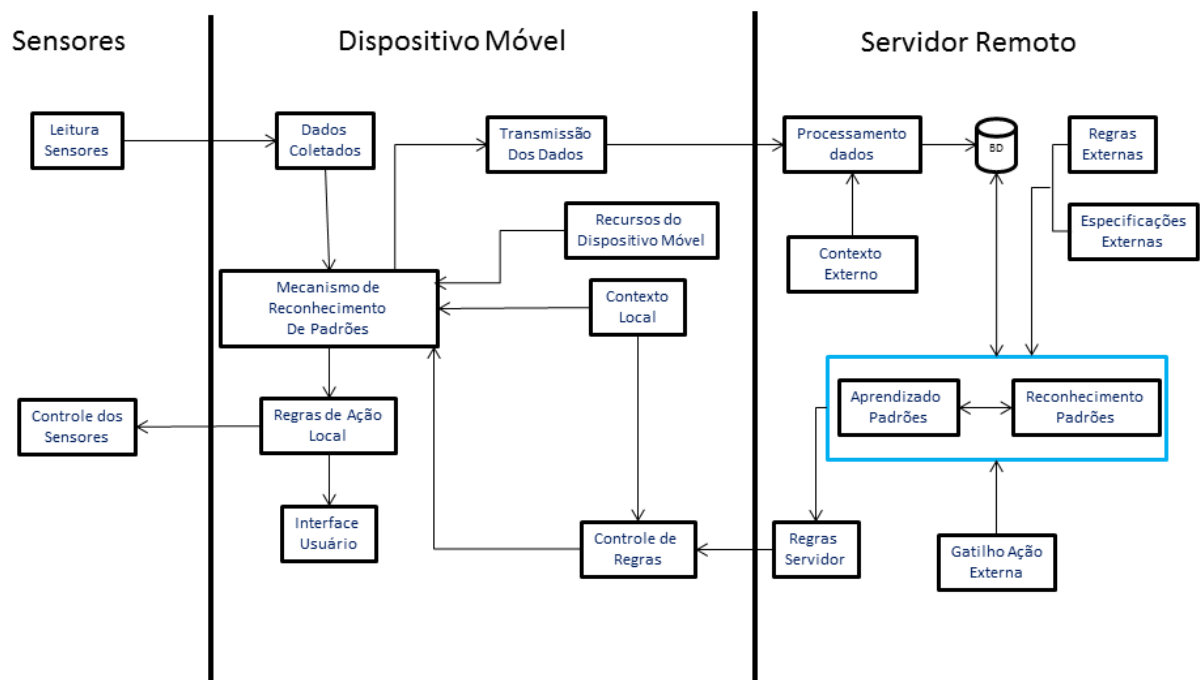


Figura 3: Modelo Harmoni Baseado em: Mohomed et al., 2008

É importante salientar que, no trabalho apresentado na Figura 3, o retângulo em azul representa mecanismos de aprendizagem e reconhecimento de padrões, mas foram deixadas para serem configuradas futuramente. Os testes foram realizados baseados em análises de 4 voluntários que tiveram suas atividades monitoradas por um determinado período de tempo e inserida na plataforma de forma manual.

A proposta do modelo HARMONI é a utilização de uma filtragem do contexto consciente, onde os dados e valores dentro dos padrões desejados para aquele paciente não são transmitidos. A transmissão ocorre somente com valores fora desta faixa, como por exemplo, arritmias cardíacas ou valores de oximêtria de pulso, que mede a transferência de oxigênio pelo sangue.

As variáveis em que o paciente está submetido são analisadas pelo servidor da aplicação e são repassadas ao *tablet* onde a aplicação coordena os sensores e envia os dados conforme essa condição. Estas condições podem ser alteradas se as condições do paciente mudarem como, por exemplo, uma mudança de atividade física ou um medicamento em específico aplicado para sanar alguma necessidade do paciente e que pode influenciar sua condição.

Os estudos mostraram que a redução do volume de dados utilizando esta técnica atingiu, em alguns casos, uma redução de 72% do volume de dados armazenados em ambientes com contexto consciente. Embora seja um protótipo, os testes iniciais se mostraram muito

promissores. As principais características do projeto HARMONI são a transmissão dos dados somente quando os valores estão fora dos padrões estipulados e uma aplicação voltada para o suporte a saúde. Para o monitoramento de uso de ambientes, onde variáveis que permeiam o seu uso se alteram de forma mais constantes e a necessidade de identificação dessas mudanças se tornam necessárias, um sistema baseado somente em análises de valores fora dos padrões não se aplicam, podendo assim gerar alguma perda da qualidade dos dados gravados.

Diante destes problemas, foi elaborado o presente trabalho, onde foi realizada a busca por maneiras de redução do volume de dados e o desenvolvimento de um algoritmo que realizasse a sumarização dos dados, garantindo a qualidade dos dados. Nos Capítulos 4 e 5, a seguir, será especificado como o projeto foi elaborado e os resultados dos testes realizados.

4 O ALGORITMO SDNP

Neste capítulo será descrito o ambiente no qual o trabalho foi elaborado, com suas características e limitações impostas e o funcionamento dos algoritmos propostos para que a aplicação conseguisse atingir os objetivos estipulados.

A proposta da arquitetura utilizada é um ambiente onde os dados serão armazenados em um ambiente de computação em nuvem, onde a possibilidade de utilização seja que o nodo, com conexão padrão Ethernet, possa de alguma forma se conectar a Internet, ou a uma base de dados, e acessar o servidor para a gravação dos dados.

4.1 Aplicação

A aplicação é composta por um algoritmo que realiza uma consulta em uma base de dados e esta retorna os parâmetros que devem ser analisados. A base de dados, que neste caso está armazenada na nuvem, fornece estes parâmetros, recebendo posteriormente os dados coletados e sumarizados pelo nodo, realizando processos que ajustam alguns parâmetros a serem reenviados ao nodo a cada nova consulta, aqui denominado Sumarização de Dados no Nodo por Parâmetros (SDNP).

A escolha de um sistema híbrido, onde a grande maioria da fusão de dados ocorre no nodo, mas as informações e parâmetros para que esta fusão ocorra é fornecida pela aplicação, busca uma melhor qualidade e confiabilidade dos dados enviados e gravados. Isso ocorre porque esses dados são baseados em parâmetros extraídos de dados armazenados no servidor da aplicação, o que não é possível ocorrer nos nodos, devido a sua pouca capacidade de armazenamento.

Como exemplo, considere o caso dos valores mínimos e máximos, onde os valores iniciais são especificados empiricamente na aplicação por algum usuário que possui o conhecimento e/ou interesse nestes valores. Posteriormente, conforme os valores são inseridos, serão extraídos os valores mínimos e máximos obtidos em pesquisas na base de dados com os valores reais lidos pelos sensores, como a temperatura mínima do último mês ou do mesmo mês dos anos anteriores. Os valores de parâmetro poderão começar a serem baseados em dados que serão armazenados na própria aplicação.

Outra característica de uma solução híbrida é caso algum parâmetro necessite ou queira ser trocado, como o tempo e/ou o tipo de sumarização. Por exemplo, caso um determinado sensor esteja obtendo a média de luminosidade de uma determinada sala de aula em períodos

de 5 minutos, mas foi detectada a necessidade de, ao invés da média, seja necessário o maior valor da luminosidade em um período de um minuto. Esta alteração pode ocorrer somente na aplicação, que após ser lida pelo nodo no momento da gravação, ou quando reiniciado, passará a fornecer as informações conforme o especificado.

Na Figura 4 observar-se o funcionamento da aplicação SDNP como um todo, dividido em duas partes, sendo a primeira parte (esquerda) a Aplicação, onde estes valores sumarizados são armazenados em uma base de dados para posterior análise. Nesta parte, os parâmetros externos são carregados na aplicação, envolvendo os limites mínimos e máximos dos valores a serem lidos, o tipo de sumarização e o tempo de sumarização inicial. A segunda parte do processo é onde ocorre a leitura dos dados dos sensores no nodo (direita). É aqui que também acontece a sumarização dos dados coletados dos sensores conforme os parâmetros fornecidos pela Aplicação. Posteriormente é feita a devida verificação da necessidade de gravação dos dados ou não pela técnica de análise conhecida como Bandas de Bollinger.

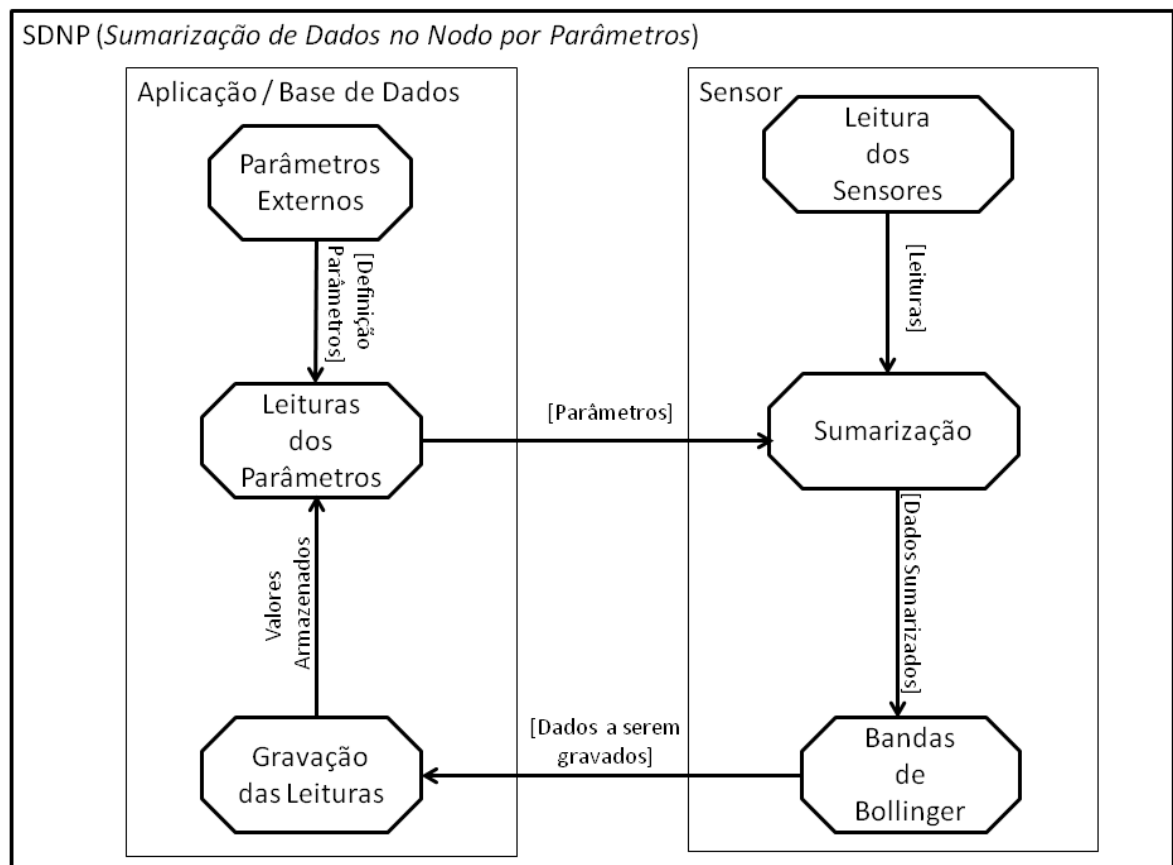


Figura 4: Diagrama da Aplicação Sumarização de Dados no Nodo por Parâmetros (SDNP)

4.2 Algoritmo

O funcionamento do algoritmo no nodo faz a consulta a uma base de dados, buscando o período de coleta, o tipo de sumarização que foi definida na aplicação (média, mínimo, máximo, total, etc.), e valores mínimos e máximos permitidos, conforme observado na Figura 5(a). Estes valores mínimos e máximos permitem que caso as leituras que não estejam dentro de um padrão estipulado na aplicação, os valores sejam enviados diretamente para o servidor onde os dados estarão sendo armazenados, sem realizar o processo de sumarização. Este processo é utilizado como forma de identificar possíveis alterações no ambiente que prejudiquem de alguma forma os elementos envolvidos, como mostrado na Figura 5(b).

O nodo também faz uma comparação, entre uma leitura e outra do sensor. Caso a diferença de valores entre essas leituras extrapole uma determinada faixa, os valores também são gravados para que a aplicação identifique alterações importantes dentro de pequenos períodos de tempo. O procedimento para identificar estas variações é simples, onde a diferença entre o valor mínimo e máximo é obtido e deste valor é verificado uma porcentagem de 10% de diferença. Esta porcentagem de 10% foi definida de forma empírica para este trabalho. Caso a diferença de leituras entre o valor anterior e o valor atual seja superior a esta porcentagem, o nodo envia os dados para serem gravados. Por exemplo, caso um nodo leia da aplicação os valores mínimos e máximos entre 22° C e 32° C (graus Celsius), e ocorra uma diferença da última leitura do sensor e a anterior e a anterior a esta superior ou inferior a 1° grau Celsius, o nodo envia a leitura para o servidor para ser armazenada e a aplicação executa os procedimentos estipulados para a tomada de decisão.

Em caso de leituras normais, dentro dos parâmetros estipulados pela aplicação, o nodo quando atinge o tempo máximo estipulado na aplicação, verifica o tipo de sumarização que é exigida para este nodo, como mostrado na Figura 5 (c), gerando assim um valor sumarizado. Este valor é enviado à função que analisa a necessidade de gravação, aqui neste trabalho utilizando as Bandas de Bollinger, Figura 5(d), verificando a necessidade ou não da gravação. No caso em que os valores extrapolem as bandas ou o tempo máximo estipulado na aplicação, os valores são gravados na base de dados, Figura 5(e). Caso contrário, esses valores são descartados e um novo processo de coleta de parâmetros e sumarização dos dados é iniciado.

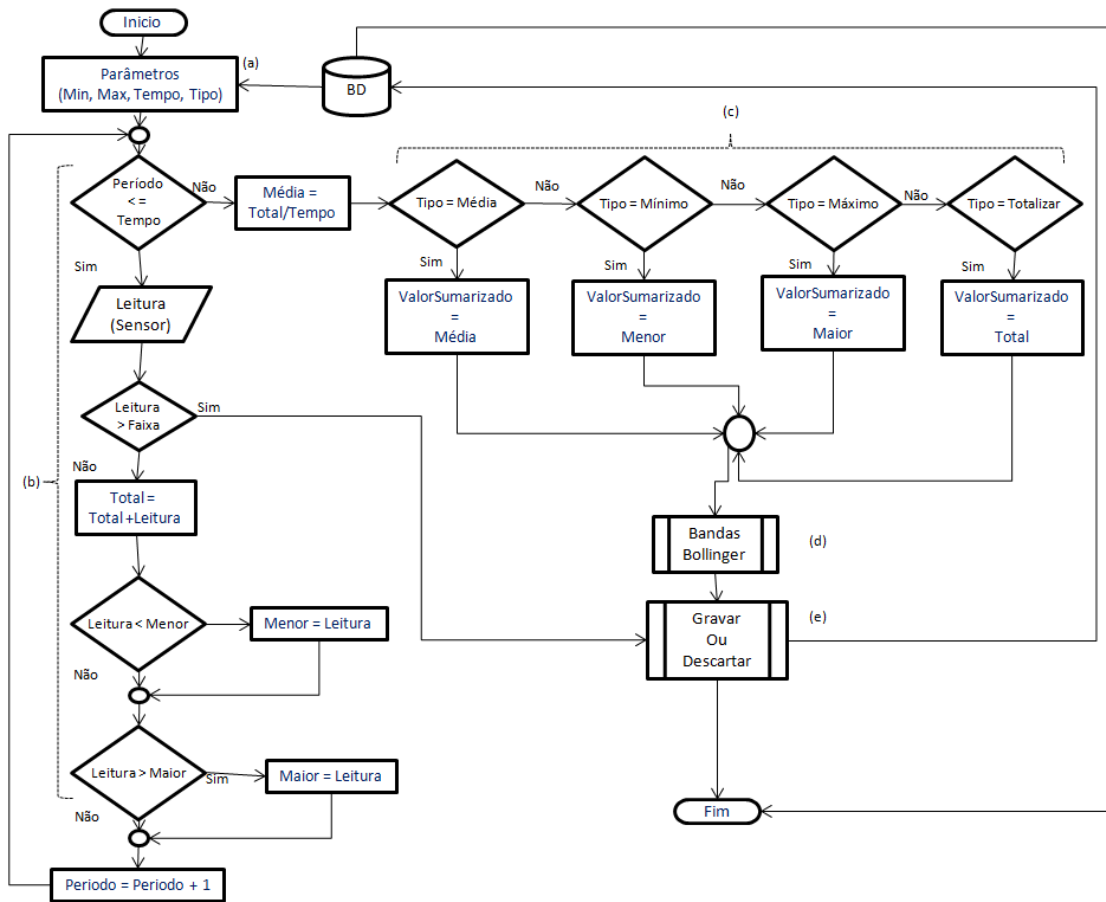


Figura 5: Fluxograma do Algoritmo de Sumarização de Dados no Nodo por Parâmetros

4.2.1 Bandas de Bollinger

Bandas de Bollinger, ou análise de Bollinger, é o conceito utilizado para análise de flutuação de valores dentro de uma determinada faixa, dependente diretamente da Média Móvel Aritmética (Lento, Gradojevic e Wright, 2007). A Média Móvel Aritmética (MMA) é a atualização constante de valores que formam uma determinada média. Esta atualização consiste em uma quantidade de elementos fixos, ou vetor, que alimenta a média. Conforme novos valores são inseridos no vetor, os valores mais antigos são descartados, mantendo a quantidade de elementos do vetor sempre o mesmo, mas os valores atualizados. Esta técnica recebe este nome devido ao seu criador, John Bollinger, na década de 1980, utilizado constantemente para a análise do mercado de ação do mundo todo (Lento, Gradojevic e Wright, 2007). Outras áreas, como a ciência da computação, também o utiliza para cálculo de desvios e análise de tolerância. (Butler e Kazakov, 2010).

As bandas de Bollinger se utilizam da média móvel do vetor para cálculo de uma faixa de variação tolerável, tanto para cima como para baixo da média. Estes valores acima da média e abaixo são conhecidos como Bandas de Bollinger. Para chegar nesta faixa de valores, primeiro é necessário o cálculo da média, e posteriormente o desvio padrão desta média em relação aos elementos do vetor. Tendo o valor do desvio padrão calculado, soma-se a MMA mais duas vezes o desvio padrão para o cálculo da borda superior. Para a banda inferior, diminuimos do valor da MMA o valor de duas vezes o valor do desvio padrão.

No algoritmo desenvolvido, conforme exemplificado na Figura 5, no nodo é utilizada a técnica das bandas de Bollinger para analisar se os valores sumarizados devem ser gravados na base de dados ou não. Os n últimos valores sumarizados são armazenados em um vetor na função que calcula a média móvel e as bandas de Bollinger, apresentado na Figura 6. A cada ciclo de sumarização, o algoritmo envia o valor sumarizado a esta função, onde é realizado o cálculo da média móvel e identificado sua banda superior e inferior, assim definidas como bandas de Bollinger. Caso o valor sumarizado esteja dentro das bandas, retorna a função principal o comando para não gravação do valor na base de dados. Caso contrário, o valor extrapola as bandas e o comando enviado para que o valor seja gravado. Após o cálculo realizado, o vetor é atualizado, descartando o valor mais antigo, reorganizando o índice do vetor de acordo com as entradas, e o novo valor é inserido no vetor, trabalhando como uma fila.

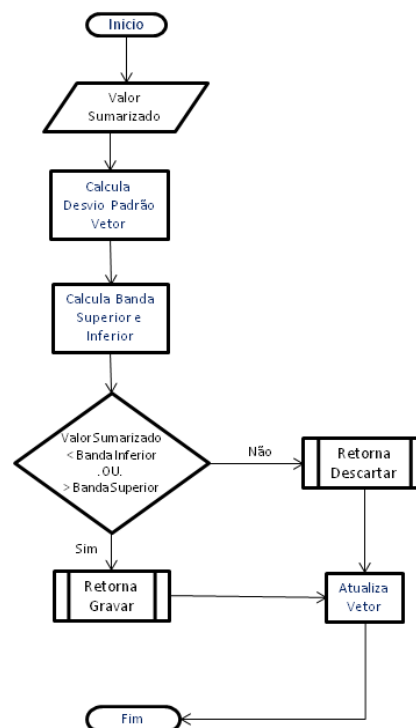


Figura 6: Bandas de Bollinger no Algoritmo de Sumarização

4.2.2 Base de Dados (Aplicação)

A aplicação possui uma base de dados onde existe um cadastro dos nodos, que leva o nome do nodo, o tipo de grandeza monitorada pelo nodo, e uma localização. Possui também o módulo de cadastro de tipo de sumarização, a qual é consultada pelo nodo no momento que este é inicializado ou reiniciado, o tempo inicial de intervalo entre o envio das mensagens com os dados a serem armazenados, além dos valores iniciais e finais. Exemplificado no fluxograma da Figura 7, os valores gravados pelos nodos são analisados, e caso esses valores não se alterem, os tempos de envio dos dados são aumentados até o tempo máximo estipulado na aplicação. Caso estes valores sofram uma variação de uma leitura para a outra, o tempo é mantido, e caso os valores se alterem dentro de 3 leituras diferentes, o tempo de envio de dados é reduzido até o tempo mínimo estipulado.

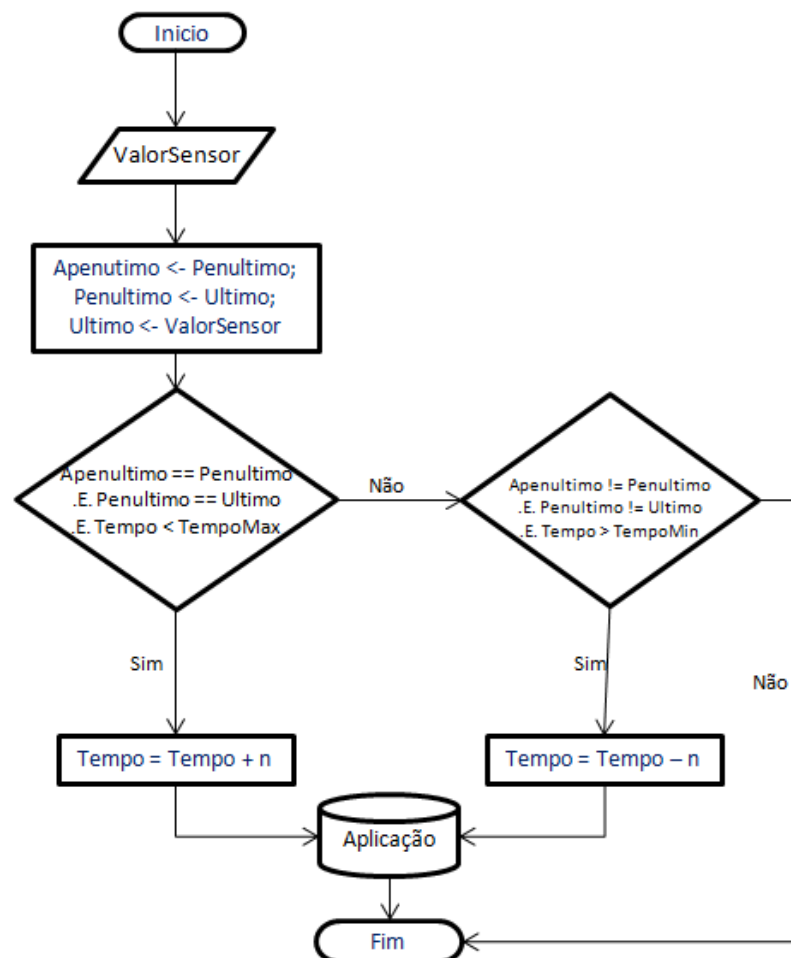


Figura 7. Atualização de Tempo de Sumarização na Base de Dados

Outro algoritmo na base de dados verifica, em um determinado período de tempo, os valores máximos e mínimos dos sensores durante uma faixa de tempo estipulada também empiricamente. Os valores máximos e mínimos encontrados dentro desta faixa de tempo, através das leituras realizadas pelo próprio sensor e armazenadas na base de dados, são utilizados como parâmetros que os sensores analisam para o envio de dados, desde que estes valores não se sobreponham aos valores especificados como mínimos e máximos dentro da aplicação. Por exemplo, caso o valor mínimo das leituras registradas nos últimos 7 dias seja maior que o valor mínimo estipulado na aplicação, o valor mínimo é alterado conforme o padrão lido neste período de tempo, que no caso é 7 dias. O mesmo ocorre para o valor máximo.

Toda a proposta SDNP basicamente é composto por 3 algoritmos. O primeiro é configurado no nodo e responsável pela leitura dos parâmetros da base de dados, realizando então a sumarização segundo esses parâmetros. O segundo algoritmo, também configurado no nodo, utiliza-se da técnica das Bandas de Bollinger para realizar a gravação dos dados coletados pelos sensores e sumarizados. Finalmente, o terceiro algoritmo, configurado na base de dados, realiza a atualização dos parâmetros na base de dados para que o tempo de sumarização dos dados seja mantido, incrementado ou decrementado. No próximo capítulo serão discutidos os resultados obtidos pela proposta deste trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão discutidos os resultados dos experimentos, realizando um comparativo entre os valores sumarizados e os gravados de forma sequencial. Com isso, pretende-se demonstrar a possibilidade do uso da proposta de forma a reduzir o volume de registros armazenados.

5.1 Ambiente Experimental

A necessidade de monitoramento do uso de um ambiente dinâmico e coletivo, com entrada e saída constante de pessoas, como o exemplo de salas de aula e laboratórios de ensino, é importante para um bom controle da utilização destes locais. O controle racional de recursos envolvidos para o seu bom funcionamento, como o consumo de energia elétrica e dos equipamentos instalados, se faz necessário para evitar os desperdícios gerados pela má utilização destes locais.

O ambiente no qual a análise experimental foi conduzida é o Campus Catanduva do Instituto Federal de São Paulo (IFSP), composto de salas de aula e laboratórios de informática, química e de engenharia, referentes aos cursos disponibilizados por este campus. Em ambientes onde o uso é dinâmico, como em sala de aulas e laboratórios, o controle de acesso simplesmente pode dificultar o acesso do aluno e professores, criando empecilhos para o processo de aprendizagem, onde outra forma de análise do uso destes ambientes se faz necessário.

A possibilidade de leitura de variáveis de ambiente como luminosidade, temperatura, umidade e consumo de energia elétrica, através de sensores relativamente simples de serem adquiridos no mercado, pode ser uma opção para o monitoramento destes ambientes. O baixo custo pode facilitar a implantação de sistemas que consigam de alguma forma monitorar o uso de ambientes e tomar ações, direta ou indiretamente, com o objetivo de reduzir o consumo de energia, por exemplo.

5.2 Equipamentos Utilizados e o Ambiente Monitorado

Existe uma gama expressiva de equipamentos e propostas de utilização de ambientes de computação em nuvem (*cloud computing*) para a implementação do conceito de IoT, sendo monitoramento ambiental, militar, suporte à saúde, industrial e agrícola os mais pesquisados (Atzori, Iera e Morabito, 2010). O conceito basicamente consiste na análise e monitoramento de um ambiente ou objeto e armazenamento dos dados em um servidor o qual possa ser acessado por dispositivos conectados na internet como computadores, *smartphones*, *tablets*, etc.

Para este protótipo, foi realizado o monitoramento de variáveis de ambiente em 2 laboratórios do Instituto Federal de São Paulo, campus de Catanduva, sendo um laboratório de informática, denominado Laboratório de Redes de Computadores, composto de 8 computadores e equipamentos para ensino de disciplinas ligadas à área de redes de computadores, e um Laboratório de Informática, denominado Laboratório de Software, composto de 21 computadores, voltado ao ensino e desenvolvimento de software e aplicativos em geral.

A proposta de cenário é a utilização de leituras de variáveis de ambiente, como sensores de luz, temperatura, umidade, entre outros, para verificar o uso dos laboratórios de forma constante. Estes dados foram armazenados em uma máquina virtual na plataforma Azure da Microsoft, para análise dos dados coletados e comparativos com a proposta de uso do algoritmo de sumarização.

Os módulos utilizados são em sua maioria nodos NodeMCU 1.0 (“NodeMCU”, 2014), com conexão Ethernet 802.11 a/b/g Chip ESP8266 p12. Cada nodo é composto por um módulo NodeMCU com um sensor que foi instalado nos laboratórios especificados anteriormente, de forma a serem monitorados para uma boa análise do ambiente. O processo de fusão de dados, neste caso conhecido como sumarização, ocorrerá quando o nodo executa uma consulta à aplicação, e a qual fornecerá o tipo de sumarização (média, mínimo, máximo, total, etc...) e o tempo de sumarização. O nodo, com o conhecimento da necessidade da aplicação, irá realizar o processo de sumarização e retornar o valor à aplicação.

O processo de sumarização necessita de valores numéricos para ser realizado, como por exemplo, a média de uma faixa de valores, o maior e menor valor, ou o totalizador de uma

determinada variável. Estes nodos possuem um custo significativo baixo em comparação com outros tipos de nodos que realizam o monitoramento de ambiente, como câmeras de vídeo, e são de fácil aquisição e instalação, inclusive com módulos e nodos já configurados para serem usados.

5.3 Coletas dos Dados

A coleta dos resultados foi realizada configurando dois nodos sensores com as mesmas características, sendo que um nodo sensor foi programado para a coleta e envio de dados a cada 10 segundos da variável do ambiente lida. Estes dados, nas figuras a seguir, receberam o nome de *Gravações Sequenciais*. Em paralelo, um nodo sensor foi configurado de acordo com o proposto neste trabalho, realizando o processo de sumarização de dados, conforme os valores estabelecidos pela aplicação. Nos gráficos a seguir, receberam o nome de *Gravações SDNP*.

O primeiro conjunto de nodo foi configurado com dois nodos sensores compostos de uma plataforma NodeMCU com um sensor de temperatura e umidade DHT11, recebendo os dados em uma porta digital. Estes nodos foram alocados lado a lado em um dos laboratórios de ensino do IFSP, campus de Catanduva, conhecido como Laboratório de Redes. Vale salientar que este ambiente possui vários servidores de aplicação, onde estão configuradas algumas ferramentas de trabalho para ensino e pesquisa na área de redes, necessitando assim possuir uma temperatura controlada para que os equipamentos e servidores que suportam estas aplicações não sofram superaquecimento. Ficou estipulado que as temperaturas deveriam variar entre 18°C e 28°C. Outro conjunto de nodos configurado foi também dois nodos composto de uma plataforma NodeMCU e um sensor de luminosidade LDR, recebendo os valores em uma porta analógica.

Na Tabela 2, é visualizado a configuração de cada ambiente monitorado, sendo um o Laboratório de Redes e o outro a Sala de aula, o tipo de plataforma utilizada, e o sensor que foi utilizado para as medições do ambiente.

Tabela 2: Tabela de Nodos Alocados nos ambientes monitorados

Local	Nodo com envio Sequencial		Nodo Com SDNP	
	Plataforma	Sensor	Plataforma	Sensor
Laboratorio de Redes	NodeMCU	DHT11	NodeMCU	DHT11
Sala de Aula (Software)	NodeMCU	LDR	NodeMCU	LDR

5.4 Sensores de Temperatura

É analisada primeiramente a coleta dos nodos configurados com o sensor de temperatura e umidade DHT11, alocado no laboratório de redes, como se observa na Figura 8 a seguir. O eixo x das figuras mostra um período de 7 dias.

Inicialmente é analisado a quantidade de registros gravada em cada nodo, um de forma sequencial, identificado na Figura 8 como *Gravações Sequenciais*, e outro com os valores sumarizados, identificado como *Gravações SDNP*, em um período de 7 dias. O nodo realizando as gravações de forma sequencial contabilizou ao todo 50808 gravações, o que em valores médios representam 302 gravações por hora. O nodo realizando as gravações de forma sumarizada, conforme parâmetros fornecidos pela aplicação, contabilizou ao todo neste mesmo período de 7 dias, 9902 gravações, realizando uma média de 59 gravações por hora. Percentualmente, a diferença de gravações entre a quantidade de registros gravados de forma sumarizada em relação às gravações de forma sequencial são 80,5% menores.

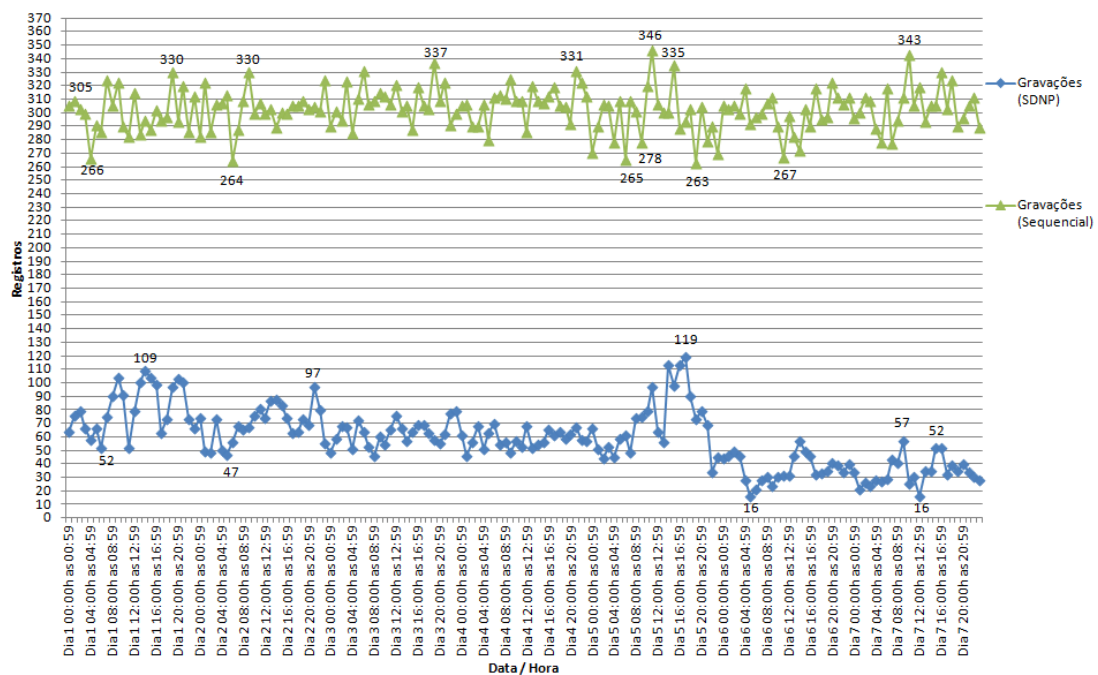


Figura 8: Quantidade de Registros Enviados por Cada Nodo Sensor de Temperatura

Em relação à qualidade dos dados armazenados, como mostra a Figura 9, os valores são muito similares, com diferença de décimos de graus em relação entre os sensores que enviavam os registros de forma sequencial e SDNP.

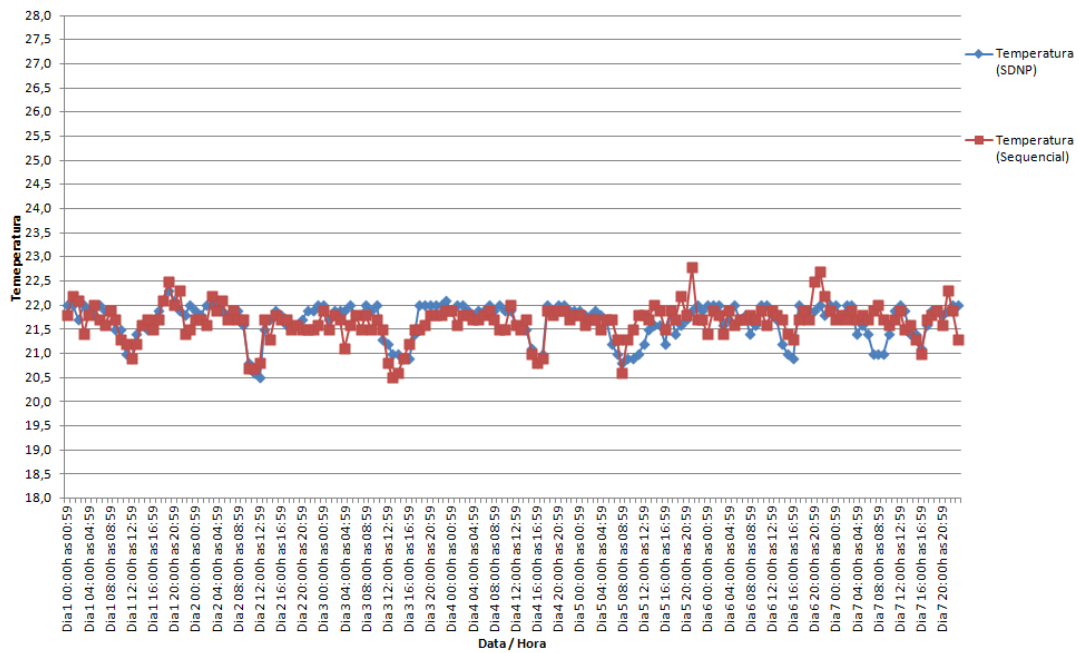


Figura 9: Temperatura Média Gravada pelos Sensores de Forma Sumarizada (SDNP) e Sequencial

5.5 Sensores de Luminosidade

Analizando os valores do conjunto de nodos sensores que mediam a luminosidade de uma sala de aula, apresentado na Figura 10, destaca-se a grande diferença apresentada no número de registros necessários para a obtenção destas informações. Enquanto nas gravações de forma sequencial ocorreram, em média, 358 gravações por hora de forma sequencial, em um período de 7 dias, foram necessárias somente uma média de 8 gravações por hora neste mesmo período para a obtenção dos mesmos valores de forma sumarizada (SDNP). Em termos percentuais, isso corresponde a uma redução no número de registros de 97,77%.

Ao todo, a quantidade de registros gravados por cada sensor, sequencial e SDNP, correspondem a 60148 registros gravados de forma sequencial e 1327 registros gravados de forma sumarizada pelo nodo utilizando o SDNP.

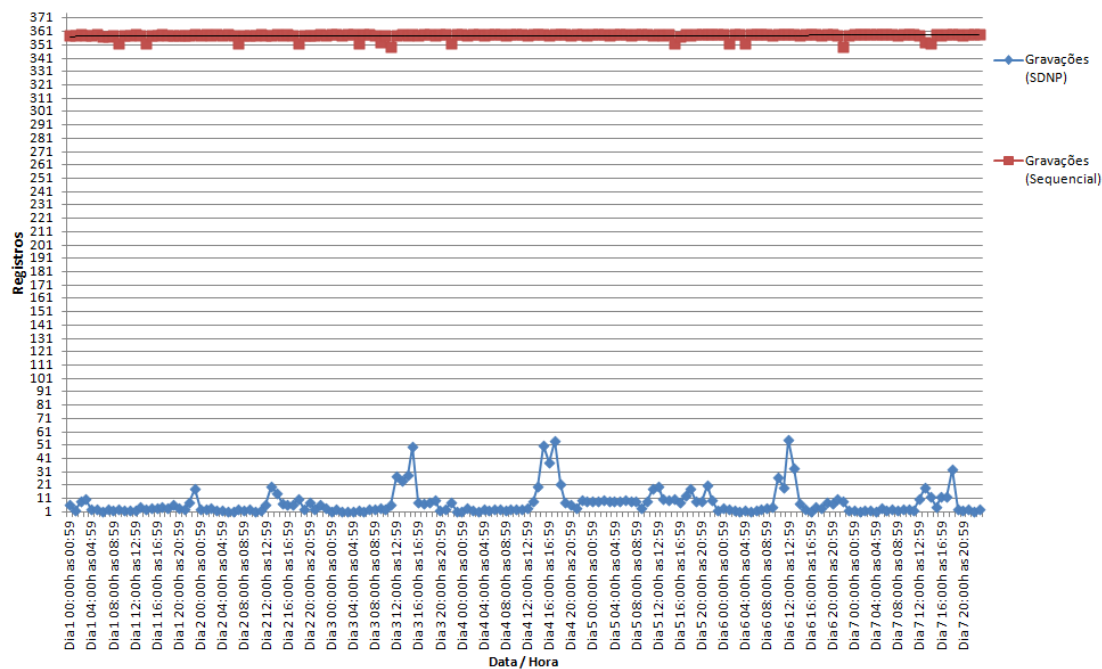


Figura 10: Registros de Luminosidade Gravados de Forma Sumarizada (SDNP) e Sequencial

Em relação à qualidade dos dados, podemos observar na Figura 11 que os valores foram muito próximos entre as medições de forma sequencial e sumarizada, tendo em vista que a faixa de valores medidos por este tipo de sensores é bem ampla, onde o valor 0 (zero) é muito próximo da escuridão total e o valor de 1023 é a luminosidade máxima coletada pelo sensor.

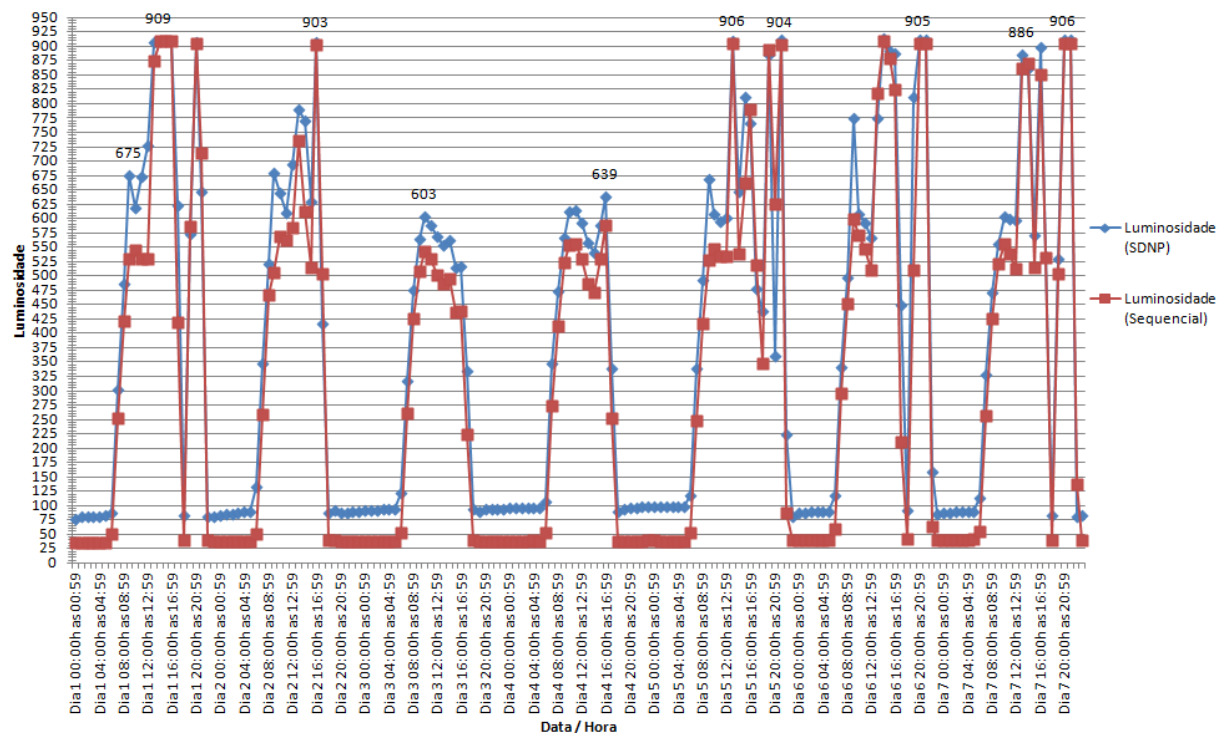


Figura 11: Luminosidade Registrada pelos Nodos de forma Sequencial e Sumarizada (SDNP)

5.6 Comparativo Entre Registros Gravados de Forma Sequencial e Sumarizada pelo Nodo

A Tabela 3 apresenta a quantidade de registros gravados de modo sequencial e sumarizado por dia. Como já mostrado nas figuras anteriores, os sensores de temperatura gravaram somente 19,54% dos registros sumarizados comparado com a forma sequencial. O sensor de luminosidade conseguiu uma taxa muito maior, de somente 2,23% dos registros. Por exemplo, no Dia 1, foram gravados somente 26,95% de registros utilizando o SDNP pelo nodo referente ao sensoramento da temperatura do Laboratório de Redes em relação ao nodo que realizava o sensoramento de forma sequencial, sem nenhuma forma de filtro. Continuando o exemplo, neste mesmo dia, o nodo responsável pelo sensoramento da luminosidade na sala de aula, utilizando o SDNP, realizou somente 1,29% de gravação dos registros em relação ao nodo que realizava as gravações de forma sequencial.

Tabela 3: Relação de Registros Gravados de Forma Sequencial e Sumarizada (SDNP) por Dia e Diferença de Porcentagem

Data	Temperatura			Luminosidade		
	Registros Sumarizados	Registros Sequenciais	% Registros	Registros Sumarizados	Registros Sequenciais	% Registros
Dia 1	1939	7196	26,95%	111	8583	1,29%
Dia 2	1661	7253	22,90%	121	8587	1,41%
Dia 3	1502	7381	20,35%	207	8580	2,41%
Dia 4	1406	7373	19,07%	264	8609	3,07%
Dia 5	1705	7107	23,99%	256	8602	2,98%
Dia 6	876	7198	12,17%	214	8588	2,49%
Dia 7	813	7300	11,14%	139	8599	1,62%
Totais	9902	50808	19,49%	1312	60148	2,18%

Observa-se neste contexto que, embora a redução no volume de dados tenha sido considerável, como mostrado nas Figura 8 e Figura 10 e na Tabela 3, a qualidade dos dados e as mudanças nas variáveis do ambiente monitoradas pelos nós através dos sensores continuaram a refletir o que estava acontecendo no meio ambiente de forma consistente, como pode ser visto nas Figuras Figura 9 e Figura 11. Isso mostra que os processos de sumarização de dados no nodo ainda podem capturar os valores reais do meio ambiente, mas de forma mais econômica, devido à redução no volume de dados, refletindo indiretamente sobre o consumo de energia.

6 CONCLUSÃO

Com o advento do conceito de IoT e posteriormente sua popularização, além da possibilidade de conexão entre bilhões de objetos, ou coisas, na Internet, alguns desafios começaram a surgir. Entre esses desafios podemos citar a dificuldade de se trabalhar com o grande volume de dados gerado por estes objetos diretamente conectados na Internet. A busca por formas de reduzir este volume de dados, desde que garantido a qualidade do dado coletado, é uma constante em trabalhos que buscam respostas para estas questões. Entre as várias propostas para resolver este problema, podemos citar a fusão de dados como a principal técnica aplicada e estudada.

Neste trabalho foi proposta uma forma de usar o processo de sumarização dos dados no próprio nodo sensor, através de parâmetros armazenados na aplicação, conhecido aqui como Sumarização de Dados no Nodo por Parâmetros (SDNP). Os nodos sensores realizam a sumarização dos dados através de valores pré-estabelecidos, possuindo assim, parâmetros para tomadas de decisão. Em auxílio a isso, outra técnica aplicada neste trabalho foi à tomada de decisão no nodo sensor da gravação dos dados através da técnica de Bandas de Bollinger. Os valores, mesmo sumarizados, só são gravados se extrapolarem os valores estipulados na técnica de Bandas de Bollinger e identificados como banda superior e banda inferior.

6.1 Dificuldades Encontradas e Limitações

A principal dificuldade encontrada quando se propõe trabalhar com dispositivos diminutos como os utilizados neste trabalho é a pouca capacidade de armazenamento e memória destes dispositivos se torna um problema a ser observado.

O algoritmo de sumarização dos dados em si mostrou-se razoavelmente simples de ser configurado. Entretanto, a comunicação do nodo com o servidor da aplicação onde ocorria a leitura dos parâmetros encontrou várias dificuldades, necessitando de bibliotecas específicas para que esta leitura ocorresse. Junta-se a isso a necessidade de um algoritmo para a tomada de decisão da necessidade de gravação ou não dos dados sumarizados.

Várias propostas foram cogitadas para esta tomada de decisão, mas com a baixa capacidade de processamento e armazenamento, como dito anteriormente, restringiu a possibilidade de uso de algoritmos mais complexos, como por exemplo, um algoritmo baseado em Rede Neural Artificial. O algoritmo encontrado, baseado nas técnicas de Bandas

de Bollinger, se mostrou eficiente para este trabalho, mas futuramente será interessante os testes com outros algoritmos para a tomada de decisão. O algoritmo de Bandas de Bollinger também possui uma implementação simples, a maior dificuldade foi conseguir ajustar o tamanho do vetor, com o número de valores sumarizados, e assim não afetando o funcionamento do resto do algoritmo configurado no nodo.

As dificuldades encontradas foram solucionadas basicamente com testes e trocas e ajustes de algoritmos e bibliotecas já disponíveis na literatura. Embora cansativa estas buscas e ajustes, o resultado foi satisfatório.

6.2 Contribuições

Os resultados obtidos neste trabalho se mostraram promissores e satisfatórios. No exemplo que o sensor necessita de uma gama de valores mais precisa, neste caso o sensor de temperatura, foi atingida uma redução de cerca de 80% no volume de dados gerado em relação à gravação de dados de forma sequencial no período de uma semana. No exemplo onde o nodo sensor possui uma faixa de valores mais ampla, como no caso do sensor de luminosidade, foi obtida uma redução de 97% no volume de dados gerado no mesmo período.

A proposta do SDNP mostrou-se eficiente na busca pela redução no volume de dados gerado, e ainda assim garantindo uma qualidade e confiabilidade dos valores lidos pelos sensores. A utilização em conjunto do processo de sumarização dos dados, com a aplicação da técnica de Bandas de Bollinger, mostrou-se uma forma simples e eficaz da redução deste volume de dados gerado em ambientes IoT.

6.3 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, a busca do processo de aprimoramento da fusão de dados local deve ser pesquisada, identificando outros métodos de fusão além da sumarização, e a aplicação de outros algoritmos na tomada de decisão para decidir a necessidade da gravação dos dados ou não, como por exemplo, algoritmos bio-inspirados.

Além disso, há a necessidade de desenvolvimento de ferramentas que auxiliem a aplicação a monitorar e atualizar os parâmetros a serem enviados para o nodo, para uma melhor qualidade e confiabilidade nos dados coletados pelos sensores.

6.4 Produção Científica

Os resultados obtidos até o momento, incluindo testes e experimento possibilitaram a publicação de artigo na revista Sensors, classificação A1 e fator de impacto 2.677, identificada pelo ISSN 1424-8220. Este artigo, já publicado possui identificação no DOI (Digital Object Identifier) sob o número 10.3390/s18030799.

REFERÊNCIAS

- ABDELGAWAD, A.; BAYOUMI, M. **Resource-Aware Data Fusion Algorithms for Wireless Sensor Networks**. Boston, MA: Springer US, 2012. v. 118
- AGGARWAL, C. C. (ED.). **Managing and Mining Sensor Data**. Boston, MA: Springer US, 2013.
- AKKAYA, K.; YOUNIS, M. **A survey on routing protocols for wireless sensor networks**. *Ad Hoc Networks*, v. 3, n. 3, p. 325–349, maio 2005.
- AKYILDIZ, I. F.; SU, W.; SANKARASUBRAMANIAM, Y.; CAYIRCI, E. **Wireless sensor networks: a survey**. *Computer Networks*, v. 38, n. 4, p. 393–422, mar. 2002.
- ASHTON, K. **That “internet of things” thing**. *RFID Journal*, v. 22, n. 7, p. 97–114, 2009.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. **The Internet of Things: A survey**. *Computer Networks*, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, out. 2010.
- BITENCORT JUNIOR, B. R. **Fusão de dados paralela em redes de sensores sem fio densas utilizando algoritmo genético**. [s.l.] Florianópolis, SC, 2008.
- CENA, G.; VALENZANO, A.; VITTURI, S. **Wireless extensions of wired industrial communications networks**. *Industrial Informatics*, 2007 5th ..., p. 273–278, 2007.
- CHEN, M.; GONZALEZ, S.; VASILAKOS, A.; CAO, H.; LEUNG, V. C. M. **Body Area Networks: A Survey**. *Mobile Networks and Applications*, v. 16, n. 2, p. 171–193, 18 ago. 2010.
- CHLAMTAC, I.; PRABHAKARAN, B. **A survey of quality of service in IEEE 802.11 networks**. *IEEE Wireless Communications*, v. 11, n. 4, p. 6–14, ago. 2004.
- CHUNG, T.-Y.; MASHAL, I.; ALSARYRAH, O.; HUY, V.; KUO, W.-H.; AGRAWAL, D. P. **Social Web of Things: A Survey**. *International Conference on Parallel and Distributed Systems*, p. 570–575, dez. 2013.
- CHUNLI, L.; DONGHUI, L. **Application and development of RFID technique**. 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet). *Anais...IEEE*, abr. 2012 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6201574>>. Acesso em: 15 jun. 2015
- CIARDIELLO, T. **Wireless communications for industrial control and monitoring**. *Computing & Control Engineering Journal*, v. 16, n. 2, p. 12–13, 1 abr. 2005.
- PORTAL G1. **Como a conexão 5G mudará o mundo**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/tecnologia/noticia/2014/12/como-a-conexao-5g-mudara-o-mundo.html>>. Acesso em: 26 out. 2015.
- DAHAI HAN, D.; JIE ZHANG, J.; YONGJUN ZHANG, Y.; WANYI GU, W. **Convergence of sensor networks/internet of things and Power Grid Information Network at aggregation layer**. *International Conference on Power System Technology*. *Anais...IEEE*, out. 2010 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5666553>>. Acesso em: 1 jul. 2016
- EISENHAUER, M.; ROSENGREN, P.; ANTOLIN, P. **HYDRA: A Development Platform for Integrating Wireless Devices and Sensors into Ambient Intelligence Systems**. *In: The*

Internet of Things. New York, NY: Springer New York, 2010. p. 367–373.

FISTER, I.; YANG, X. S.; BREST, J. **A comprehensive review of firefly algorithms.** Swarm and Evolutionary Computation, v. 13, p. 34–46, 2013.

GARCIA-SANCHEZ, A.-J.; GARCIA-SANCHEZ, F.; GARCIA-HARO, J. **Wireless sensor network deployment for integrating video-surveillance and data-monitoring in precision agriculture over distributed crops.** Computers and Electronics in Agriculture, v. 75, n. 2, p. 288–303, fev. 2011.

GARTNER. **Gartner's 2016 Hype Cycle for Emerging Technologies.** Disponível em: <<http://www.gartner.com/newsroom/id/3412017>>. Acesso em: 17 maio. 2017.

GREENFIELD, A. **Everyware: The Dawning Age of Ubiquitous Computing.** [s.l.] New Riders, 2010. v. 0

GUBBI, J.; BUYYA, R.; MARUSIC, S.; PALANISWAMI, M. **Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions.** Future Generation Computer Systems, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, set. 2013.

GUNGOR, V. C.; HANCKE, G. P. **Industrial Wireless Sensor Networks: Challenges, Design Principles, and Technical Approaches.** IEEE Transactions on Industrial Electronics, v. 56, n. 10, p. 4258–4265, out. 2009.

GYLLSTROM, D.; WU, E.; CHAE, H.-J.; DIAO, Y.; STAHLBERG, P.; ANDERSON, G. **SASE: Complex Event Processing over Streams.** 22 dez. 2006.

HALL, D. L.; LLINAS, J. **An introduction to multisensor data fusion.** Proceedings of the IEEE, v. 85, n. 1, p. 6–23, 1997.

HUANG, V.; JAVED, M. K. **Semantic Sensor Information Description and Processing.** Second International Conference on Sensor Technologies and Applications (sensorcomm 2008). Anais...IEEE, 2008 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4622703/>>

HWANG, J.; YOE, H. **Study on the Context-Aware Middleware for Ubiquitous Greenhouses Using Wireless Sensor Networks.** Sensors, v. 11, n. 12, p. 4539–4561, 27 abr. 2011.

IEEE. **IEEE Standard Association - IEEE Get Program.** Disponível em: <<https://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2011.pdf>>. Acesso em: 8 jul. 2015.

INTEL. **Intel® Quark™ SoC X1000 (16K Cache, 400 MHz) Product Specifications.** Disponível em: <<https://ark.intel.com/products/79084/Intel-Quark-SoC-X1000-16K-Cache-400-MHz>>. Acesso em: 18 jul. 2016.

QUALCOMM. **Internet of Everything | Qualcomm.** Disponível em: <<https://www.qualcomm.com/products/internet-of-everything>>. Acesso em: 28 out. 2015.

JESUS, P.; BAQUERO, C.; ALMEIDA, P. S. **A Survey of Distributed Data Aggregation Algorithms.** IEEE Communications Surveys & Tutorials, v. 17, n. 1, p. 381–404, jan. 2015.

KHALEGHI, B.; KHAMIS, A.; KARRAY, F. O.; RAZAVI, S. N. **Multisensor data fusion: A review of the state-of-the-art.** Information Fusion, v. 14, n. 1, p. 28–44, jan. 2013.

KRISHNAMACHARI, L.; ESTRIN, D.; WICKER, S. **The impact of data aggregation in wireless sensor networks.** Proceedings 22nd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops. Anais...IEEE Comput. Soc, 2002 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1030829>>. Acesso em: 22 jun. 2016

- LEE, K.-W.; PARK, J.-H.; OH, R.-D. **Design of active semantic middleware system to support incomplete sensor information based on ubiquitous sensor network**. 4th International Conference on Application of Information and Communication Technologies. Anais...IEEE, out. 2010 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5612032/>>
- LENTO, C.; GRADOJEVIC, N.; WRIGHT, C. S. **Investment information content in Bollinger Bands**. Applied Financial Economics Letters, v. 3, n. 4, p. 263–267, jul. 2007.
- LE-PHUOC, D.; HAUSWIRTH, M. **Linked open data in sensor data mashups**. Proceedings of the 2nd International Conference on Semantic Sensor Networks - Volume 522CEUR-WS.org, , 2009.
- LI, L.; XIAOGUANG, H.; KE, C.; KETAI, H. **The applications of WiFi-based Wireless Sensor Network in Internet of Things and Smart Grid**. 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications. Anais...IEEE, jun. 2011 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5975693>>. Acesso em: 7 dez. 2014
- LI, S.; SUN, H.; NALLANATHAN, A.; XU, L.; ZHAO, S.; SUN, Q. **Industrial Wireless Sensor Networks**. International Journal of Distributed Sensor Networks, v. 2014, p. 1–2, 2014.
- LLINAS, J.; BOWMAN, C.; ROGOVA, G.; STEINBERG, A.; WALTZ, E.; WHITE, F. **Revisiting the JDL Data Fusion Model II**. 1 jul. 2004.
- LOUREIRO, A. A. F.; NOGUEIRA, J. M. S.; RUIZ, L. B.; MINI, R. A. DE F.; NAKAMURA, E. F.; FIGUEIREDO, C. M. S. **Redes de sensores sem fio**. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC). Anais...2003
- MAINETTI, L.; PATRONO, L.; VILEI, A. **Evolution of wireless sensor networks towards the Internet of Things: A survey**. SoftCOM 2011, 19th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks, 2011.
- MATHARU, G. S.; UPADHYAY, P.; CHAUDHARY, L. **The Internet of Things: Challenges & security issues**. International Conference on Emerging Technologies (ICET). Anais...IEEE, dez. 2014 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7021016>>. Acesso em: 11 maio. 2015
- MIORANDI, D.; SICARI, S.; PELLEGRINI, F. DE; CHLAMTAC, I. **Internet of things: Vision, applications and research challenges**. Ad Hoc Networks, v. 10, n. 7, p. 1497–1516, set. 2012.
- MOHOMED, I.; MISRA, A.; EBLING, M.; JEROME, W. **HARMONI: Context-aware Filtering of Sensor Data for Continuous Remote Health Monitoring**. Sixth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom). Anais...IEEE, mar. 2008 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4517401>>. Acesso em: 20 ago. 2016
- NAKAMURA, E. F.; LOUREIRO, A. A. F.; FRERY, A. C. **Information fusion for wireless sensor networks**. ACM Computing Surveys, v. 39, n. 3, p. 9–es, 3 set. 2007.
- NEUZIL, J.; KREIBICH, O.; SMID, R. **A Distributed Fault Detection System Based on IWSN for Machine Condition Monitoring**. IEEE Transactions on Industrial Informatics, v. 10, n. 2, p. 1118–1123, maio 2014.

- NITHYAKALYANI, S.; KUMAR, S. S. **Data aggregation in wireless sensor network using node clustering algorithms**: A comparative study. IEEE CONFERENCE ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES. Anais...IEEE, abr. 2013. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6558148>>. Acesso em: 18 maio. 2016
- NODEMCU. **NodeMcu**: Connect Things EASY. Disponível em: <http://nodemcu.com/index_en.html>. Acesso em: 12 jul. 2017.
- OKDEM, S.; KARABOGA, D. **Routing in Wireless Sensor Networks Using Ant Colony Optimization**. First NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems (AHS'06). Anais...IEEE, 2006. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1638191>>. Acesso em: 28 abr. 2015
- OLDEWURTEL, F.; MAHONEN, P. **Neural Wireless Sensor Networks**. International Conference on Systems and Networks Communications (ICSNC'06). Anais...IEEE, 1 out. 2006. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/articleDetails.jsp?arnumber=4041543>>. Acesso em: 21 jul. 2015
- QUINTAO, F. P.; NAKAMURA, F. G.; MATEUS, G. R. **Evolutionary Algorithm for the Dynamic Coverage Problem Applied to Wireless Sensor Networks Design**. IEEE Congress on Evolutionary Computation. Anais...IEEE, 2005. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1554879>>
- RESENSE, R. VAN. **The Importance of Aggregation**. In: SCHIPER, A.; SHVARTSMAN, A. A.; WEATHERSPOON, H.; ZHAO, B. Y. (Eds.). . Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2003. v. 2584p. 87–92.
- ROBERTO, G. F.; MASCHI, L. F. C.; PIGATTO, D. F.; BRANCO, K. R. L. J. C.; NEVES, L. A.; MONTEZ, C.; PINTO, A. S. R. **Organization model for Mobile Wireless Sensor Networks inspired in Artificial Bee Colony**. Journal of Physics: Conference Series, v. 574, n. 1, p. 12142, 21 jan. 2015.
- ROCHA, A. R. DA; DELICATO, F. C.; SOUZA, J. N. DE; GOMES, D. G.; PIRMEZ, L. A. **A semantic middleware for autonomic wireless sensor networks**. Proceedings of the 2009 Workshop on Middleware for Ubiquitous and Pervasive Systems - WMUPS '09. Anais...New York, New York, USA: ACM Press, 2009. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1551693.1551697>>
- SANTI, P. **Topology control in wireless ad hoc and sensor networks**. ACM Computing Surveys, v. 37, n. 2, p. 164–194, 1 jun. 2005.
- SICILIANO, B.; KHATIB, O. (EDS.). **Springer Handbook of Robotics**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- SKOUBY, K. E.; LYNNGAARD, P. **Smart home and smart city solutions enabled by 5G, IoT, AAI and CoT services**. International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I). Anais...IEEE, nov. 2014. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7019822>>. Acesso em: 26 out. 2015
- SOLDATOS, J. *et al.* **OpenIoT: Open source internet-of-things in the cloud**. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). Anais...Springer International Publishing, 2015. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-16546-2_3>. Acesso em: 16 nov. 2016

- STEINBERG, A. N.; BOWMAN, C. L.; WHITE, F. E. **Revisions to the JDL data fusion model**. AeroSense '99. Anais...International Society for Optics and Photonics, 12 mar. 1999. Disponível em: <<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=989109>>. Acesso em: 10 set. 2015
- SUNG, W.-T.; TSAI, M.-H. **Data fusion of multi-sensor for IOT precise measurement based on improved PSO algorithms**. Computers & Mathematics with Applications, v. 64, n. 5, p. 1450–1461, set. 2012.
- GARTNET. **Technology Research - Gartner Inc**. Disponível em: <<http://www.gartner.com/technology/home.jsp>>. Acesso em: 27 out. 2016.
- TERZIYAN, V.; KAYKOVA, O.; ZHOVTOBRYUKH, D. **UbiRoad: Semantic Middleware for Context-Aware Smart Road Environments**. Fifth International Conference on Internet and Web Applications and Services. Anais...IEEE, 2010. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5476731/>>
- VARSHNEY, P. K. **Multisensor data fusion**. Electronics & Communication Engineering Journal, v. 9, n. 6, p. 245–253, 1 dez. 1997.
- VERMESAN, O.; FRIESS, P. **Internet of Things Applications: From Research and Innovation to Market Deployment**. [s.l.] River Publishers, 2014.
- WALD, L. **A European proposal for terms of reference in data fusion**. Commission VII Symposium “Resource and Environmental Monitoring”, 1 set. 1998. Disponível em: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00395048/>>. Acesso em: 10 set. 2015
- WANG, M.; PERERA, C.; JAYARAMAN, P. P.; ZHANG, M.; STRAZDINS, P.; RANJAN, R. **City Data Fusion: Sensor Data Fusion in the Internet of Things**. 30 jun. 2015.
- WASIK, B. **In the Programmable World, All Our Objects Will Act as One - WIRED**. Disponível em: <<http://www.wired.com/2013/05/internet-of-things-2/>>. Acesso em: 26 out. 2015.
- WEBER, R. H. **Internet of Things – New security and privacy challenges**. Computer Law & Security Review, v. 26, n. 1, p. 23–30, jan. 2010.
- WHITE, F. E. **Data Fusion Lexicon**. 1 out. 1991.
- XIA, F.; YANG, L. T.; WANG, L.; VINEL, A. **Internet of things**. International Journal of Communication Systems, v. 25, n. 9, p. 1101–1102, 29 set. 2012.
- YEO, K. S.; CHIAN, M. C.; WEE NG, T. C.; TUAN, D. A. **Internet of Things: Trends, challenges and applications**. International Symposium on Integrated Circuits (ISIC). Anais. 2014. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7029523>>
- YICK, J.; MUKHERJEE, B.; GHOSAL, D. **Wireless sensor network survey**. Computer Networks, v. 52, n. 12, p. 2292–2330, ago. 2008.
- YUAN, W.; WANG, X.; LINNARTZ, J.-P. M. G. **A Coexistence Model of IEEE 802.15.4 and IEEE 802.11b/g**. 14th IEEE Symposium on Communications and Vehicular Technology in the Benelux. Anais...IEEE, nov. 2007. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4436237>>. Acesso em: 1 out. 2015
- ZAFEIROPOULOS, A.; KONSTANTINOOU, N.; ARKOULIS, S.; SPANOS, D.-E.; MITROU, N. **A Semantic-Based Architecture for Sensor Data Fusion**. The Second International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and

Technologies. Anais...IEEE, set. 2008. Disponível em:
<<http://ieeexplore.ieee.org/document/4641322/>>

ZHAO, K.; GE, L. **A Survey on the Internet of Things Security**. Ninth International Conference on Computational Intelligence and Security. Anais...IEEE, dez. 2013. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6746513>>. Acesso em: 1 jul. 2016

ZHOU, J.; HU, L.; WANG, F.; LU, H.; ZHAO, K. **An efficient multidimensional fusion algorithm for IoT data based on partitioning**. Tsinghua Science and Technology, v. 18, n. 4, p. 369–378, ago. 2013.

ZORZI, M.; GLUHAK, A.; LANGE, S.; BASSI, A. **From today's INTRAnet of things to a future INTERnet of things: a wireless- and mobility-related view**. IEEE Wireless Communications, v. 17, n. 6, p. 44–51, dez. 2010.