

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

JOÃO CARLOS ROSSO

**MONITORAMENTO DE SINAIS FISIOLÓGICOS UTILIZANDO ALGORITMOS DE
FUSÃO DE DADOS EM RSSF**

CRICIÚMA

2018

JOÃO CARLOS ROSSO

**MONITORAMENTO DE SINAIS FISIOLÓGICOS UTILIZANDO ALGORITMOS DE
FUSÃO DE DADOS EM RSSF**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Bacharel no Curso de Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. MSc. Rogério Antônio Casagrande

CRICIÚMA

2018

JOÃO CARLOS ROSSO

**MONITORAMENTO DE SINAIS FISIOLÓGICOS UTILIZANDO ALGORITMOS DE
FUSÃO DE DADOS EM RSSF**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Bacharel, no Curso de Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Redes de Sensores sem Fio

Criciúma, 28 de Junho de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Rogério Antonio Casagrande - Me. - UNESC - Orientador

Prof. Paulo João Martins - Me. - UNESC

Prof. Valter Blauth Junior - Esp. - UNESC

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Carlos e Eneida, que deram apoio à todas as minhas escolhas, muitas vezes abdicando de fazer coisas para si, para se dedicar a mim.

Ao Prof. Me. Rogério Antônio Casagrande por ter aceitado me orientar, pela confiança, compartilhamento do seu conhecimento e pelas orientações durante esta pesquisa.

Aos professores do curso de Ciência da Computação, que por meio de seus ensinamentos, contribuíram para que este projeto fosse desenvolvido e os objetivos atingidos.

E a todos que de alguma forma deram sua contribuição para que este trabalho fosse concluído.

**“Cada sonho que você deixa para trás, é um
pedaço do seu futuro que deixa de existir”**

Steve Jobs

RESUMO

MHealth é uma aplicação de computação móvel, comunicações sem fio e tecnologias de rede para fornecer ou melhorar diversos serviços de informações sobre a saúde de um paciente com mobilidade dentro de uma determinada área. Esses serviços podem fornecer a pacientes e cuidadores um monitoramento ininterrupto, acesso a dados médicos, comunicações de emergência, entre outros. Para realizar esse monitoramento, as Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) podem ser utilizadas para coletar informações e as encaminhá-las até uma aplicação clínica, onde são armazenadas e analisadas, podendo gerar um *feedback* ao paciente em seu dispositivo móvel. Porém, as RSSF ainda apresentam alguns desafios. Uma solução natural para suplantiar falhas e leituras imprecisas dos dados coletados consiste no uso de mais de um nó nesta rede, e que estes possam cooperar entre si para monitorar os sinais fisiológicos do paciente. Entretanto, esta estratégia traz um novo desafio de escalabilidade causado pelo potencial aumento de colisões, pela transmissão de dados redundantes e pelo consumo excessivo de energia, um dos principais problemas das RSSF. Como resposta a este desafio, a técnica de fusão de dados tem sido adotada como solução para processar múltiplas fontes de dados, gerando um único dado de saída. Considerando isto, esta pesquisa consiste em descrever os conceitos de fusão de dados para sensores mais utilizados e implementar um protótipo para monitoramento de uma grandeza fisiológica utilizando um dos conceitos apresentados. Para isto, foram utilizados dois sensores de temperatura para coletar os sinais de um ser humano e utilizado o protocolo *ZigBee* para a comunicação sem fio dos sensores. O método utilizado para a fusão de dados foi o Filtro de Kalman. Além disso, uma aplicação *mHealth* foi criada para exibir o resultado final ao usuário. Os resultados da implementação deste algoritmo mostraram ser possível gerar um único dado de saída com os dados coletados através de múltiplas fontes, mesmo quando acontece alguma inconsistência nos dados o algoritmo consegue evitar a falha e prever o resultado baseando-se na predição e na atualização, aplicado pelo conceito do Filtro de Kalman. Com o uso do Filtro de Kalman para a fusão de dados, também foi possível diminuir a quantidade de pacotes que trafegam pela rede, conseqüentemente, diminuindo o gasto energético dos sensores gerado pelo encaminhamento dos dados.

Palavras-chave: Fusão de dados. RSSF. *ZigBee*. *mHealth*. *Arduino*. Monitoramento em Saúde.

ABSTRACT

MHealth is a mobile computing application, wireless communications and network technologies to provide or improve several information services on the health of a patient with mobility within a given area. These services can provide patients and caregivers with uninterrupted monitoring, access to medical data, emergency communications, and more. To perform this monitoring, Wireless Sensor Networks (WSNs) can be used to collect information and route them to a clinical application where they are stored and analyzed, being able to generate feedback to the patient on their mobile device. However, WSNs still present some challenges. A natural solution to overcome failures and inaccurate readings of collected data is the use of more than one node in this network, and they can cooperate with each other to monitor the patient's physiological signals. However, this strategy brings a new scalability challenge caused by the potential increase in collisions, redundant data transmission and excessive energy consumption, one of the main problems of WSNs. As a response to this challenge, the data fusion technique has been adopted as a solution to process multiple data sources, generating a single output data. This research consists of describing the concepts of data fusion for sensors most used and implementing a prototype for monitoring a physiological grandeur using one of the presented concepts. For this, two temperature sensors were used to collect the signals from a human and the ZigBee protocol was used for the wireless communication of the sensors. The method used for data fusion was the Kalman Filter. In addition, a mHealth application was created to display the end result to the user. The results of the implementation of this algorithm have shown that it is possible to generate a single output data with the data collected through multiple sources, even when some inconsistency occurs in the data, the algorithm can avoid the failure and predict the result based on the prediction and the update, applied by the Kalman Filter concept. With the use of the Kalman Filter for data fusion, it was also possible to reduce the amount of packets that travel through the network, consequently reducing the energy expenditure of the sensors generated by the routing of the data.

Keywords: Data fusion. WSN. ZigBee. mHealth. Arduino. Health Monitoring.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Aumento no uso de smartphones no Brasil	11
Figura 2 - Adoção de iniciativas e fases de mHealth globalmente	15
Figura 3 - Aplicativo <i>Heart Health Mobile</i>	18
Figura 4 - Aplicativo Medida Certa para dieta e saúde.....	19
Figura 5 - Modos dos dispositivos <i>Bluetooth Low Energy</i>	26
Figura 6 - Topologias de rede IEEE 802.15.4	27
Figure 7 - Sensores colocados no corpo humano para monitorar condições físicas.	30
Figura 8 - Exemplo de uma RSSF para monitoramento remoto de saúde	31
Figura 9 - Modelo de fusão JDL	34
Figura 10 - Modelo de fusão Waterfall	35
Figura 11 - Modelo de fusão Thomopoulos	36
Figura 12 - Fusão de dados paralela, serial e híbrida	39
Figura 13 - Cenário com a estrutura de rede utilizada	48
Figura 14 - Processo de Fusão de Dados de Múltiplos Sensores.....	49
Figure 15 - Protótipo feito para o <i>smartphone</i>	51
Figura 16 - Tamanho em bytes das duas temperaturas	53
Figura 17 - Tamanho em bytes das temperaturas aplicadas ao Filtro de Kalman.....	53
Figura 18 - Comparação entre a entrada dos sinais e o resultado da Fusão.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplos de funções de dispositivos móveis usados nas aplicações mHealth.....	16
Tabela 2 - Classificação e exemplos de sensores	22
Tabela 3 - Comparação entre os Níveis de Fusão	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
API	<i>Application Programming Interface</i>
AVC	Acidente Vascular Cerebral
BAN	<i>Body Area Network</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
CAAE	Certificado de Apresentação para Apreciação Ética
CCD	<i>Charge-Coupled Device</i>
DCV	Doença Cardiovascular
DH	<i>Destination Address High</i>
DL	<i>Destination Address Low</i>
FFD	<i>Full Function Device</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HHS	<i>Department of Health & Human Services</i>
HIS	<i>Health Information Systems</i>
ID	<i>Identification</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IMC	Índice de Massa Corporal
IVR	<i>Interactive Voice Response</i>
JDL	<i>Joint Directors of Laboratories</i>
LR-WPAN	<i>Low Rate Wireless Personal Area Networks</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MEMS	<i>Micro Electro-Mechanical Systems</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONG	Organização Não Governamental
PDA	<i>Personal Digital Assistants</i>
PIR	<i>Passive Infrared Sensor</i>
PHY	<i>Physical Layer</i>
RFD	<i>Reduced Function Device</i>
RSSF	Rede de Sensores sem Fio
SAR	<i>Synthetic Aperture Radar</i>
SIG	<i>Special Interest Group</i>

SMS	<i>Short Message Service</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
WAP	<i>Wireless Application Protocol</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 OBJETIVO GERAL	8
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
1.3 JUSTIFICATIVA	8
1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA	10
2 O USO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS	11
2.1 COMPUTAÇÃO MÓVEL NA ÁREA DA SAÚDE	12
2.2 MHEALTH	13
2.3 APLICAÇÕES EM MHEALTH	15
3 REDES DE SENSORES SEM FIO	21
3.1 TECNOLOGIAS PARA RSSF	23
3.1.1 Redes WPAN 802.15	24
3.1.1.1 IEEE 802.15.1	24
3.1.1.1.1 Bluetooth Low Energy	25
3.1.1.2 IEEE 802.15.4	26
3.2 APLICAÇÕES DE RSSF	27
3.2.1 Uso de RSSF em saúde	29
4 FUSÃO DE DADOS	32
4.1 MODELOS DE FUSÃO DE DADOS	33
4.1.1 Modelo JDL	34
4.1.2 Modelo Waterfall	34
4.1.3 Modelo Thomopoulos	35
4.1.4 Modelo de Fusão em Níveis	36
4.2 FILTRO DE KALMAN	38
4.3 FUSÃO DE DADOS EM RSSF	38
4.4 APLICAÇÕES EM FUSÃO DE DADOS	39
4.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS NO USO DA FUSÃO DE DADOS	40
5 TRABALHOS CORRELATOS	43
5.1 MONITORAMENTO DE SINAIS VITAIS UTILIZANDO RSSF	43
5.2 FUSÃO DE DADOS PARALELA EM REDES DE SENSORES SEM FIO DENSAS UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO	43
5.3 FUSÃO DE DADOS EM REDES DE SENSORES SEM FIO	44
5.4 MONITORAMENTO DE SINAIS VITAIS	44

5.5 UM MODELO DE FUSÃO DE INFORMAÇÃO E DADOS DE SENSORES BASEADO NO MODELO JDL PARA A ASSISTÊNCIA NÃO INTRUSIVA A IDOSOS EM AMBIENTES OUTDOOR.....	45
6 MONITORAMENTO DE SINAIS FISIOLÓGICOS UTILIZANDO ALGORITMOS DE FUSÃO DE DADOS EM RSSF	46
6.1 METODOLOGIA.....	46
6.1.1 Estrutura de <i>Hardware</i>	47
6.1.2 Coleta dos dados	49
6.1.3 Recebimento e tratamento dos dados.....	50
6.1.4 Envio dos dados.....	51
6.2 RESULTADOS OBTIDOS	52
7 CONCLUSÃO	55

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento contínuo da população idosa, tem havido um aumento na necessidade de mais serviços de saúde de baixo custo. Enquanto o país possui cerca de 253,41 milhões de celulares, ou seja, 123,93 celulares por cada 100 habitantes (ANATEL, 2015), o número de médicos é insuficiente: são apenas 2.11 para cada mil habitantes (CFM, 2015).

Atualmente, já são aplicadas tecnologias da informação e comunicação no cuidado à saúde de indivíduos e populações, conhecido como e-saúde, ou *eHealth* (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011). Com o surgimento das comunicações móveis e tecnologias avançadas de rede, um campo específico dentro de *eHealth* foi criado, denominado de Saúde Móvel, ou *mHealth* (PAWAR et al., 2012, tradução nossa).

MHealth é uma aplicação de computação móvel, comunicações sem fio e tecnologias de rede para fornecer ou melhorar diversos serviços de saúde e funções em que o paciente tem uma liberdade de ser móvel dentro de uma área limitada. (PAWAR et al, 2012). Esses serviços fornecem a pacientes e cuidadores um monitoramento ininterrupto, acesso a dados médicos, comunicações de emergência e assim por diante.

Algumas das potenciais aplicações de *mHealth* são listadas como uma gestão ativa de doenças como a diabetes, apoio aos idosos para realizar de forma independente as suas rotinas e monitoramento das atividades diárias para melhorar a saúde. Para realizar esse monitoramento, as Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) podem ser utilizadas, coletando informações e as encaminhando até uma aplicação clínica, onde serão armazenadas e analisadas.

Uma solução natural para suplantiar falhas e leituras imprecisas consiste no uso de nós redundantes que cooperam entre si para monitorar o ambiente. Entretanto, esta estratégia traz um novo desafio de escalabilidade causado pelo potencial aumento de colisões e pela transmissão de dados redundantes.

Como resposta a este desafio, a fusão de dados tem sido adotada como solução para as RSSF. De maneira sucinta, fusão de dados lida com teorias, algoritmos e ferramentas utilizadas para processar múltiplas fontes de dados, gerando um dado de saída que é, de alguma forma, melhor quando comparado com os dados

de entrada individualmente (NAKAMURA, 2007). Para as RSSF, o termo “melhor” possui pelo menos dois sentidos: menor custo e maior precisão.

Este projeto visa captar dados com sensores sem fio em nível de sinal de forma genérica, transmitindo-os pela rede até um nó coordenador, onde será aplicado a Fusão de Dados, e dele para um dispositivo móvel, exibindo o resultado. Os dados são transmitidos via comunicação *Bluetooth*, que, conforme Loureiro et al. (2003), é uma tecnologia de baixo custo para conectividade sem fio de dispositivos e eletrônicos mundialmente utilizado.

1.1 OBJETIVO GERAL

Monitorar sinais fisiológicos utilizando algoritmos de fusão de dados em Redes de Sensores Sem Fio.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desta pesquisa consistem em:

- a) descrever sobre os conceitos de Fusão de Dados mais utilizados;
- b) compreender o funcionamento das Redes de Sensores Sem Fio;
- c) desenvolver um protótipo para monitoramento de sinais fisiológicos;
- d) implementar um algoritmo de Fusão de Dados baseado nos conceitos descritos;
- e) descrever a arquitetura de comunicação utilizada;
- f) avaliar a eficácia do método de fusão adotado e documentar os resultados obtidos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os avanços tecnológicos e o investimento econômico, bem como as mudanças sociais e culturais, contribuem para reforçar o fato de que o setor da saúde deve, inevitavelmente, usar a tecnologia para evoluir.

O desafio para *mHealth* é aproveitar o potencial computacional dos *smartphones* para automatizar de maneira integrada, simples e intuitiva, tarefas que

apoiem o tratamento do paciente (NAVARRO et al., 2012). No Brasil, a oferta e uso dessas tecnologias tende a crescer juntamente com a popularização dos *smartphones*.

Segundo a revista *Technology Review*, as RSSF são consideradas uma das dez tecnologias mais promissoras do mundo (WADE; MITCHELL; PETTER, 2003, tradução nossa). O monitoramento através dessa tecnologia foi primeiramente usado para fins militares, mas hoje são empregadas em diversos tipos de aplicações, como por exemplo, monitoramento de habitats, sistemas de observação e previsão do tempo, área da saúde, entre outras aplicações comerciais e civis, tornando essa uma área de natureza multidisciplinar e muito ampla (KIM et al., 2007, tradução nossa).

Diversos estudos têm sido desenvolvidos pela comunidade científica para o desenvolvimento das Redes de Sensores Sem Fio (RSSF). Apesar da diversidade de pesquisas nos mais variados segmentos, um objetivo em comum é o consumo racional de energia e, conseqüentemente, o aumento do tempo de vida das redes. Conforme Loureiro et al. (2003), as RSSF diferem-se das redes tradicionais devido ao baixo consumo de energia, à grande quantidade de sensores distribuídos, mecanismos de autoconfiguração, e à necessidade de auto-organização caso haja falha ou perda de um nó.

Em uma RSSF, existe a possibilidade de colaboração entre os nós para a geração da informação solicitada pelo usuário. Entretanto, a característica mais marcante é a capacidade restrita da fonte de energia dos dispositivos. Um dos mais importantes desafios para um projeto de RSSF é o consumo de energia.

A fusão de dados corresponde a um conjunto de técnicas desenvolvidas, que visa reduzir o consumo energético da rede e prolongar seu tempo de vida eliminando a redundância de mensagens e, conseqüentemente, diminuindo o número de colisões (LIANG; LIU, 2006, tradução nossa).

Devido à grande aplicação das RSSF e às características limitadas dos dispositivos sensores, o desenvolvimento de técnicas de Fusão de Dados tem sido de grande necessidade para as mais diversas aplicações deste novo tipo de rede. Diversos trabalhos estão sendo propostos, contudo ainda existem problemas nessas áreas (e.g. consumo de energia) que necessitam ser estudados e resolvidos.

1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA

A estrutura deste trabalho é dividida em sete capítulos. No primeiro capítulo são explícitos os conceitos do trabalho divididos em introdução, objetivo geral da pesquisa, objetivos específicos e justificativa para a realização deste estudo.

O segundo capítulo apresenta o referencial teórico sobre o uso dos dispositivos móveis, o uso da computação móvel e suas áreas de atuação na saúde, como os conceitos de *eHealth* e *mHealth*.

No capítulo seguinte, são abordadas as tecnologias, os fundamentos, as características, e as aplicações das RSSF, além do uso dessa tecnologia na área da saúde e sua importância.

Já no quarto capítulo foram descritos alguns dos conceitos de fusão de dados em sensores mais utilizados, bem como suas tecnologias, aplicações e o uso em RSSF.

No quinto capítulo, são apresentados os trabalhos correlatos, que ajudaram não só a ampliar o conhecimento do acadêmico, como também, corroborar a importância desta pesquisa.

No sexto capítulo foi descrita a metodologia, no que se refere a estrutura da RSSF, as tecnologias utilizadas, os materiais e métodos empregados e os resultados obtidos na realização da pesquisa.

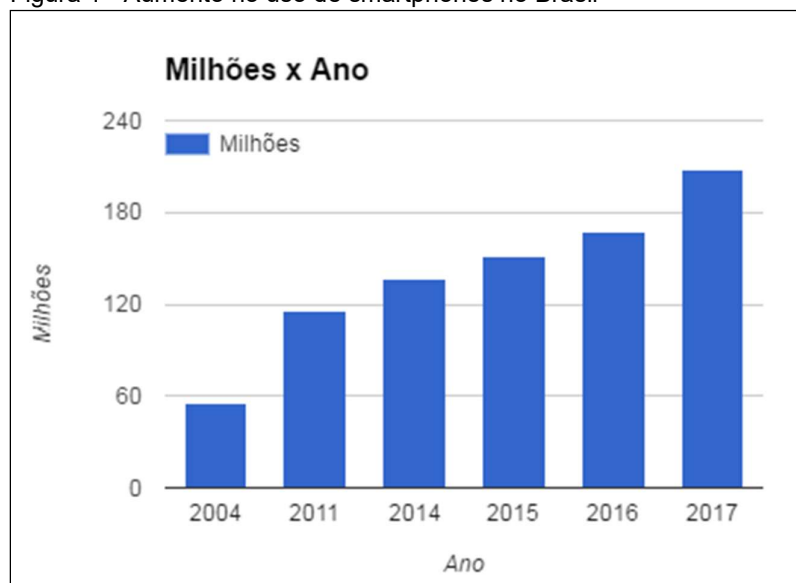
Finalmente, no capítulo 7 tem-se a conclusão.

2 O USO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS

Nos dias atuais é comum o uso do dispositivo móvel, visto que a maioria das pessoas está utilizando este recurso. O uso de dispositivos móveis, já passou de um objeto desejado para um objeto que faz parte do cotidiano da grande maioria dos brasileiros.

Conforme dados divulgados pelo jornal Folha de São Paulo (2016), o número de dispositivos móveis vem crescendo consideravelmente. Segundo o jornal estima-se que em 2018, a projeção de densidade de dispositivos conectados à Internet seja de dois por habitante, alcançando 416 milhões de aparelhos celulares.

Figura 1 - Aumento no uso de smartphones no Brasil



Fonte: Meirelles (2017).

Os dados da figura 1 mostram que o mercado nacional de *smartphones* está amadurecendo rapidamente, e que o comportamento, expectativa e intensidade de utilização de dispositivos móveis dos usuários brasileiros estão avançando de maneira irreversível.

É possível afirmar que os celulares surgiram com o principal objetivo de utilizar serviços de voz, no entanto a transmissão e acesso a dados e informações são cada vez mais comuns, como por exemplo, acessar a Internet a qualquer momento, tornando-se verdadeiros computadores na palma da mão. Estes motivos levaram a

adoção em larga escala destes dispositivos no mundo todo, criando ramificações diversas e muitas tecnologias móveis surgiram (ROWLES, 2014, tradução nossa).

2.1 COMPUTAÇÃO MÓVEL NA ÁREA DA SAÚDE

A computação móvel pode ser definida como qualquer solução onde a aplicação seja acessada via dispositivos de mão e realizem transporte de dados independente da localização do usuário, se beneficiando de tecnologias como *wireless* e autonomia de fonte de energia (TURISCO; CASE, 2001, tradução nossa).

A partir do momento em que a computação móvel ficou mais conhecida no ambiente da saúde, muitos sistemas foram desenvolvidos. Um dos pioneiros foi o Projeto Constelação (LABKOFF et al., 1995, tradução nossa), que foi implantado primeiramente no *Massachusetts General Hospital* e no Hospital da Mulher da Universidade de Harvard. Em 1993, esse sistema proveu dados médicos para os profissionais de saúde, alcançando um considerável sucesso. O seu objetivo era trazer informações de referências bibliográficas e textos que auxiliassem os médicos em suas tomadas de decisões.

Segundo Zeni et al. (2004), as vantagens em usar a computação móvel em saúde estão ligadas a economia de tempo, melhorar a troca de dados, a redução da perda de informações, que passam a ser armazenadas nos dispositivos e não mais em papel, e, também na coleta de informações dos pacientes em seus ambientes sem necessitar de deslocamento. Com essa crescente utilização de tecnologias e a escalada dos custos em serviços de saúde, surge espaço para um novo conceito: a saúde eletrônica (*eHealth*).

A saúde eletrônica é definida pela Organização Mundial da Saúde, como o uso acessível e seguro de tecnologias de informação e comunicações para suporte de saúde e campos relacionados com a saúde, incluindo serviços de cuidados de saúde, vigilância de saúde, literatura de saúde, educação de saúde, conhecimento e pesquisa, cobrindo todas as tecnologias que contribuem para a área da saúde e bem-estar. Em uma definição mais ampla, *eHealth* consiste em melhorar o fluxo de informação, através de meios eletrônicos e, com isso, aprimorar a prestação de serviços e a coordenação dos sistemas de saúde. *EHealth* é um termo geral que inclui quatro componentes distintos mas relacionados (WORLD HEALTH ORGANIZATION,

2011, tradução nossa):

- a) **Saúde Móvel (*mHealth*)**: fornecimento de serviços e informação de saúde através de tecnologias móveis e sem fios;
- b) **Sistemas de Informação de Saúde**: do inglês *Health Information Systems* (HIS), são sistemas para recolher, agregar, analisar e sintetizar dados de múltiplas fontes para efetuar relatórios sobre a saúde; pode incluir informações relacionadas com os registros do paciente, vigilância de doenças, recursos humanos, gestão de produtos básicos, gestão financeira, fornecimento de serviços e outros dados necessários para fins de elaboração de relatórios e planejamento;
- c) **Telemedicina**: fornecimento de serviços de cuidados de saúde à distância. Pode ser utilizado para comunicação interprofissional, comunicação com o paciente e consultas remotas;
- d) **Aprendizagem à distância (*eLearning*)**: educação e formação sob forma eletrônica para profissionais de saúde.

Segundo Pawar et al. (2012, tradução nossa), o mais importante é que esses recursos não só ampliam a assistência facilitando o acesso dos pacientes aos médicos e provedores de saúde, mas também diminuem os custos operacionais e evitam desperdício de recursos. Neste trabalho, será utilizado o conceito de *mHealth*, por usar as aplicações da computação móvel de forma compatível com o projeto, utilizando ferramentas como comunicações sem fio e tecnologias de rede, criando condições para a avaliação contínua de parâmetros de saúde.

2.2 MHEALTH

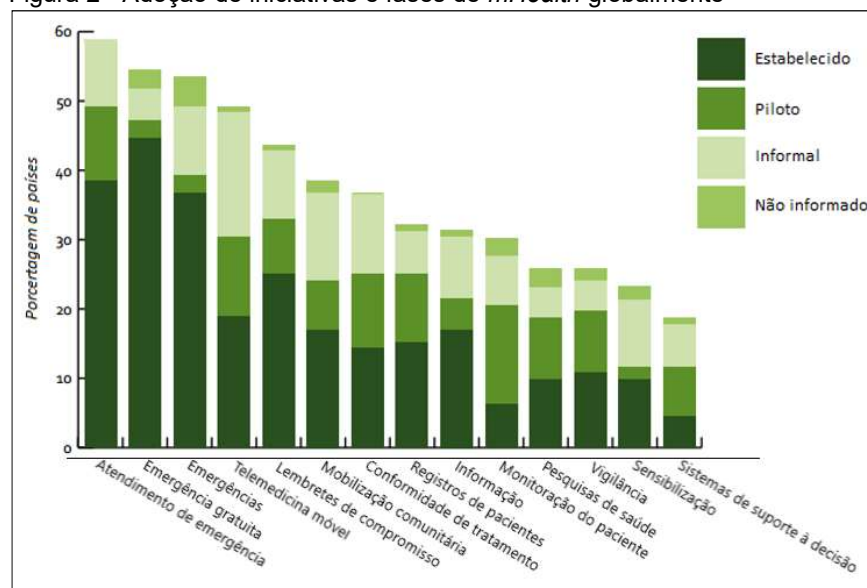
A saúde móvel (*mHealth*) envolve o fornecimento de serviços e informação de saúde por meio de tecnologias móveis e sem fios (*smartphones*, dispositivos com sensores, *tablets* e outros dispositivos sem fio) utilizados para apoiar a concretização de objetivos de saúde (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2016). Para estes fins, também pode ser incluído o uso das funções do celular como câmera, áudio, *Short Message Service* (SMS) e aplicações mais complexas, como serviços de 3G, 4G, *Global Positioning System* (GPS) e *Bluetooth* (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011, tradução nossa). Permite a integração com outras tecnologias, como por

exemplo, RSSF, sendo possível monitorar continuamente os sinais fisiológicos de um usuário tais como a pressão arterial, os níveis de glicose, temperatura corporal e frequência respiratória. Estes sensores devem se comunicar com dispositivos e sistemas de computador central de forma rápida e segura, usando o mínimo de energia e de largura de banda possível (INFOBRASIL, 2015).

Algumas das principais características adquiridas desses dispositivos móveis ao longo dos anos foram: capacidade de acessar redes sem fio, tais como *Wi-Fi*, *Bluetooth*, e também, a possibilidade de troca de informações com computadores pessoais. Com essas características, esses dispositivos podem auxiliar no atendimento de pessoas em locais distantes devido a facilidade para realizar diagnósticos remotamente advindos dessas novas funções (BRASIL, 2008).

A saúde móvel pode ser utilizada para várias finalidades, incluindo promoção de saúde e prevenção de doenças, prestação de cuidados de saúde, formação e supervisão, pagamentos eletrônicos e sistemas de informação. Mas o grande potencial do *mHealth* tem sido mesmo o de enfrentar e superar as disparidades no acesso aos serviços de saúde, como a inadequação da infraestrutura ou a falta de recursos humanos para a saúde, além do elevado custo de acesso à saúde e limitações na disponibilidade de recursos financeiros (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2016).

Em 2011, a *World Health Organization* (WHO) realizou uma pesquisa sobre *mHealth* entre seus 112 países membros (figura 2). Foi verificado que 83% deles possuíam ao menos uma iniciativa em *mHealth*, porém, podem existir iniciativas deste tipo em outros países, já que foram desconsiderados os trabalhos que não contemplavam o governo como as ONG. Na pesquisa foram apresentados dados que apontam os vários níveis de desenvolvimento de pesquisa em *mHealth* indicando a preocupação recorrente entre os países em buscar a tecnologia para melhorar os serviços de saúde, como também levar atendimento para as localidades geograficamente distantes dos grandes centros.

Figura 2 - Adoção de iniciativas e fases de *mHealth* globalmente

Fonte: World Health Organization (2011).

2.3 APLICAÇÕES EM MHEALTH

O crescimento e o avanço das tecnologias móveis tornaram-se ferramentas aliadas em *mHealth*. O uso desta tecnologia reduz a espera para o atendimento e provê a documentação de todo o registro do paciente, colaborando para aumentar a qualidade nos serviços oferecidos (TURISCO; CASE, 2001, tradução nossa).

Em um artigo técnico publicado na edição de Agosto de 2013 da publicação periódica *Global Health: Science and Practice*, investigadores e responsáveis pela implementação da saúde móvel (*mHealth*) da Universidade de Johns Hopkins, UNICEF, WHO e *Frog Design*, formado por um amplo grupo de interessados e líderes de pensamento da *mHealth*, que vão desde pesquisadores acadêmicos até programadores e implementadores de políticas, propuseram um novo quadro de avaliação das inovações na área da saúde móvel. As aplicações de saúde móvel foram organizadas em doze categorias (LABRIQUE et al., 2013, tradução nossa):

- a) educação de clientes e comunicação de mudança de comportamentos;
- b) sensores e diagnósticos no local de prestação de cuidados;
- c) registros e acompanhamento de eventos vitais;
- d) coleta de dados e elaboração de relatórios;
- e) registros de saúde eletrônicos;
- f) suporte eletrônico às decisões;

- g) comunicação entre fornecedores;
- h) planejamento e agendamento do trabalho do fornecedor;
- i) formação e educação do fornecedor;
- j) gestão de recursos humanos;
- k) gestão da cadeia de abastecimento;
- l) transações e incentivos financeiros.

O quadro procura ajudar gestores e responsáveis pela implementação de sistemas de saúde a selecionar as ferramentas mais apropriadas para abordar limitações e restrições específicas dos sistemas de saúde.

Os projetos de *mHealth* empregam uma ou mais funções de telefones móveis, como: SMS, unidade de resposta audível, do inglês: *Interactive Voice Response* (IVR), comunicação de voz, vídeos, imagens, entre outros. A tabela 1 mostra algumas funções dos dispositivos móveis que podem ser utilizadas em cada uma das doze aplicações.

Tabela 1 - Exemplos de funções de dispositivos móveis usados nas aplicações mHealth

Aplicações de <i>mHealth</i>	Exemplos de funções de telefone móvel
Educação de clientes e comunicação de mudança de comportamentos	Serviço de mensagens curtas (SMS) Serviço de mensagens multimídia (SMM) Unidade de Resposta Audível (URA) Comunicação de voz / áudio Vídeos Imagens
Sensores e diagnósticos no local de prestação de cuidados	Câmera Sensores Acelerômetro
Registros e acompanhamento de eventos vitais	Serviço de mensagens curtas (SMS) Comunicação de voz Formulários digitais
Recolha de dados e elaboração de relatórios	Serviço de mensagens curtas (SMC) Comunicação de voz Formulários digitais
Registros de saúde eletrônicos	Internet móvel (WAP / GPRS) Formulários digitais
Suporte eletrônico às decisões	Aplicativos de informações armazenadas Unidade de Resposta Audível (URA) Internet móvel (WAP / GPRS)
Comunicação entre fornecedores	Serviço de mensagens curtas (SMS) Serviço de mensagens multimídia (SMM) Câmera
Planejamento e agendamento do trabalho do fornecedor	Lista eletrônica de clientes interativa Alertas de Serviço de Mensagens Curtas (SMS) Calendário
Formação e educação do fornecedor	Serviço de mensagens curtas (SMS) Serviço de mensagens multimídia (SMM) Unidade de Resposta Audível (URA) Comunicação de voz

Gestão de recursos humanos	Áudio, vídeo ou imagens Web-based performance dashboards Sistema de posicionamento global (GPS) Comunicação de voz Serviço de mensagens curtas (SMS)
Gestão da cadeia de abastecimento	Web-based supply dashboards Sistema de posicionamento global (GPS) Formulários digitais Serviço de mensagens curtas (SMS)
Transações e incentivos financeiros	Transferências e serviços bancários Transferência de minutos de chamada

Fonte: Labrique et al. (2013).

O foco dessas aplicações pode ser voltado tanto para profissionais de saúde quanto para vários outros tipos de usuários. De acordo com Heather, Yang e Neuer (2011, tradução nossa), dentre as pessoas que não são profissionais de saúde, estão os interessados em manter hábitos saudáveis e dispostos a investir em soluções de monitoramento com o foco em atingir objetivos específicos, os que possuem doenças crônicas e necessitam de monitoramento diário e os saudáveis e interessados em ferramentas para verificar se estão suscetíveis a doenças futuras.

Várias iniciativas de *mHealth* em todo o mundo estão fornecendo os primeiros indícios acerca do potencial de utilização das tecnologias móveis e sem fio na saúde. Aplicações de *mHealth* estão sendo testadas em cenários bastante diversos, como no contexto do acesso oportuno a serviços de emergência, gestão de atendimento ao paciente, redução da falta de medicamentos em postos de saúde, melhoria no diagnóstico clínico e adesão dos pacientes ao tratamento, entre outros (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011, tradução nossa).

Com o objetivo de amenizar doenças cardiovasculares, em 2011, o Departamento de Saúde e Serviços à Pessoa, do inglês *Department of Health & Human Services* (HHS), dos Estados Unidos lançou a iniciativa para prevenção de um milhão de ataques cardíacos e Acidentes Vasculares Cerebrais (AVC) ao longo de um período de cinco anos. Em resposta a isto, a instituição de pesquisa *Marshfield Clinic Research Foundation* (MCRF) desenvolveu o aplicativo (figura 3) *Heart Health Mobile* (HHM), com os seguintes objetivos (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2013):

- a) alcançar usuários por todo o país, concentrando-se particularmente naqueles que podem estar em risco de Doença Cardiovascular (DCV);
- b) motivar usuários em risco para obter avaliações de risco precisas;

- c) encaminhar usuários para farmácias comunitárias nas redondezas e outros locais que disponibilizam aparelhos para medição de pressão arterial, colesterol e outros.

A sua interface fornece ao usuário uma breve avaliação do seu risco de DCV, considerando fatores de risco como os comportamentais e familiares. Dependendo do nível de risco de DCV, os usuários são então encaminhados para farmácias comunitárias, clínicas e outras instituições para avaliações e tratamentos. A aplicação também disponibiliza materiais básicos de educação de saúde sobre tópicos de gestão dos fatores chave do risco de DCV, incluindo hipertensão, dislipidemia e gestão do peso. O aplicativo teve um alcance global mesmo sem promoção explícita em outros países além dos Estados Unidos. Foram registados a utilização da aplicação em 104 países diferentes de 31 de janeiro a 8 de outubro de 2013.

Figura 3 - Aplicativo *Heart Health Mobile*



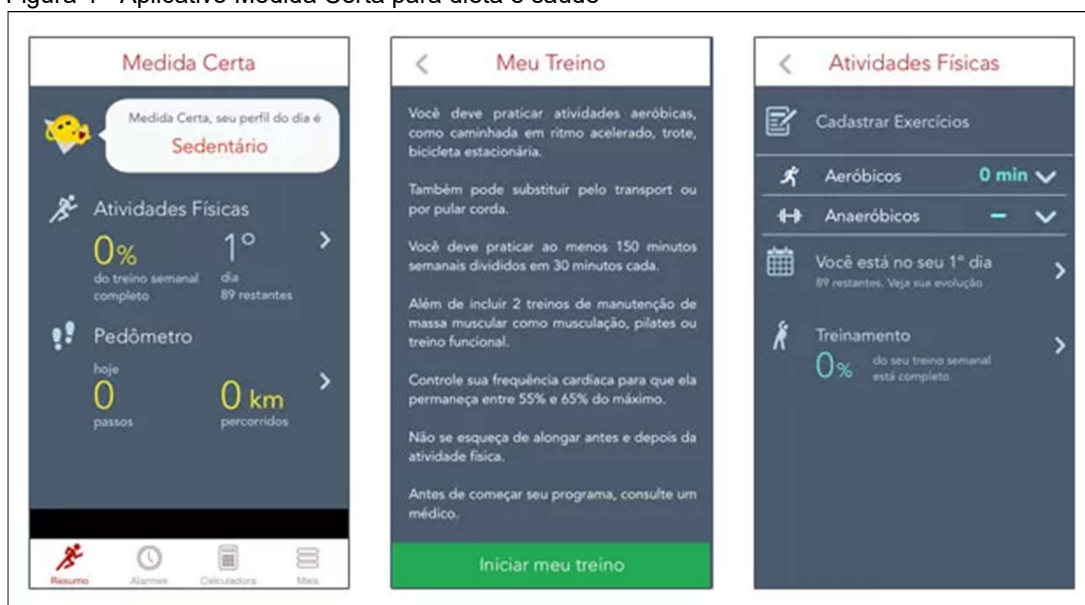
Fonte: World Health Organization (2013).

Atualmente no Brasil já existem vários aplicativos que utilizam o conceito de *mHealth*. Estes são capazes de coletar dados através de campos de preenchimento ou mesmo informações de sensores que são conectados e alimentam o celular com informações necessárias e específicas. Um exemplo conhecido é o

Medida Certa (figura 4), um aplicativo de dieta e saúde para apoiar pessoas que querem adquirir hábitos saudáveis e reprogramar seu corpo, seja para perder peso, manter o peso ou ganhar massa muscular.

Pelo aplicativo é possível monitorar quantos passos o usuário deu durante o dia, criar alertas que o lembre de se movimentar, e calcular seu índice de massa corporal (IMC), potencial de gordura e até o número de calorias que gastou com atividades simples, como uma faxina.

Figura 4 - Aplicativo Medida Certa para dieta e saúde



Fonte: Google Play Store (2017).

A rápida proliferação de projetos de *mHealth*, gerou um entusiasmo considerável entre governos, doadores e implementadores de programas de saúde. Em muitos casos, estes projetos pilotos demonstraram conceitualmente como *mHealth* pode aliviar as limitações específicas do sistema de saúde que impedem a cobertura eficaz das intervenções de saúde (LABRIQUE et al., 2013, tradução nossa).

Quando aplicado corretamente, os programas de saúde móvel podem efetuar contribuições reais para melhores resultados de saúde, com o potencial de contribuir para soluções inovadoras para os desafios do sistema de saúde, incluindo (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2016):

- a) disparidades no acesso a serviços de saúde;
- b) insuficiências da infraestrutura de saúde nos países;

- c) falta de recursos humanos para a saúde;
- d) custo elevado de acesso à saúde;
- e) desafios no financiamento da saúde.

Um dos aspectos mais promissores da *mHealth* é a sua competência em melhorar a integração inteligente de serviços de saúde, tornando a informação disponível no lugar certo e no momento certo, desde que hajam padrões de comunicabilidade que permitam a troca de mensagens de uma maneira confiável.

3 REDES DE SENSORES SEM FIO

De acordo com Savvides, Park e Srivastava (2001, tradução nossa), os avanços nas áreas de microprocessadores, materiais de sensoriamento e sistemas eletromecânicos, do inglês *Micro Electro-Mechanical Systems* (MEMS), tornaram possível o desenvolvimento de dispositivos dotados de capacidade de processamento, comunicação e sensoriamento, chamados de nós sensores. Estes dispositivos associados a tecnologia de redes sem fio, permitiram a criação de sensores compactos, confiáveis e de baixo custo, surgindo assim, uma área de pesquisa multidisciplinar conhecida como RSSF.

As RSSF tornaram-se uma força importante para melhorar a existência e o estilo de vida do ser humano por meio de várias características fornecidas pelas tecnologias de comunicação emergentes. Este tipo de redes microeletrônicas será, num futuro próximo, muito mais presente em várias áreas, como por exemplo a área de monitoramento remoto de saúde (*eHealth*) (FOURATI et al., 2015, tradução nossa).

Conforme Loureiro et al. (2003), as RSSF têm como objetivo monitorar e controlar um ambiente sem intervenção humana direta. Diferem de redes de computadores tradicionais em vários aspectos. Normalmente essas redes possuem um grande número de nodos distribuídos, possuem restrições de energia, e devem possuir mecanismos para autoconfiguração e adaptação devido a problemas como falha de comunicação e perda de nodos.

As RSSF, conforme Pereira, Amorim e Castro (2003), são redes compostas por milhares de nós que se comunicam entre si por meio de comunicação sem fio e um nó responsável pela agregação das informações, esses nós possuem bateria como fonte de energia e essas redes são formadas por: sensor, observador e fenômeno (TILAK; ABU-GHAZALEH; HEINZELMAN, 2002, tradução nossa):

- a) **sensor**: tem por finalidade monitorar um determinado fenômeno e efetuar a transmissão das medidas observadas através de uma comunicação sem fio. Tipicamente, consiste em cinco componentes: uma unidade de sensoriamento, memória, bateria, processador embarcado e um transmissor-receptor;
- b) **observador**: usuário final que deseja obter informações disseminadas pela rede de sensores sobre o fenômeno observado. Cabe ao

observador determinar interesses (consultas) a rede de sensores e receber respostas às solicitações. Vários observadores podem existir em uma rede de sensores;

- c) **fenômeno**: entidade de interesse para o observador que está sendo monitorada. As informações coletadas do fenômeno serão filtradas e analisadas pela rede de sensores. Múltiplos fenômenos podem estar sob observação simultaneamente em uma rede de sensores.

Os tipos de sensores que devem ser escolhidos para uma aplicação dependem da propriedade física a ser monitorada, tais propriedades incluem temperatura, pressão, luz ou umidade. A tabela 2 resume algumas propriedades físicas comuns, incluindo exemplos de tecnologias de detecção que são usadas para capturá-las.

Tabela 2 - Classificação e exemplos de sensores

Tipo	Exemplos
Temperatura	Termistores, termopares
Pressão	Manômetros, barômetros, medidores de ionização
Óptico	Fotodiodos, fototransistores, sensores infravermelhos, CCD
Acústico	Ressonadores piezoelétricos, microfones
Mecânico	Medidores de tensão, células piezoresistivos, sensores táteis, sensores capacitivos
Movimento, vibração	Acelerômetros, giroscópios, sensores fotográficos
Fluxo	Anemômetros, sensores de fluxo de ar em massa
Posição	GPS, sensores ultra-som, infravermelhos, inclinômetros
Eletromagnético	Sensores de efeito Hall, magnetômetros
Químico	Sensores de pH, sensores eletroquímicos, sensores de gás
Umidade	Sensores capacitivos e resistivos, higrômetros, sensores de umidade baseados em MEMS
Radiação	Detectores de ionização, contadores Geiger-Mueller

Fonte: Dargie e Poellabauer (2010, tradução nossa).

Além das propriedades físicas, a classificação dos sensores pode ser baseada em uma variedade de outros métodos, por exemplo, se eles precisam de uma fonte de alimentação externa. Se os sensores necessitam de energia externa, eles são chamados de sensores ativos. Ou seja, eles devem emitir algum tipo de energia (por exemplo, micro-ondas, luz, som) para acionar uma resposta ou para detectar uma mudança na energia do sinal transmitido. Por outro lado, sensores passivos detectam energia no ambiente e derivam sua energia a partir dessa entrada de energia. Por exemplo, sensores infravermelhos passivos, do inglês *Passive*

Infrared (PIR), medem a luz infravermelha irradiando de objetos próximos (DARGIE; POELLABAUER, 2010, tradução nossa).

As RSSF são uma subclasse das redes *ad hoc*, pois possuem por base a descentralização do envio e recepção de dados, permitindo que qualquer ponto da rede possa realizar o roteamento dos dados, enviando e recebendo solicitações (VERONA, 2010). As características importantes de uma RSSF típica que a diferem de outras redes *ad hoc* sem fio podem ser resumidas como abaixo (RATHEE; SINGH; NANDINI, 2016, tradução nossa):

- a) homogeneidade;
- b) nodos estacionários;
- c) recursos energéticos, capacidade de memória e computacionais limitados;
- d) maiores chances de falha nos nós devido ao ambiente agressivo e a capacidade de energia limitada;
- e) densidade de sensores que podem variar de dezenas para milhares de nodos.

Quando comparado às redes *ad hoc* tradicionais, as limitações de recursos mais visíveis das redes de sensores são as energéticas. Considerando que a substituição de bateria em dispositivos sensores nem sempre é viável, otimizar o consumo de energia tornou-se o principal desafio de uma RSSF (RATHEE; SINGH; NANDINI, 2016, tradução nossa).

3.1 TECNOLOGIAS PARA RSSF

As RSSF constituem uma tecnologia emergente, em que pequenos dispositivos denominados sensores são utilizados com intuito de monitorar áreas de difícil acesso ou inóspitas, tais como áreas industriais, oceanos, desertos, vulcões, florestas e até mesmo o corpo humano. Os sensores reunidos formam uma rede sem fio de coleta de dados, processando localmente as informações e disseminando os dados resultantes de um ponto para outro (INTANAGONWIWAT; GOVINDAN; ESTRIN, 2000, tradução nossa).

Conforme Loureiro et al. (2003), o crescente avanço da tecnologia, tem tornado a miniaturização de componentes algo muito comum, e com isso surgem

novas tecnologias que necessitam da utilização de componentes menores, porém com desempenho elevado, sendo este, o caso das RSSF. Todos esses avanços influenciaram positivamente os protocolos de roteamento para RSSF, possibilitando o desenvolvimento de novos protocolos e o aprimoramento dos protocolos existentes.

3.1.1 Redes WPAN 802.15

As normas IEEE 802.15 são grupos que definem padrões para redes de área pessoal sem fios, do inglês *Wireless Personal Area Network* (WPAN), onde se prevê a ligação entre dispositivos distanciados até 300 metros. O padrão IEEE 802.15 existe para garantir as especificações de redes pessoais com baixa potência e custo reduzido. A norma define vários tipos de redes, sendo que os principais para este projeto são (FOURATI et al., 2015, tradução nossa):

- a) **IEEE 802.15.1:** é um padrão sem fio de baixo nível para comunicação de curto alcance. Foi projetado para dispositivos de baixo custo e baixo consumo de energia. É a base para a tecnologia de comunicação sem fio *Bluetooth*;
- b) **IEEE 802.15.4:** é uma rede de complexidade reduzida que funciona com débitos binários baixos (*low binary rates*). Esta característica permite um consumo de energia reduzido, possibilitando que a bateria dure vários meses ou anos;
- c) **IEEE 802.15.6:** possui o foco nas redes de área corporal, do inglês *Body Area Network* (BAN) que utilizam sensores espalhados pelo corpo humano, na roupa ou mesmo debaixo da pele. Desta forma o corpo humano torna-se um meio de transmissão ou recepção.

3.1.1.1 IEEE 802.15.1

O IEEE 802.15.1 (*Bluetooth*) é um padrão para comunicação sem fio de curto alcance, baixa potência e baixo custo que usa tecnologia por ondas de rádio. Mais de 2100 empresas em todo o mundo já suportam a tecnologia *Bluetooth*. A ideia resultou da necessidade de desenvolver uma interface de rádio para conectar telefones celulares e seus acessórios em 1994. Mais tarde esta tecnologia se mostrou

promissora para se tornar um padrão universal para substituição de cabos entre os mais diversos dispositivos (BLUETOOTH, 2001, tradução nossa).

A tecnologia sem fio Bluetooth engloba vários pontos chave que facilitam sua adoção generalizada (BLUETOOTH, 2001, tradução nossa):

- a) é uma especificação aberta que está disponível publicamente, sendo livre de *royalties*;
- b) sua capacidade sem fio de curto alcance permite que os dispositivos periféricos se comuniquem através de uma única interface, substituindo os cabos que usam conectores com uma infinidade de formas, tamanhos e números de pinos;
- c) suporta voz e dados, tornando-se uma tecnologia ideal para permitir que muitos tipos de dispositivos se comuniquem;
- d) utiliza uma banda de frequência não regulamentada disponível em qualquer lugar do mundo.

3.1.1.1.1 Bluetooth Low Energy

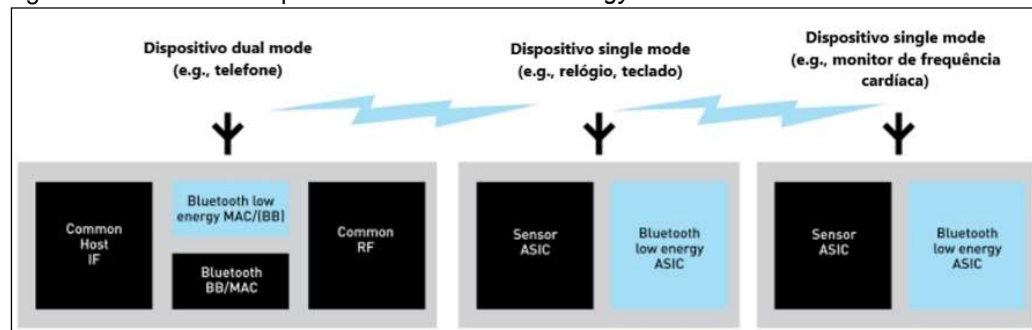
Bluetooth Low Energy (BLE) é uma tecnologia sem fio emergente desenvolvida pelo *Bluetooth Special Interest Group* (SIG) para comunicação de curto alcance. Diferentes dos tipos anteriores de *Bluetooth*, o BLE foi projetado como uma solução de baixa potência para aplicativos de controle e monitoramento de curto alcance, que deverá ser incorporada em bilhões de dispositivos nos próximos anos. A vida útil de um dispositivo BLE alimentado por uma bateria de moeda pode variar entre 2 dias a 14,1 anos (GOMEZ; OLLER; PARADELLS, 2012, tradução nossa).

De acordo com Omre (2010, tradução nossa), BLE possui duas implementações, *single mode* e *dual mode* (figura 5):

- a) ***single mode***: unidades compactas de comunicação de rádio adequadas para incorporação em monitores médicos sem fio que medem apenas dezenas de milímetros de tamanho. O consumo de energia é muito baixo, permitindo que esses monitores médicos funcionem por vários meses ou mesmo anos com baterias de moeda padrão;
- b) ***dual mode***: dispositivos de comunicação de rádio direcionados para celulares e computadores pessoais. Propõe-se que os fabricantes de

telefones celulares utilizem esses dispositivos quando estiverem disponíveis. A funcionalidade adicional mais importante de um telefone celular ou PC equipado com um dispositivo de BLE *dual mode* é que ele poderá se comunicar diretamente com dispositivos *single mode*. Conseqüentemente, os dados médicos poderão ser enviados de um monitor sem fio para um telefone celular ou PC e de lá para um médico.

Figura 5 - Modos dos dispositivos *Bluetooth Low Energy*



Fonte: Omre (2010).

Enquanto o BLE está emergindo, outras tecnologias sem fio de baixa potência, como o *ZigBee*, já alcançaram presença significativa em vários segmentos de mercado. No entanto, eles não têm altas expectativas de implantação em dispositivos como *smartphones*. BLE, por outro lado, deve ter uma posição forte nestes (GOMEZ; OLLER; PARADELLS, 2012, tradução nossa).

3.1.1.2 IEEE 802.15.4

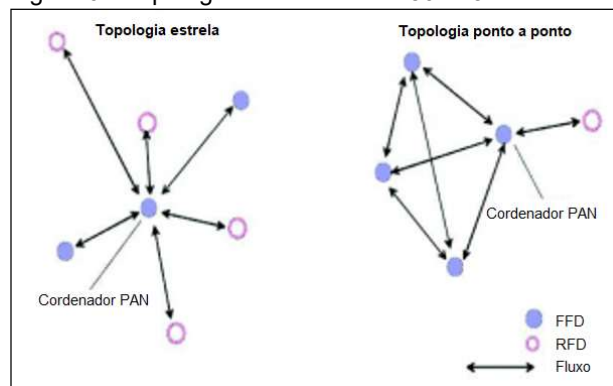
O grupo de trabalho IEEE em conjunto com a Aliança *ZigBee* desenvolveram a especificação para um padrão de Rede Pessoal de Área Privada de Curto Alcance, do inglês *Low Rate Wireless Personal Area Networks* (LR-WPAN), denominada IEEE 802.15.4. O interesse da Aliança *ZigBee* neste tipo de tecnologia advém do fato da ampla diversidade de aplicações que podem tirar proveito das características oferecidas pelas LR-WPAN (SEMPREBOM, 2012).

As topologias de rede suportadas no IEEE 802.15.4 são: estrela e ponto a ponto, sendo a primeira topologia a mais utilizada. Conforme a figura 6, o padrão IEEE define para as redes *ZigBee* dois tipos de dispositivos: os de função reduzida, do

inglês *Reduced Function Device* (RFD), e os de função completa, do inglês *Full Function Device* (FFD) (FOURATI et al., 2015, tradução nossa):

- a) **RFD**: dispositivos que só podem se comunicar com dispositivos FFD. Dessa forma fica claro que esses dispositivos poderão atuar apenas como *end-pointings* da rede. São dispositivos mais simples e de menor custo, visando um consumo de energia ainda mais reduzido;
- b) **FFD**: dispositivos aptos a funcionarem em qualquer um dos modos de operação do padrão: coordenador, roteador ou dispositivo final. Podem se comunicar tanto com outros FFD quanto com dispositivos RFD.

Figura 6 - Topologias de rede IEEE 802.15.4



Fonte: Fourati et al. (2015).

Estas redes apresentam a vantagem de serem flexíveis o bastante para se adequarem às necessidades de diversos conjuntos de aplicações em diferentes campos. A tecnologia IEEE 802.15.4 vem sendo adotada em RSSF motivada por características como baixo consumo energético, baixa taxa de transmissão e baixo custo, se encaixando com as necessidades das RSSF (SEMPREBOM, 2012).

3.2 APLICAÇÕES DE RSSF

As RSSF inspiraram muitas aplicações e a diversidade delas é notável, como, monitoramento do meio ambiente, monitoramento de metas, monitoramento de pipeline (água, petróleo, gás), monitoramento estrutural da saúde, agricultura de precisão, cuidados com a saúde, gerenciamento da cadeia de suprimentos, monitoramento ativo de vulcão, transporte, monitoramento da atividade humana,

mineração subterrânea, entre vários outros (DARGIE; POELLABAUER, 2010, tradução nossa).

Em um estudo sobre "Redes de Sensores sem Fio Agrícolas" (*Wireless Agricultural Sensor Network*), Polpitiya et al. (2012, tradução nossa) descreve que os avanços tecnológicos podem ajudar a melhorar setores de agricultura de baixa produtividade, principalmente em países em desenvolvimento. Além disto, o trabalho mostra que o uso destas tecnologias resultam em melhorias de produtividade na agricultura.

Além destas, diversas outras aplicações foram e estão sendo desenvolvidas utilizando RSSF que, por ser multidisciplinar, tem o potencial de serem empregadas em várias áreas, como (LOUREIRO et al., 2003):

- a) **militar**: para detectar movimentos inimigos, explosões, presença de material perigoso como gás venenoso ou radiação, entre outros. Neste tipo de aplicação os requisitos de segurança são fundamentais. O alcance das transmissões dos sensores é geralmente reduzido para evitar escutas clandestinas. Os dados são criptografados e submetidos a processos de assinatura digital. As dimensões são extremamente reduzidas e podem utilizar nodos sensores móveis como os transportados por robôs;
- b) **controle**: para prover algum mecanismo de controle, seja em um ambiente industrial ou não. Por exemplo, sensores sem fio podem ser embutidos em peças numa linha de montagem para fazer testes no processo de manufatura;
- c) **ambiente**: para monitorar variáveis ambientais em locais internos como prédios e residências, e locais externos como florestas, desertos, vulcões, entre outros;
- d) **tráfego**: para monitorar tráfego de veículos em rodovias, malhas viárias urbanas, entre outros;
- e) **segurança**: para prover segurança em centros comerciais, estacionamentos, entre outros;
- f) **saúde**: para monitorar o funcionamento de órgãos como o coração, detectar a presença de substâncias que indicam o surgimento de um problema biológico, seja no corpo humano ou animal.

3.2.1 Uso de RSSF em saúde

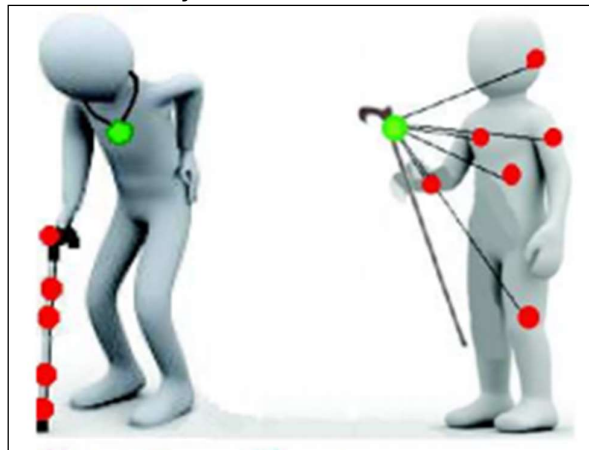
As grandes evoluções da medicina costumam acompanhar as evoluções tecnológicas. E um dos principais fatores deste processo de evolução são os aparelhos de medição, que permitem um monitoramento do estado de saúde do paciente, facilitando as decisões dos profissionais da área de saúde. O crescimento da tecnologia e a utilização dos sistemas de informação possibilitam uma análise mais refinada dos dados dos pacientes e auxiliam na manutenção do histórico médico de cada indivíduo (ALVES et al., 2013).

O uso de RSSF para a área de saúde permite aplicações de monitoramento mais robustas, que podem ser usadas para prover melhores serviços de saúde, como (AMEEN; LIU; KWAK, 2012, tradução nossa):

- a) **monitoração de pacientes:** sensores podem ser utilizados em hospitais para monitorar os movimentos dos pacientes ou controlar determinadas funções do corpo, como os batimentos cardíacos ou a pressão arterial;
- b) **administração de medicamentos:** torna-se possível o controle da quantidade de medicamentos utilizados por cada paciente;
- c) **rastreamento de médicos:** permite a localização precisa e imediata de médicos em um hospital, em casos emergenciais;
- d) **emergência:** monitoramento vital contínuo em tempo real para alertas imediatos de mudanças no estado do paciente.

Uma aplicação de RSSF que pode trazer impactos na área da saúde é o monitoramento remoto de pacientes crônicos e idosos, que podem ser usados para coletar dados periódicos ou contínuos e serem enviados para um médico ou responsável, permitindo a atenção e análise dos dados em tempo real (figura 7). Os dados também podem ser retransmitidos para o hospital ou correlacionados, podendo assim, reduzir a duração da internação hospitalar (AMEEN; LIU; KWAK, 2012, tradução nossa).

Figure 7 - Sensores colocados no corpo humano para monitorar condições físicas

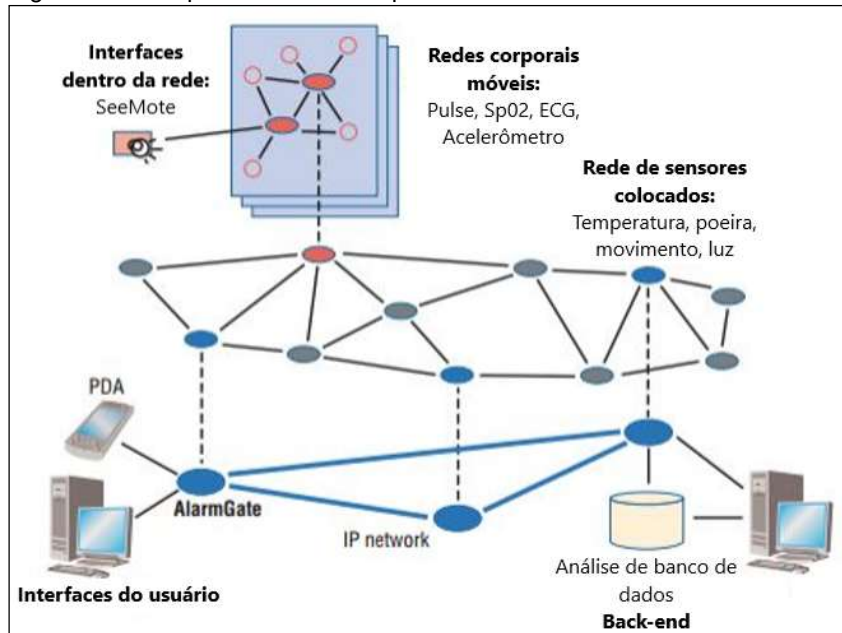


Fonte: Fourati et al. (2015).

Apoiado pela Comissão da União Européia, o projeto *MobiHealth* surgiu com o objetivo de informar aos pacientes orientações médicas à distância, enviar medições completas, detalhadas e precisas dos sinais vitais independentemente de onde estiverem. O sistema fornece uma plataforma completa de monitoramento móvel implantada sobre redes UMTS e GPRS. Isso é possível equipando o paciente com diferentes sensores que monitoram seus sinais vitais de forma contínua utilizando tecnologias como *Bluetooth* e *ZigBee*. Esses dados coletados mostraram-se equivalentes aos coletados em centros médicos, com a vantagem de que o paciente não precisará ir até um deles, criando o conceito de "cuidados médicos onipresentes" (HALTEREN et al., 2004, tradução nossa).

Existem muitas aplicações para o uso de uma RSSF. A figura 8 mostra uma estrutura básica de uma RSSF para monitoramento da saúde, composta por nós sensores que coletam parâmetros fisiológicos, como frequência cardíaca e os níveis de oxigênio no sangue, nos sensores que coletam dados ambientais e agem como uma infraestrutura de comunicação, várias interfaces de usuário, como PC e PDA e um bancos de dados *back-end* utilizadas para gravar os dados usados para fazer análises sobre a saúde e as necessidades dos indivíduos (SAITO; ZARPELAO, 2013, tradução nossa).

Figura 8 - Exemplo de uma RSSF para monitoramento remoto de saúde



Fonte: Saito e Zarpelão (2013).

4 FUSÃO DE DADOS

Em RSSF, o sensoriamento de um fenômeno pode gerar um alto nível de transmissões de dados, comprometendo o tempo de vida da rede. Essa característica implica a necessidade de um processamento distribuído na rede para reduzir a comunicação entre os nós. Esse tipo de processamento é realizado pela agregação de dados enquanto estes são roteados, fazendo uso de um modelo de roteamento centrado em dados, em oposição à abordagem tradicional centrada em endereços. As técnicas de agregação empregadas podem realizar desde uma simples supressão de mensagens até a aplicação dos métodos de Fusão de Dados (PINTO, 2004).

A Fusão de Dados é um serviço importante para aplicações de rede de sensores. O objetivo da fusão é agregar dados de sensores independentes para calcular informações úteis, como a média de todas as leituras dos sensores, o valor máximo entre as leituras dos sensores ou o número de sensores que detectam um evento (SO; KIM; GUPTA, 2005, tradução nossa).

Segundo Antony (1995, tradução nossa), o conceito de Fusão de Dados foi introduzido no início da década de 70 em pesquisas médicas destinadas à produção de diagnósticos via métodos computacionais, e também no campo militar, em estudos para identificação de alvos. Desde então, o problema da fusão de dados esteve relacionado à necessidade de se combinar dados precisos (natureza binária) e imprecisos (nebulosos), que apresentam diversos graus de incerteza.

A Fusão de Dados de múltiplos sensores envolve a combinação de informação coletada por diversos sensores, para derivar informações úteis que não são fornecidas pelos sensores individuais, principalmente quando a confiabilidade e a exatidão são consideradas. Portanto, o procedimento de medição baseado em técnicas de fusão de dados de sensores permite que o sistema seja mais tolerante a falhas e com a capacidade para prover novas informações, que nenhum sensor poderia fornecer de maneira individual (FACELI et al., 2004).

Um processo de Fusão de Dados usualmente se inicia com a homogeneização dos dados, atuando com um mecanismo de tradução que realize o mapeamento de dados brutos coletados de um sistema qualquer para o formato padronizado de representação escolhido. Em seguida, os dados traduzidos são interpretados e combinados por meio de algoritmos de otimização que apresentam

como objetivo a combinação dos dados. Por fim, o algoritmo atua a fim de validar os resultados do processo de Fusão de Dados, fornecendo a informação de melhor qualidade possível sobre o estado do sistema (COUTTO FILHO; SOUZA; SCHILLING, 2007).

4.1 MODELOS DE FUSÃO DE DADOS

Nos últimos anos a tecnologia de Fusão de Dados avançou rapidamente de uma coleção de técnicas perdidas a uma disciplina emergente com uma terminologia padrão. A falta de uma terminologia unificadora impedia a transferência de tecnologia de um grupo para outro nesta área (RAHMAN, 2001, tradução nossa). Normalmente, as arquiteturas de Fusão de Dados são baseadas em sistemas centralizados, no entanto, o desenvolvimento dos algoritmos de fusão provoca um alto custo computacional e um aumento do consumo de energia. Assim, a fim de evitar estes problemas, algumas arquiteturas distribuídas foram concebidas nos últimos anos (ALEMÁN, 2016).

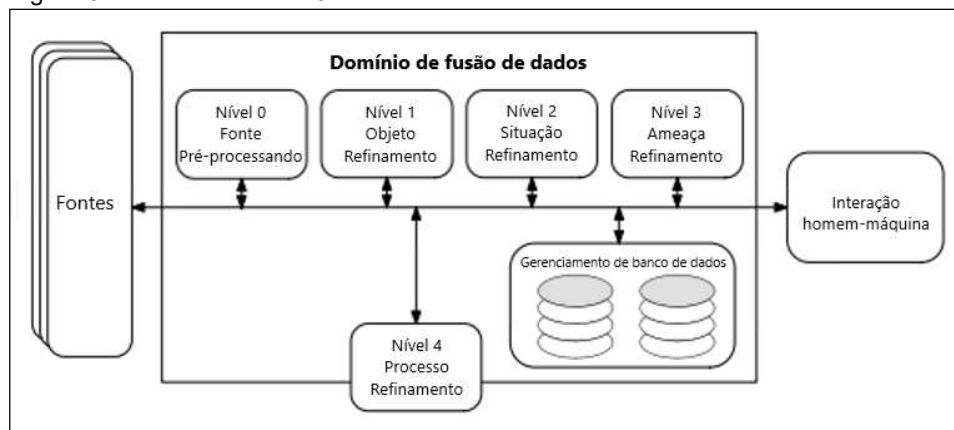
Entre os modelos mais importantes estão: o Modelo de Fusão de Dados JDL, o Modelo *Waterfall* proposto por Markin et al. (1997, tradução nossa) e o Modelo de Fusão de *Thomopoulos* (1990, tradução nossa):

- a) no modelo JDL, os autores propuseram um modelo de cinco níveis, dos quais o primeiro está relacionado com a extração de informações, e o último com a extração de conhecimento. O modelo JDL não foi desenhado para escolher uma ordem concreta para os níveis de Fusão de Dados já que podem ser processados consecutivamente e executados concorrentemente (ALEMÁN, 2016);
- b) o modelo *Waterfall* destaca as funções de processamento sobre os níveis mais baixos (MARKIN et al. 1997, tradução nossa);
- c) *Thomopoulos* apresenta uma arquitetura baseada em três níveis de processamento de dados: nível do sinal, nível de evidência e nível de dinâmica (THOMOPOULOS, 1990, tradução nossa).

4.1.1 Modelo JDL

O Modelo JDL é um dos mais utilizados na área de Fusão de Dados. Foi definido pelo *Grupo Joint Directors of Laboratories* (JDL), um grupo pertencente ao Departamento de Defesa dos EUA para auxiliar o desenvolvimento de aplicações militares. Na figura 9, o Modelo de Fusão de Dados JDL está composto por cinco níveis de processamento de dados e um banco de dados, todos interligados por um canal de comunicação. Os níveis não precisam ser executados em uma ordem estrita e podem também ser executados concorrentemente.

Figura 9 - Modelo de fusão JDL



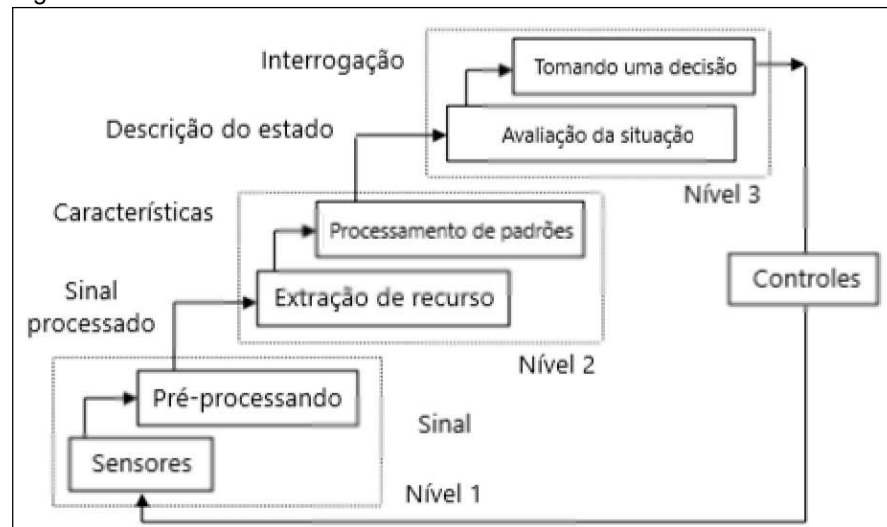
Fonte: Elmenreich (2001).

Apesar da sua origem no domínio militar, o modelo JDL tem sido muito popular para os sistemas de fusão, podendo ser utilizado para várias outras aplicações (ELMENREICH, 2001, tradução nossa).

4.1.2 Modelo Waterfall

O modelo *Waterfall* proposto por Markin et al. (1997, tradução nossa), possui uma arquitetura que enfatiza as funções de processamento sobre os níveis mais baixos, levando o fluxo do nível de dados até o nível da tomada de decisão. Existem três níveis de representação no modelo de *Waterfall* (figura 10).

Figura 10 - Modelo de fusão Waterfall



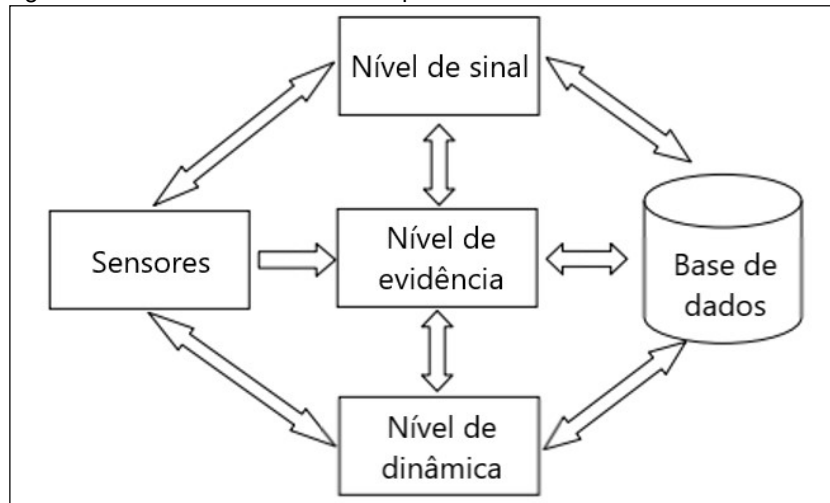
Fonte: Markin et al. (1997)

Embora seja mais exato em analisar o processo de fusão do que outros modelos, a principal limitação do modelo *Waterfall* é a omissão de qualquer fluxo de dados de *feedback*. O modelo *Waterfall* tem sido usado na comunidade de Fusão de Dados de defesa na Grã-Bretanha, mas não foi adotado de forma significativa em outros lugares (ELMENREICH, 2001, tradução nossa).

4.1.3 Modelo Thomopoulos

Thomopoulos propôs um modelo diferente, não focado nas aplicações militares, mas ligado ao campo da robótica. O modelo proposto consiste em uma arquitetura genérica e um framework analítico para abordar a Fusão de Dados em três níveis de processamento de dados: nível do sinal, nível de evidência e nível de dinâmica (figura 11). Esse modelo apresenta a vantagem de ser dividido em módulos que são facilmente testados e reutilizados por outros aplicativos (ALEMÁN, 2016).

Figura 11 - Modelo de fusão Thomopoulos



Fonte: Esteban et al. (2005).

Thomopoulos destacou que qualquer sistema de Fusão de Dados deve considerar três critérios essenciais para alcançar o desempenho desejado em Fusão de Dados (ESTEBAN et al., 2005, tradução nossa):

- a) unanimidade em relação a informação fusionada;
- b) unanimidade em relação aos custos envolvidos;
- c) robustez em relação a qualquer incerteza *a priori*.

Além disso, fatores como o atraso na transmissão de dados, erros de canal e outros aspectos de comunicação, bem como o alinhamento espacial / temporal dos dados também devem ser levados em consideração no sistema de Fusão de Dados (ESTEBAN et al., 2005, tradução nossa).

4.1.4 Modelo de Fusão em Níveis

Cada um desses modelos apresentados até o momento possuem vantagens e desvantagens na sua estrutura e concepção, contudo, compartilham a desvantagem de não possuírem uma classificação da natureza dos dados de entrada e de saída da fusão dos algoritmos, ou seja, os modelos acima tratam os dados de forma genérica sem haver uma distinção entre dado numérico, imagem, objeto, entre outros. Além disso, a maioria desses modelos está mais preocupada com a organização e controle do fluxo dos dados no sistema do que com o bloco responsável pela fusão dos dados dos sensores (SALUSTIANO, 2006).

O Modelo de Fusão em Níveis descrito por Luo e Kay (1995, tradução nossa) apresenta uma divisão clara dos processos de fusão de acordo com a natureza do dado a ser combinado, além de classificar os tipos de fusão que podem ocorrer com os dados.

Nesse modelo, os dados dos sensores podem ser combinados em quatro níveis de representação (ou níveis de fusão): nível de sinal (*signal-level*), nível de pixel (*pixel-level*), nível de característica (*feature-level*) e nível de símbolo (*symbol-level*). Dependendo da necessidade de cada sistema e do grau de similaridade dos sensores utilizados, um desses níveis é utilizado. Na tabela 3 podemos ver a comparação entre os Níveis de Fusão de sensores.

Tabela 3 - Comparação entre os Níveis de Fusão

	Nível de Sinal	Nível de Pixel	Nível de Característica	Nível de Símbolo
Informação	Sinais uni ou multi-dimensionais	Imagens	Características extraídas de sinais e imagens	Símbolos capazes de representar decisões
Grau de complexidade	Baixo	Baixo a Médio	Médio	Alto
Métodos de fusão	Média Aritmética Média Ponderada Filtro de Kalman Sensores em Consenso	Filtros Lógicos Morfologia Matemática Álgebra de Imagens Recozimento Simulado	Transformações Geométricas Segmentação Inteligência Artificial	Estimativa Bayesiana Teoria dos Conjuntos Lógica Booleana Lógica Fuzzy

Fonte: Salustiano (2006).

Um dos modos mais simples de se realizar a fusão dos sinais provenientes de sensores da mesma natureza é aplicar a Média Aritmética aos valores. Contudo, pode-se refinar essa média aplicando a Média Ponderada pelo inverso da exatidão de cada sensor, dando assim um maior peso aos dados obtidos por sensores mais exatos.

Uma outra forma de realizar a fusão de sinais é através da Filtragem Kalman (KALMAN, 1960, tradução nossa), que consiste em um conjunto de equações matemáticas recursivas que estimam o estado de uma variável com o objetivo de minimizar o seu erro quadrático médio.

4.2 FILTRO DE KALMAN

Existem várias maneiras de se estimar estados de um sistema dinâmico, porém cada uma delas apresenta algumas limitações e restrições conforme a área de aplicação. Partindo-se desta ideia, Kalman (1960, tradução nossa) propôs um novo método de filtragem linear e predição a partir de medições ruidosas, fazendo-se o uso de técnicas probabilísticas.

A teoria do Filtro de Kalman fornece equações para modificar recursivamente as estimativas de um processo desconhecido, combinando observações relacionadas com o processo e conhecimentos sobre a evolução temporal (HOMLEID, 1995, tradução nossa). Isso significa que apenas o estado estimado a partir da etapa de tempo anterior e a atual medição são necessários para calcular a estimativa para o estado atual.

Podem ser estimados os estados passados, o estado presente e mesmo previstos os estados futuros. Dado alguns valores iniciais pode-se prever e ajustar os parâmetros do modelo através de nova medição, obtendo a estimativa do erro em cada atualização.

A predição, também conhecida como estimativa *a priori*, estima o estado atual apenas com dados estimados até o passo anterior, não incluindo dados observados no tempo atual. Na sequência, o estado atual é incrementado com a atualização, na qual a estimativa *a priori* é corrigida com a observação do tempo atual, resultando em uma estimativa combinada, conhecida como estimativa *a posteriori* (AIUBE, 2005, tradução nossa).

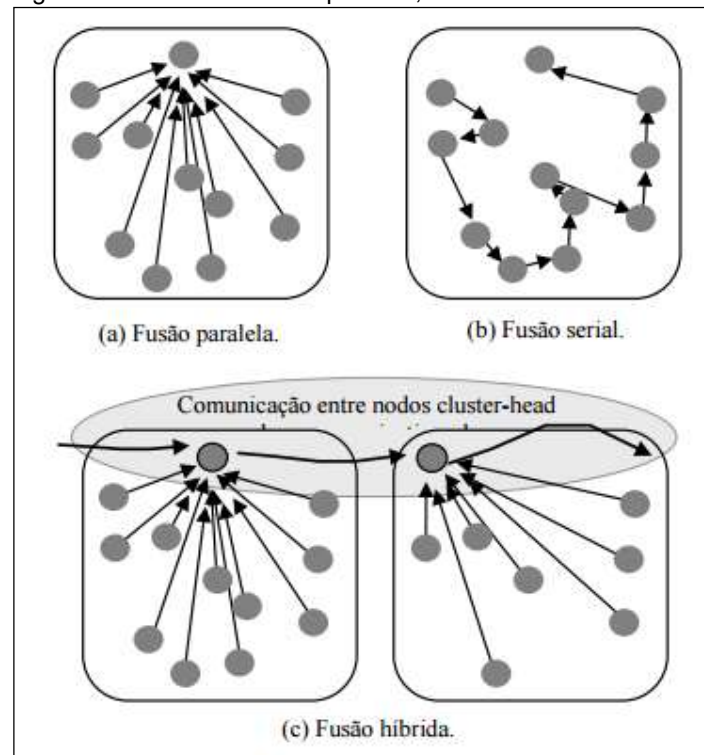
4.3 FUSÃO DE DADOS EM RSSF

A Fusão de Dados entre os nós sensores em uma RSSF é desejada para evitar o consumo de energia desnecessário, combinando dados coletados por múltiplos sensores a fim de aumentar a qualidade da tomada de decisões. Devido à grande aplicação das redes de sensores sem fio e às características limitadas dos dispositivos sensores, o desenvolvimento de técnicas de Fusão de Dados tem sido de grande necessidade para as mais diversas aplicações deste tipo de rede. Segundo

(PINTO et al., 2007), existem três tipos de soluções para fusão de Dados em redes sem fio (figura 12):

- a) **paralelas**: os dados dos sensores são encaminhados para o centro de fusão sem que haja combinação dos dados ao longo do caminho da comunicação;
- b) **serial**: combina a informação de outros sensores com a sua informação para, somente então, executar o reencaminhamento de dados;
- c) **híbrida**: combina o uso das duas soluções, podendo ser usada em redes hierárquicas.

Figura 12 - Fusão de dados paralela, serial e híbrida



Fonte: Pinto et al. (2007).

4.4 APLICAÇÕES EM FUSÃO DE DADOS

As técnicas de Fusão de Dados são úteis para uma variedade de aplicações, que vão desde a detecção, reconhecimento, identificação e classificação de objetos, à rastreamento de objetos, detecção de mudanças, tomada de decisão, entre outros. Foi aplicado com sucesso nos domínios de observação espacial e

terrestre, visão por computador, análise de imagens médicas e segurança de defesa, entre outros (ZHANG, 2010, tradução nossa).

A pesquisa sobre Fusão de Dados tem uma longa história na comunidade porque produtos de fusão são a base para muitas aplicações. Pesquisadores e profissionais fizeram grandes esforços para desenvolver abordagens e técnicas avançadas de fusão para melhorar o desempenho e a precisão. Fusionar dados detectados remotamente, especialmente dados de fontes múltiplas, no entanto, continua sendo desafiador (ZHANG, 2010, tradução nossa).

Como exemplo, Simone et al. (2002, tradução nossa) descreve três aplicações típicas de Fusão de Dados em sensoriamento remoto, como a obtenção de mapas de elevação a partir de interferômetros de Radar de Abertura Sintética, do inglês *Synthetic Aperture Radar* (SAR), a fusão de imagens multi-sensorial e multi-temporal e a fusão de multi-frequência, multipolarização e imagens SAR multi-resolução.

Na área da saúde muitos estudos estão sendo realizados, por exemplo, Salman et al. (2014, tradução nossa) propôs uma estrutura de sensores para apoiar aplicações avançadas de saúde. O objetivo do trabalho é melhorar a eficiência de escalabilidade de cuidados de saúde, aumentando os processos de triagem remota e priorização remota para os pacientes. Além disso, também é utilizado para fornecer serviços inteligentes através de sistemas de serviços de atendimento ambulatorial através do método de Fusão de Dados e técnica de priorização.

4.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS NO USO DA FUSÃO DE DADOS

Segundo Elmenreich (2002, tradução nossa), sistemas que utilizam Fusão de Dados oferecem vantagens sobre sistemas que utilizam sensores individualmente. Sistemas que utilizam sensores individuais, podem geralmente gerar problemas como falhas dos sensores, baixa faixa de cobertura, atrasos de leituras, imprecisões e incertezas:

- a) **falha de sensor:** a falha de algum sensor causa a perda da percepção do objeto desejado. Esta perda pode ser tanto de uma característica como do objeto como um todo;

- b) **faixa de cobertura restrita:** geralmente um sensor cobre apenas uma parte da região observada. Por exemplo, um sensor de temperatura em uma caldeira cobre apenas uma região próxima de si e pode não indicar corretamente a temperatura média da caldeira;
- c) **atrasos em leituras:** alguns sensores possuem atraso (*delay*) entre uma leitura e outra. Estes atrasos acabam gerando “janelas” em que não há nenhuma informação sobre este período, limitando a frequência de medições;
- d) **imprecisão:** as medições feitas por sensores individuais são limitadas à precisão do sensor empregado;
- e) **imperfeição:** as imperfeições não dependem somente da imprecisão. Os dados dos sensores são geralmente afetados por algum nível de imprecisão que possa haver nos dispositivos ou erros provocados também por ruídos (ELMENREICH, 2002, tradução nossa).

Uma solução para estes problemas é a fusão de dados em sensores, que tem a proposta de fornecer informações úteis sobre características do ambiente, bem como permitir sua visão global. Uma das vantagens da fusão é que informações mais refinadas e precisas do ambiente podem ser obtidas, em um menor intervalo de tempo e custo (SALUSTIANO, 2006). Isso é possível por meio das seguintes vantagens:

- a) **tolerância a falhas:** o uso de múltiplos sensores aumenta a tolerância a falhas de um sistema. Caso algum sensor falhar, os demais sensores que não falharam continuam a fornecer informações para o sistema;
- b) **maior cobertura no domínio espaço-tempo:** um sensor pode cobrir uma área (espaço) em que outros não cobrem, e em contrapartida, outros podem realizar uma medição enquanto outros não podem. Um sensor pode fazer uma medição enquanto outro está dentro de um *delay*, desta forma, fornecendo dados sobre um período em que não seria possível se estivesse utilizando um sensor isoladamente;
- c) **redução de ambiguidade:** a união de informações reduz a ambiguidade da interpretação dos valores observados. Valores discrepantes do conjunto observado podem ser descartados mediante critério definido;
- d) **confiança:** a medição de um sensor é confirmada pelas medições de outros sensores cobrindo o mesmo domínio;

- e) **robustez em relação a interferências:** com o aumento da dimensão do espaço medido utilizando sensores diferentes para o mesmo fim, como sensores ópticos juntamente com sonares, torna sistema menos suscetível a interferências;
- f) **aumento da resolução:** quando os dados de vários sensores são utilizados e fundidos, a resolução do valor resultante é melhor do que um valor obtido por um sensor individualmente (ELMENREICH, 2002).

Em um sistema onde os dados são processados por métodos de fusão, a entrada para o controle da aplicação é padronizada independentemente dos sensores utilizados, facilitando a implementação da aplicação e também a possibilidade da alteração da camada de sensores quanto ao número e tipos empregados sem a necessidade de modificações no *software* da aplicação (ELMENREICH, 2002, tradução nossa).

5 TRABALHOS CORRELATOS

Neste capítulo são apresentados alguns trabalhos importantes para complementação dos estudos, que ajudaram não só a ampliar o conhecimento do acadêmico, como também, corroborar a importância desta pesquisa.

5.1 MONITORAMENTO DE SINAIS VITAIS UTILIZANDO RSSF

No Trabalho de Conclusão de Curso para o grau de Bacharel em Ciência da Computação, da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Maggi (2015) propõe montar uma rede de sensores sem fio que monitora sinais vitais do corpo humano para visualização de dados a partir de um *smartphone*, podendo ser utilizado em diversas situações, como monitorar idosos em um asilo facilitando para os enfermeiros caso alguma situação de risco ocorra.

Foram efetuadas pesquisas sobre formas de comunicação sem fio que pudessem ser utilizadas para transferir sinais vitais de seres humanos até um computador e uma forma de enviar estes dados recebidos para um *smartphone*, que atendesse o critério de utilizar pouca energia, pois cada sensor não teria uma fonte de energia fixa, já que as pessoas podem estar em movimento ou não, e que trabalhasse com vários nós.

Os resultados adquiridos foram muito satisfatórios, pois mesmo com algumas inconsistências, os dados são transmitidos e visualizados, sendo tratado na aplicação do *smartphone*. Caso receba algum pacote defeituoso, os dados na interface não são atualizados.

5.2 FUSÃO DE DADOS PARALELA EM REDES DE SENSORES SEM FIO DENSAS UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO

Esta dissertação foi submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Automação e Sistemas. Neste trabalho, Bitencort Junior (2008) aborda o uso de algoritmo genético para atingir a autoconfiguração e auto otimização em RSSF densas.

Duas abordagens de algoritmo genético foram implementadas e simuladas. Essas abordagens atuam em um nodo central, o qual não possui restrições de recursos. Este nodo é responsável por gerenciar os demais nodos da rede. O objetivo final é reduzir as perdas de mensagens, e melhorar a qualidade dos dados coletados. Como consequência, consegue-se aumentar a eficiência energética da rede. Os resultados das simulações demonstraram a viabilidade dessa abordagem.

5.3 FUSÃO DE DADOS EM REDES DE SENSORES SEM FIO

Nakamura (2007) oferece nesta tese de doutorado uma discussão geral sobre o tema de fusão de dados em RSSF, que permite a identificação de problemas em aberto e o entendimento dos requisitos e implicações do uso de fusão de dados em RSSF. Esta discussão é feita através de um levantamento bibliográfico envolvendo fusão de dados em RSSF.

Com a análise das arquiteturas, modelos e métodos de fusão de dados identificados neste levantamento bibliográfico, é proposto um *framework*, chamado *Diffuse*, que compreende as principais funções e atividades de um processo genérico de fusão de dados e uma API que implementa métodos de fusão frequentemente utilizados em RSSF.

Além disso, este trabalho propõe uma estratégia de roteamento, baseada em atribuição de papéis, para garantir a execução de uma aplicação de fusão de dados. Neste caso, baseando-se na premissa de que fusão de dados é utilizada pela aplicação para detecção de eventos, é proposto um algoritmo de atribuição de papéis, chamado InFRA, que organiza a rede somente quando um evento é detectado.

Os resultados apresentados mostram que, em alguns casos, o InFRA utiliza apenas 70% da energia gasta por outros algoritmos de roteamento usualmente adotados em RSSF.

5.4 MONITORAMENTO DE SINAIS VITAIS

Neste trabalho feito por Souza e Mesquitta (2013), foi apresentada uma revisão dos fundamentos teóricos da computação ubíqua e suas aplicações na medicina. Também foram identificadas as pesquisas que estão sendo feitas sobre o

desenvolvimento de arquiteturas para ambientes de execução em computação ubíqua na área da saúde. Posteriormente, foram apresentadas as tecnologias relacionadas à aquisição de sinais vitais e os principais projetos de pesquisas referentes a este tema. Para finalizar foram identificados os principais desafios e requisitos para o desenvolvimento de arquiteturas na medicina ubíqua.

Com os estudos feitos neste trabalho, pode-se concluir que o uso de redes de sensores sem fio na área de saúde é muito promissor. Porém estas aplicações ainda precisam atender a diversos desafios, tais como segurança, privacidade, confiabilidade, normas e legislações, sensibilidade ao contexto, energia, mobilidade e facilidade de uso.

5.5 UM MODELO DE FUSÃO DE INFORMAÇÃO E DADOS DE SENSORES BASEADO NO MODELO JDL PARA A ASSISTÊNCIA NÃO INTRUSIVA A IDOSOS EM AMBIENTES OUTDOOR

Esta dissertação de mestrado proposta por Alemán (2016) aborda o problema da falta de uma solução satisfatória que consiga identificar maior informação do estado dos idosos que estão fazendo atividades em ambientes *outdoor*, levando em consideração os múltiplos fatores de risco que eles enfrentam uma vez que estão fora de casa.

A fim de resolver o problema de pesquisa, foi proposta a criação de um modelo de fusão de dados de múltiplos sensores, fontes de informação para inferir informações no domínio da assistência a idosos, em ambientes *outdoor*. O modelo de fusão de dados proposto foi baseado no modelo JDL e utilizou principalmente os dados fornecidos pelos sensores inseridos dentro dos *smartphones* e outras fontes de informação para inferir novas informações.

Conclui-se, então, que o Modelo de fusão de informação proposto fornece as funcionalidades necessárias para fazer a inferência do estado dos idosos que estão fazendo atividades em ambientes *outdoor* já que consegue aumentar a abrangência do contexto inferido com bons índices de acurácia.

6 MONITORAMENTO DE SINAIS FISIOLÓGICOS UTILIZANDO ALGORITMOS DE FUSÃO DE DADOS EM RSSF

O trabalho proposto consiste em construir um protótipo de monitoramento de uma grandeza fisiológica utilizando RSSF. Além disso, como foco principal do projeto, foram apresentadas diferentes técnicas de Fusão de Dados. No final, foi utilizado um dos conceitos apresentados para a implementação do algoritmo.

O objetivo do algoritmo é fazer o tratamento das informações coletadas pelos sensores antes de transmiti-las do nó coordenador para o destino. Ajudando assim, na eficiência de rede e no consumo energético, um dos principais problemas das RSSF (BITENCORT JUNIOR, 2008).

6.1 METODOLOGIA

Para alcançar os resultados almejados levou-se em conta a seguinte metodologia:

- 1) levantamento bibliográfico;
- 2) implementação da RSSF;
- 3) implementação do algoritmo;
- 4) realização de testes e correção dos possíveis erros;
- 5) análise dos resultados obtidos.

Na etapa do levantamento bibliográfico foram fundamentados e compreendidos os temas sobre o uso dos dispositivos móveis, aplicações *mHealth*, RSSF e os métodos de Fusão de Dados.

Das ferramentas foram analisados módulos Xbee, módulos de sensores, *Bluetooth*, *Integrated Development Environment* (IDEs) e placas de prototipagem, os quais foram estudados e testados para verificar suas funcionalidades disponíveis.

Atualmente, estão disponíveis diferentes formas de mensuração da temperatura, podendo ser obtida através de diversos locais do corpo, como axila, nasofaringe, esôfago, reto, membrana timpânica, artéria temporal, artéria pulmonar ou bexiga (POVADE; NASCIMENTO, 2016).

Por se tratar de uma pesquisa que não exige a acurácia das temperaturas coletadas, o local do corpo humano escolhido para o monitoramento foram as pontas

dos dedos. Esse local foi escolhido pela facilidade de manuseio e também pela questão ética.

Sabendo que este trabalho necessita da temperatura corporal de uma pessoa para a realização de testes do protótipo, um projeto foi enviado para o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UNESC.

Os CEPs são responsáveis pela avaliação ética dos projetos de pesquisa que envolvem seres humanos no Brasil, tendo como objetivo, defender os interesses dos sujeitos em sua integridade e dignidade.

O parecer foi aprovado e liberado no dia 30/07/2017 através do Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE): 77223417.9.0000.0119 (Anexo A).

6.1.1 Estrutura de *Hardware*

Uma família de aplicações de RSSF que se destaca é a de *eHealth*, um termo geral utilizado para descrever o uso combinado de eletrônica, comunicação e sistemas de informação provendo suporte ao setor da saúde.

Para atender aos critérios de *mHealth*, que, como citado em capítulos anteriores, é um campo específico dentro de *eHealth*, foi necessário utilizar uma tecnologia para enviar os dados dos sensores para o smartphone que possibilitasse a movimentação dos usuários.

Para a implementação da RSSF, foi seguido o modelo do protótipo já aplicado por Maggi (2015), onde foram utilizadas as seguintes ferramentas:

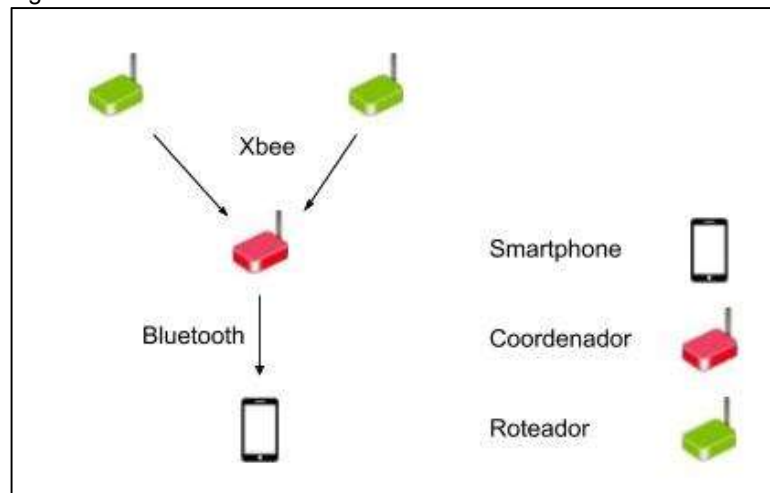
- a) antenas *Xbee Series 2*;
- b) *Arduino Xbee Shield*;
- c) *Xbee Explorer* USB;
- d) sensores de temperatura LM35;
- e) *Arduinos Uno*;
- f) smartphone com *Bluetooth*;
- g) notebook com *Bluetooth*;
- h) cabos de alimentação do *Arduino*;
- i) baterias 9v.

A arquitetura de comunicação foi estabelecida de acordo com Maggi (2015), que atende o propósito do trabalho, permitindo rápida implementação e dispondo de um baixo consumo de energia.

Conforme ilustrado na figura 13, a estrutura ficou organizada basicamente da seguinte forma:

- a) **Sensores:** responsáveis pela captação da temperatura do corpo humano. Para cada nodo, foi utilizado um sensor de temperatura LM35 e um *Arduino*. Com os dados obtidos, foi necessário enviá-los para o nó coordenador com as antenas *Xbee Series 2*;
- b) **Nó coordenador:** recebe os dados obtidos pelos sensores e enviados pelos *Xbee*, e também, onde é feito a Fusão de Dados. Conforme Salustiano (2006), a decisão para a escolha do local onde ocorre a fusão dos dados é uma característica típica de cada sistema. Nesse caso, essa escolha foi feita pela praticidade e por ser apenas para demonstração do algoritmo. Um *notebook* onde foi implementado em Java uma conexão serial com os *Xbee* e que passa os dados por um algoritmo de fusão feito seguindo os conceitos do Filtro de Kalman;
- c) **Smartphone:** após a fusão dos dados no nó coordenador, o pacote de dados é enviado por *bluetooth* para o *smartphone*, que exibe o resultado em uma aplicação.

Figura 13 - Cenário com a estrutura de rede utilizada



Fonte: Do autor.

Para a configuração da rede foi necessário utilizar o programa XCTU, iniciando com a atualização do *firmware* de todos os módulos. Logo após, foi necessário cadastrar o nome ID (*Identification*) da rede e os endereços *Destination Address High* (DH) e *Destination Address Low* (DL) dos módulos, para que os roteadores possam se comunicar somente com o coordenador da rede.

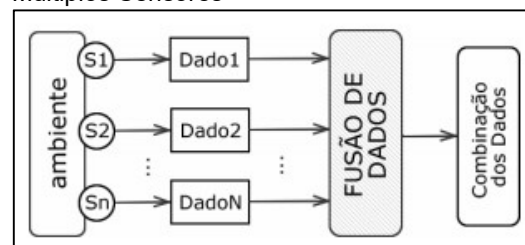
6.1.2 Coleta dos dados

Há vários métodos para se medir a temperatura corporal, pois cada parte do corpo possui uma temperatura diferente, podendo haver variações. Alguns lugares que podem ter maior precisão, porém têm maior desconforto, como nas axilas ou na boca, e alguns de mais fácil acesso como na própria mão ou peito, têm menor precisão e precisam de métodos para compensar esta diferença. A temperatura corporal normal de um ser humano varia em cada parte do corpo, nas axilas, por exemplo, fica entre 35,5°C a 37°C, já na oral é considerado normal estar entre 36°C e 37,4°C.

Para a aquisição da temperatura, foi utilizado o sensor de temperatura LM35. Este sensor possui saída com baixa impedância, tensão linear e calibração inerente precisa, fazendo com que o interfaceamento de leitura seja especificamente simples e o custo do sistema como um todo seja significativamente baixo.

Em um monitoramento de qualquer tipo de natureza, eventualmente dados anômalos (*outliers*) são gerados, afetando a qualidade final dos dados. Essas condições implicam na necessidade da utilização de métodos de Fusão de Dados (figura 14) que viabilizem o funcionamento da rede e aumentem a confiança nos dados monitorados.

Figura 14 - Processo de Fusão de Dados de Múltiplos Sensores



Fonte: Salustiano (2006).

Para solucionar este problema, foram efetuadas pesquisas sobre diferentes tipos de métodos de fusão. A técnica que mostrou maior destaque entre os trabalhos estudados, foi o Filtro de Kalman.

6.1.3 Recebimento e tratamento dos dados

Para receber e realizar o tratamento dos dados provenientes dos sensores, foi desenvolvida uma aplicação desktop em *Java* que faz a leitura da porta serial conectada ao *Xbee*. A IDE utilizada foi o *Eclipse Oxygen v4.7.1a*.

Para a comunicação com o *Xbee* foi utilizado a biblioteca *RxTx*. Que é baseada na API *Javacomm*, distribuída pela própria *Oracle*, com a vantagem sobre esta de ser portátil tanto para *Linux*, como também *Windows* e *Mac*, enquanto que a *Javacomm* em sua versão atual, só é portátil para *Linux*, limitando de certa forma o processo de desenvolvimento para múltiplas plataformas. Com isso, foi possível obter as temperaturas e realizar a Fusão de Dados utilizando o Filtro de Kalman.

A Filtragem Kalman vem sendo utilizada amplamente em aplicações de localização e reconhecimento de trajetórias nas quais as variáveis combinadas são a posição e a velocidade do objeto que está em movimento. Um requisito fundamental para a aquisição dos dados dos sensores é a estimativa do passado, presente, e do futuro das variáveis de um sistema.

Em um ponto de vista mais técnico, o Filtro de Kalman é um algoritmo para realizar, de forma eficiente, estimativas sobre um sistema dinâmico linear, onde o espaço de estados das variáveis não observadas é contínuo e todas as variáveis, observáveis ou não, possuem uma distribuição gaussiana.

Para entender o que é distribuição gaussiana, é necessário primeiramente definir evento aleatório, que, trata-se de um evento cuja ocorrências individuais não obedecem às regras ou padrões que permitam fazer previsões acertadas.

A estatística mostra que, apesar da ocorrência individual destes eventos aleatórios ser imprevisível objetivamente, é possível tirar algumas conclusões a partir de um conjunto deles. Muitos dos conjuntos de eventos aleatórios apresentam padrões que não são identificáveis em cada evento isolado, como a tendência dos eventos se concentrarem próximos à uma posição que representa uma média

matemática deles. Assim, a quantidade de eventos diminui constante e gradativamente à medida que nos afastamos da média.

Para exibir os resultados dos sensores e da fusão, foi criado um gráfico utilizando as seguintes bibliotecas:

- a) *jfreechart-1.0.19.jar*;
- b) *jcommon-1.0.23.jar*.

6.1.4 Envio dos dados

Após o tratamento realizado pela fusão, os dados são enviados do nó coordenador para o *smartphone* via comunicação *bluetooth* e exibidos ao usuário final.

Para a conexão foi necessário utilizar o conceito cliente-servidor. Onde o servidor é o responsável por enviar os dados ao cliente. Para a criação do servidor foi utilizada a biblioteca *Java BlueCove* no nó coordenador. Já para o cliente foi desenvolvido uma aplicação para *smartphone Android* utilizando a *IDE Android Studio* e utilizado a *Android Bluetooth API* para implementar a interface de comunicação com o servidor.

Basicamente, conforme a figura 15, a aplicação exibe o resultado da Fusão de Dados realizada pelo nó coordenador.

Figure 15 - Protótipo feito para o *smartphone*



Fonte: Do autor.

6.2 RESULTADOS OBTIDOS

Nesta abordagem, especificamente no nível de sinal do modelo de Fusão em Níveis, foi descrita a proposta para a melhoria da eficiência da rede, diminuindo a perda de dados e a melhora no consumo energético em RSSF.

As RSSF possuem um grande potencial econômico e prometem transformar nossas vidas. Aplicações que dependem de dados em regiões de difícil acesso até aplicações que monitoram parâmetros biológicos do nosso organismo dependem de uma RSSF. Essas redes devem se popularizar a medida que o hardware utilizado tenha maior capacidade e seja mais barato. No entanto, a energia deve ser ainda um problema fundamental. Por isso, é fundamental que várias pesquisas sejam feitas nessa área.

Segundo Barros (2013), é importante destacar que em uma RSSF, o elemento que mais consome energia é a comunicação, principalmente na função de transmissão e encaminhamento dos dados coletados pelas unidades de sensoriamento. Além disso, também é importante salientar que a questão energética é a que mais impõe restrição no tempo de vida de uma rede.

Com o uso do filtro de Kalman para a Fusão de Dados, foi possível diminuir a quantidade de pacotes que trafegam pela rede, conseqüentemente, diminuindo o gasto energético dos sensores gerado pelo encaminhamento dos dados.

Mesmo em um ambiente de testes com dois sensores, como foi o caso desta pesquisa, o tamanho das amostras coletadas apresentou uma diminuição satisfatória de bytes (figuras 16 e 17). Em uma rede com maior número de sensores, a melhora pode ser ainda mais significativa. Conforme Loureiro et al. (2003), uma RSSF pode conter até 100 mil sensores.

Figura 16 - Tamanho em bytes das duas temperaturas

```

Console
TccKalman (1) [Java Application] C:\Program Files\Java\jre
Temperatura 1: 39.18°C
Temperatura 2: 35.39°C
O tamanho dos dados é: 38.0 bytes

```

Fonte: Do autor.

Figura 17 - Tamanho em bytes das temperaturas aplicadas ao Filtro de Kalman

```

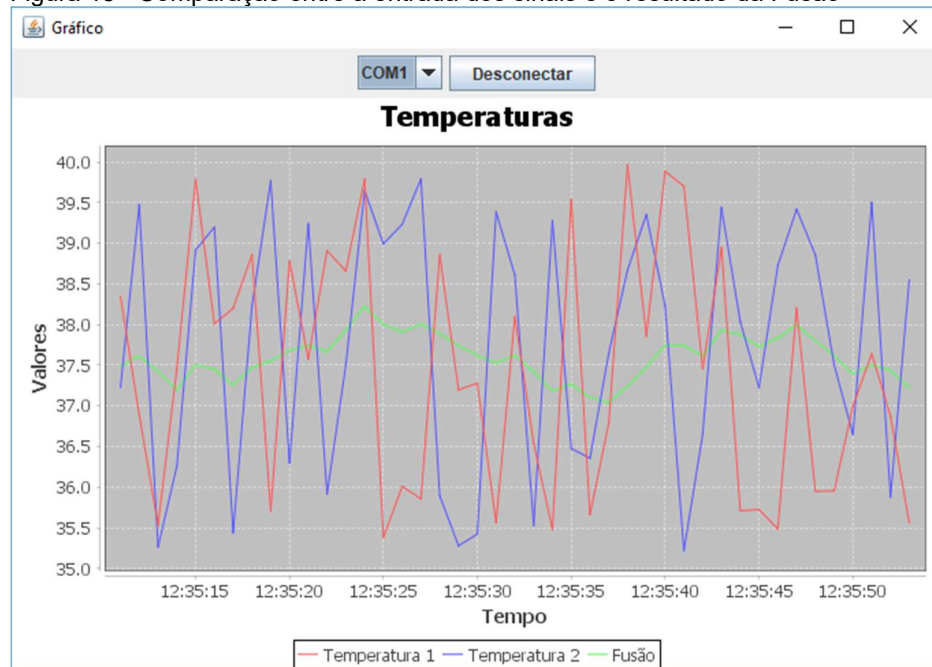
Console
TccKalman (1) [Java Application] C:\Program Files\Java\
Temperatura com Kalman: 37.37°C
O tamanho dos dados é: 7.0 bytes

```

Fonte: Do autor.

Na figura 18, é possível observar a entrada das duas temperaturas (Temperatura 1 e Temperatura 2) com os seus respectivos sinais brutos, podendo apresentar inconsistências ou perda de sinal. Enquanto a linha verde (Fusão) mostra a combinação das temperaturas, depois de passar pelo filtro de Kalman.

Figura 18 - Comparação entre a entrada dos sinais e o resultado da Fusão



Fonte: Do autor.

Pode-se perceber que o filtro busca equilibrar o resultado, tentando prever

a melhor resposta agregando os dados fornecidos sem comprometer a representatividade dos fenômenos monitorados, gerando informações que descrevem melhor um evento. Além disso, a qualidade dos dados também pôde ser melhorada com a eliminação de informações redundantes transportadas pela rede.

Os resultados adquiridos com a implementação deste algoritmo foram satisfatórios, sendo possível gerar um único dado de saída com os dados coletados através de múltiplas fontes, além disso, mesmo quando acontece alguma inconsistência nos dados o algoritmo consegue evitar a falha e prever o resultado baseando-se na predição e na atualização, aplicado pelo conceito do Filtro de Kalman.

O sensor LM35 apresentou ser uma boa ferramenta para medição de temperatura por ser de fácil implementação e manuseio. Existem muitos outros sensores de temperaturas no mercado (*eHealth* da *Cooking Hacks*, DS18B20, entre outros), entretanto, não era o objetivo deste trabalho analisar a melhor opção.

O *Arduino* mostrou-se uma boa ferramenta para utilização de prototipagem. A integração entre os módulos e placa *Arduino* pode ser feita por causa das minuciosas características que a placa apresenta, sendo uma delas, o micro controlador. Este garante um processamento satisfatório de acordo com as necessidades de obtenção de dados de segundos em segundos.

Outra tecnologia que se mostrou eficiente para esta pesquisa foi o *bluetooth*, apresentando bons resultados e sendo de fácil entendimento e implementação, no *JAVA* pela biblioteca *BlueCove* e no *Android* por meio da *Android Bluetooth API*.

Os resultados atingiram os objetivos propostos de descrever os conceitos de Fusão de Dados mais utilizados e implementar um algoritmo baseando-se em um destes, bem como, desenvolver um protótipo para monitoramento de uma grandeza fisiológica utilizando o protocolo *ZigBee* para RSSF e utilizar a comunicação *Bluetooth* para exibir os resultados em uma aplicação *mHealth*.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho conseguiu apresentar os principais conceitos de Fusão de Dados e propôs uma estrutura de RSSF que permitisse implementar um algoritmo para tratamento dos dados obtidos no monitoramento da temperatura corporal em seres humanos.

No decorrer do desenvolvimento desta pesquisa, foi possível notar que as RSSF são poderosas ferramentas de monitoramento, porém, ainda são um grande desafio. Do ponto de vista científico, ainda há muito por ser feito. Com o investimento em pesquisas e desenvolvimentos feitos nos últimos anos, aplicações que eram pensadas como ficção científica há poucos anos atrás são agora realidade. Projetar aplicações para redes de sensores é desafiante devido à larga escala, volatilidade da comunicação e restrições de consumo de energia.

Apesar dos vários desafios encontrados durante a realização desta pesquisa, a experiência adquirida foi de suma importância, pois além de utilizar o aprendizado adquirido durante o período acadêmico, ainda foi possível obter novos conhecimentos em variadas tecnologias ligadas a este estudo.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa diversas dúvidas surgiram e diferentes direções foram tomadas. Algumas dessas dúvidas geraram algumas ideias, que foram testadas e avaliadas gerando boas contribuições.

Por fim, através de todo conhecimento adquirido, novos projetos podem ser desenvolvidos e novos caminhos podem se abrir. Por ser tecnologias em constante crescimento, ter a oportunidade de aprender e trabalhar suas aplicações proporcionou uma experiência diferenciada no projeto. Como sugestão de trabalhos futuros, pode-se empregar as seguintes extensões:

- a) implementação de um algoritmo de agregação de dados para utilização de dois ou mais sensores de naturezas distintas;
- b) analisar outras ferramentas para substituir o *Arduino* de forma que seja possível utilizar somente sensores e antenas, melhorando a usabilidade e conforto;
- c) utilização de outras técnicas de Fusão de Dados, ou até mesmo, implementação de uma nova técnica;

d) utilização de mais de uma técnica de Fusão de Dados para comparação de eficácia.

REFERÊNCIAS

AIUBE, F. **Modelagem dos preços futuros de commodities: abordagem pelo filtro de partículas**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-RIO, Rio de Janeiro. 2005.

ALEMÁN, J.J. **Um modelo de fusão de informação e dados de sensores baseados em JDL para a assistência não intrusiva a idosos em ambientes outdoor**. 2016. 121 f. Dissertação (Mestrado em Computação) - Universidade Federal Fluminense, Niterói.

ALVES, R.C.A.; MARGI, C.B.; SANTOS, F.C.L.; OLIVEIRA, B.T. Redes de Sensores sem Fio Aplicadas à Fisioterapia: Implementação e Validação de um Sistema de Monitoramento de Amplitude de Movimento. **iSys - Revista Brasileira de Sistemas de Informação**, v. 5, 2013. Disponível em: <<http://www.seer.unirio.br/index.php/isys/article/view/2183>>. Acesso em jun de 2017.

AMEEN, A.; LIU, J.; KWAK, K. Security and Privacy Issues in Wireless Sensor Networks for Healthcare Applications. **Journal of Medical Systems**, 2012.

ANATEL. **Telefonia Móvel: Brasil registra 253,41 milhões de acessos em junho**. Brasília, jul. 2015. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/dados/index.php/destaque-1/283-movel-acessos-maio>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

ANTONY, R.T. **Principles of Data Fusion Automation**. Artech House Publ., Boston, 1995.

BARROS, M.O. **Gerenciamento de Redes de Sensores Sem Fio com Ênfase em Eficiência Energética**. Universidade Federal do Paraná, dez. 2013. Disponível em: <http://www.inf.ufpr.br/aldri/disc/artigos/Relatorio_Tecnico_Mauricio_Barros.pdf>. Acesso em: 25 abril 2018.

BITENCORT JUNIOR, B.R. **Fusão de Dados Paralela em Redes de Sensores Sem Fio Densas Utilizando Algoritmo Genético**. 2008. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Automação e Sistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BLUETOOTH. **Specification of the Bluetooth System**. Profile - Version 1.1. 2001. Disponível em: <<http://www.bluetooth.com>>. Acesso em 23 de jun de 2017.

BRASIL, L. M. **Informática em Saúde**. Taguatinga e Londrina: Universa e Eduel, 2008. v. 1. 600p.

CFM. **Demografia Médica 2015: População médica cresce mais que a geral, mas persistem desigualdades na sua distribuição.** Brasília, nov. 2015. Disponível em:

<http://portal.cfm.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=25867>. Acesso em ago de 2016.

COUTTO FILHO, M.B.; SOUZA, J.C.S.; SCHILLING, M.T. **Sobre o problema da integração generalizada de dados.** Sba Controle & Automação, Natal, v. 18, n. 1, p. 24-43, 2007. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-17592007000100003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em jun de 2017.

DARGIE, W.; POELLABAUER, C. **Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice.** John Wiley and Sons, 2010.

ELMENREICH, W. **An Introduction to Sensor Fusion.** Instituto de Ciência da Computação e Engenharia. Vienna University of Technology, Austria, 2001.

_____. **Sensor Fusion in Time-Triggered Systems.** Tese de Doutorado. Faculdade Tecnológica de Ciências Naturais e Informática, Viena, Áustria. 2002.

ESTEBAN, J.; STARR, A.; WILLETTS, R.; HANNAH, P.; BRYANSTON-CROSS, P. **A review of data fusion models and architectures: towards engineering guidelines. neural computing applications.** Neural Computing Applications, 2005.

FACELI, K.; DE CARVALHO, A.C.P.L.F.; REZENDE, S.O. **Combining Intelligent Techniques for Sensor Fusion.** Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

FOLHA DE SÃO PAULO, Jornal. **Número de smartphones em uso no Brasil chega a 168 milhões, diz estudo.** 2016. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2016/04/1761310-numero-de-smartphones-em-uso-no-brasil-chega-a-168-milhoes-diz-estudo.shtml>>. Acesso em maio de 2017.

FOURATI, H.; KHSSIBI, S.; VAL, T.; IDOUDI, H.; BOSSCHE, A.V.D.; SAIDANE, L.A. **Comparative study of IEEE 802.15.4 and IEEE 802.15.6 for WBAN-based CANet.** 4th Performance Evaluation and Modeling in Wireless Networks (PEMWN 2015), Nov 2015, Hammamet, Tunisia. Proceedings of PEMWN 2015, pp. 1-7, 2015.

GOMEZ, C.; OLLER, J.; PARADELLS, J. **Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology.** Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2012.

GOOGLE PLAY. **Medida Certa**. Disponível em:
<<https://play.google.com/store/apps/details?id=br.com.ftips.medidacerta&hl=pt>>.
Acesso em maio de 2017.

HALTEREN, A. V.; BULTS, R.; WAC, K.; KONSTANTAS, D.; WIDYA, I.;
DOKOVSKY, N.; KOPRINKOV, G.; JONES, B.; HERZOG, R. **Mobile Patient
Monitoring: The MobiHealth System**. The Journal on Information Technology in
Healthcare, v. 2, n. 5, 2004. Disponível em
<[http://eprints.eemcs.utwente.nl/7437/01/jith2\(5\)_konstantas_et_al.pdf](http://eprints.eemcs.utwente.nl/7437/01/jith2(5)_konstantas_et_al.pdf)>. Acessado
em jun de 2017.

HEATHER, F.; YANG, J. K.; NEUER, M. **The future of connected health devices
liberating the information seeker**. Relatório Técnico, New York, 2011, 17p.

HOMLEID, M. **Diurnal corrections of short-term surface temperature forecasts
using the Kalman filter**. Weather and Forecasting, Boston, v. 10 p. 689–707, 1995

INFOBRASIL, Revista. **Mobile Health: Utilização de tecnologias móveis na saúde
será discutida durante a InfoBrasil 2015**. 2015. Disponível em:
<<https://www.infobrasil.inf.br/noticia/mobile-health-utilizacao-de-tecnologias-moveis-na-saude-sera-discutida-durante-infobrasil-20?page=2>>. Acesso em maio de 2017.

INTANAGONWIWAT, C.; GOVINDAN, R.; ESTRIN, D. **Directed Diffusion: A
Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks**. In:
Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and
Networking - MobiCom'00, ed. ACM Press, 2000.

KALMAN, R. E. **A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems**.
Transactions of ASME, Series D, Journal of Basic Engineering; v. 82, n. 1, p. 35-45,
1960.

KIM, S.; PAKZAD, S.; CULLER, D.; DEMMEL, J.; FENVES, G.; GLASER, S.;
TURON, M. **Health monitoring of civil infrastructures using wireless sensor
networks**. Proceedings of the 6th international conference on Information
processing in sensor networks, ACM Press New York, NY, USA, p. 254-263, 2007.

LABRIQUE, A. B.; VASUDEVAN, L.; KOCHI, E.; FABRICANT, R.; MEHL, G.
**mHealth innovations as health system strengthening tools: 12 common
applications and a visual framework**. Glob Health Sci Pract, 2013.

LABKOFF, S.; SHAH, S.; BORMEL, J.; LEE, Y.; GREENES, R. A. **The constellation
project: experience and evaluation of personal digital assistants in the clinical
environment**. 19th Annual Symposium on Computer Applications in Medical Care,
1995.

LIANG, B.; LIU, Q.; **A Data Fusion Approach for Power Saving in Wireless Sensor Networks**. First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences. Vol.2, 2006.

LOUREIRO, A. A. F.; NOGUEIRA, J. M. S.; RUIZ, L. B.; DE FREITAS MINI, R. A.; NAKAMURA, E. F.; FIGUEIREDO, C. M. S. **Redes de sensores sem fio**. In: Simposio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC 2003, 2003.

LUO, R. C.; KAY, M. G. **A Tutorial on Multisensor Integration and Fusion**. In: IECON '90, 1990, Raleigh. 16th Annual Conference of IEEE. Pacific Grove: IEEE, 1990.

LUO, R.C.; KAY, M.G. **Multisensor Integration and Fusion for Intelligent Machines and Systems**. Norwood: Ablex Publishing Corporation, 1995.

MAGGI, T.F. **Monitoramento de Sinais Vitais Utilizando RSSF**. 2015. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

MARKIN, M.; HARRIS, C.; BERNHARDT, M.; AUSTIN, J.; BEDWORTH, M.; GREENWAY, P.; JOHNSTON, R.; LITTLE, A.; LOWE, D. **Technology foresight on data fusion and data processing**. Publication, The Royal Aeronautical Society, 1997.

MEIRELLES, F. S. **28ª Pesquisa Anual do Uso de TI**. Escola de Administração de Empresas de São Paulo. Fundação Getulio Vargas, 2017.

NAKAMURA, E.F. **Fusão de Dados em Redes de Sensores Sem Fio**. 2007. 174 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação). - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

NAVARRO, B.R.; SANTOS, J.; BAKLIZKY, M.; WAGNER P.K.; ARAÚJO L.V. **Adafarma: aplicativo para auxílio na fase de aderência ao tratamento**. XIII Congresso Brasileiro em Informática em Saúde. Curitiba-PR, 2012.

NSF. **Report of the National Science Foundation - Workshop on Fundamental Research in Networking**. Disponível em: <<http://www.cs.virginia.edu/~jorg/workshop>>, Acesso em 23 ago. 2016.

OMRE, A. H. **Bluetooth Low Energy: Wireless Connectivity for Medical Monitoring**. Journal of Diabetes Science and Technology. 2010.

PAWAR, P.; JONES, V.; VAN BEIJNUM, B.; HERMENS, H. **A framework for the comparison of mobile patient monitoring systems**. Journal of Biomedical Informatics, vol.45-3, 2012.

PEREIRA, M.; AMORIM, C.; CASTRO, M. **Tutorial sobre Redes de Sensores**. Cadernos do IME – Série Informática 13, Rio de Janeiro, v. 14, 2003.

PINTO, A.J.G. **Mecanismo de Agregação de Dados Empregando Técnicas Paramétricas em Redes de Sensores**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

PINTO, A.R., DANTAS, M.A.R., BITENCORT, B.R., MONTEZ, C. **Fusão de Dados Tempo Real em Redes de Sensores Sem Fio Multimídia**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

POLPITIYA, M. L. G.; RABAN, G. R.; PRASANNA, W. K. S. S.; PERERA, D. T. S.; CHANDIMA, D. P.; UDAWATTA, U. K. D. L. **Wireless Agricultural Sensor Network**. TENCON 2012 IEEE Region 10 Conference, Cebu, pp. 1-6. 2012.

POVEDA, V. B.; NASCIMENTO, A. S. Intraoperative body temperature control: esophageal thermometer versus infrared tympanic thermometer. **Rev Esc Enferm USP**. 2016;50(6):945-950. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0080-623420160000700010>

RAHMAN, J.R. **Data Fusion for Improved TOA/TDOA Position Determination in Wireless System**. Virginia Polytechnic Institute and State University, 2001.

RATHEE, A.; SINGH, R.; NANDINI, A. **Wireless Sensor Network: Challenges and Possibilities**. International Journal of Computer Applications. v. 140, 2016.

ROWLES, Daniel. **Mobile Marketing: How Mobile Technology is Revolutionising Marketing, Communications and Advertising**. Kogan Page. 2014.

SAITO, M.T.R.; ZARPELAO, B.B. **Métodos de Coleta de Dados em Redes de Sensores Sem Fio**. Departamento de Computação, Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2013.

SALMAN, O.H.; RASID, M.F.A.; SARIPAN, M.I.; SUBRAMANIAM, S.K. **Multi-Sources Data Fusion Framework for Remote Triage Prioritization in Telehealth**. Journal of Medical Systems, 2014.

SALUSTIANO, R. E. **Aplicação de técnicas de fusão de sensores no monitoramento de ambientes**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, 2006.

SAVVIDES, A.; PARK, S.; SRIVASTAVA, M. **On Modeling Networks of Wireless Microsensors**. Electrical Engineering Department, University of California. Los Angeles, 2001.

SEMPREBOM, T. **Explorando descartes de ativações periódicas para provimento de qualidade de serviço em redes IEEE 802.15.4**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

SIMONE, G.; FARINA, A.; MORABITO, F.C.; SERPICO, S.B.; BRUZZONE, L. **Image fusion techniques for remote sensing applications**. Inf. Fusion, 3, 3–15. 2002.

SO, J.; KIM, J.; GUPTA, I.; **Cushion: Autonomically Adaptive Data Fusion in Wireless Sensor Networks**. In: Proceedings of IEEE Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems, 2005.

SOUZA, A.R.E.; MESQUITTA, F.C.C. **Monitoramento de Sinais Vitais**. Revista Lups, v.2, n.1, Março, 2013.

THOMOPOULOS, S. **Sensor integration and data fusion**. In: Advances in Intelligent Robotics Systems Conference. International Society for Optics and Photonics, pp. 178-191, 1990.

TILAK, S.; ABU-GHAZALEH, N.; HEINZELMAN, W. **A Taxonomy of Wireless Micro-Sensor Network Models**. In: ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, ACM Press, v. 6, 2002.

TURISCO, F; CASE, J. **Wireless and Mobile Computing**. California Health-care Foundation, Califórnia, 2001, 44 p.

VERONA, A. B. **Simulação e Análise de Redes de Sensores Sem Fio Aplicadas a Viticultura**. Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

WADE, R.; MITCHELL, W. M.; PETTER, F. **Ten emerging technologies that will change the world**. Technology Review, v. 106, n. 1, p. 22-49, 2003. Disponível em: <<http://www.technologyreview.com/Infotech/13060/page2/>>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **mHealth: New horizons for health through mobile technologies: second global survey on eHealth**. Genebra: World Health Organization, 2011. Disponível em: <http://www.who.int/goe/publications/goe_mhealth_web.pdf>. Acesso em maio de 2017

_____. **Compêndio mHealth sobre a saúde móvel**. Volume três. Relatório técnico. African Strategies for Health. World Health Organization, 2013. Disponível

em:

<https://www.msh.org/sites/msh.org/files/2016_mhealth_compendium_special_edition_final_pt.pdf>. Acesso em maio de 2017

_____. **Compêndio mHealth**. Edição Especial 2016: Em Grande Escala. African Strategies for Health. World Health Organization, 2016. Disponível em: <http://www.africanstrategies4health.org/uploads/1/3/5/3/13538666/mhealth_compendium_volume_3_a4_por.pdf>. Acesso em maio de 2017

ZENI, C.; BORSATO, E. P.; PINTO, J.S.P.; MALAFAIA, O. **Panorama do uso de computação móvel com conexão wireless**. In: IX Congresso Brasileiro de Informática em Saúde, 2004.

ZHANG, J. **Multi-Source Remote Sensing Data Fusion: Status and Trends**. International Journal of Image and Data Fusion, 1, 5-24. 2010.

ZHANG, Y.; ZHANG, B.; ZHANG, S. **A Lifetime Maximization Relay Selection Scheme in Wireless Body Area Networks**. State Key Laboratory of Integrated Services Networks, Xidian University, China, 2017.

APÊNDICES (S)

Monitoramento de sinais fisiológicos utilizando algoritmos de fusão de dados em RSSF

João Carlos Rosso ¹, Rogério Antônio Casagrande¹

¹Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) Criciúma – SC – Brasil

{joaorosso, roc}@unesc.net

Abstract. *MHealth is a mobile computing application, wireless communications and network technologies to provide or improve several information services on the health of a patient. These services can provide patients and caregivers with uninterrupted monitoring, access to medical data, emergency communications, and more. To perform this monitoring, Wireless Sensor Networks (WSNs) can be used to collect information and route them to a clinical application where they are stored and analyzed. However, WSNs still present some challenges, such as failures and inaccurate readings in the data collected. As a response to this challenge, the data fusion technique has been adopted as a solution. This research consists of describing the concepts of data fusion for sensors most used and implementing a prototype for monitoring a physiological grandeur using one of the presented concepts. The results of the implementation of this algorithm have shown that it is possible to generate a single output data with the data collected through multiple sources, even when some inconsistency occurs in the data, the algorithm can avoid the failure and predict the result based on the prediction and the update, applied by the Kalman Filter concept. With the use of the Kalman Filter for data fusion, it was also possible to reduce the amount of packets that travel through the network, consequently reducing the energy expenditure of the sensors generated by the routing of the data.*

Resumo. *MHealth é uma aplicação de computação móvel, comunicações sem fio e tecnologias de rede para fornecer ou melhorar diversos serviços de informações sobre a saúde de um paciente. Esses serviços podem fornecer a pacientes e cuidadores um monitoramento ininterrupto, acesso a dados médicos, comunicações de emergência, entre outros. Para realizar esse monitoramento, as Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) podem ser utilizadas para coletar informações e as encaminhá-las até uma aplicação clínica, onde são armazenadas e analisadas. Porém, as RSSF ainda apresentam alguns desafios, como falhas e leituras imprecisas dos dados coletados. Como resposta a este desafio, a técnica de fusão de dados tem sido adotada como solução. Esta pesquisa consiste em descrever os conceitos de fusão de dados para sensores mais utilizados e implementar um protótipo para monitoramento de uma grandeza fisiológica utilizando um dos conceitos apresentados. Os resultados da implementação deste algoritmo mostraram ser possível gerar um único dado de saída com os dados coletados através de múltiplas fontes, mesmo quando acontece alguma inconsistência nos dados o algoritmo consegue evitar a falha e prever o resultado baseando-se na predição e na atualização, aplicado pelo conceito do Filtro de Kalman. Com o uso do Filtro de Kalman para a fusão de dados, também foi possível diminuir a quantidade de pacotes que trafegam pela rede, consequentemente, diminuindo o gasto energético dos sensores gerado pelo encaminhamento dos dados.*

1. Introdução

Com o crescimento contínuo da população idosa, tem havido um aumento na necessidade de mais serviços de saúde de baixo custo. Enquanto o país possui cerca de 253,41 milhões de celulares, ou seja, 123,93 celulares por cada 100 habitantes (ANATEL, 2015), o número de médicos é insuficiente: são apenas 2.11 para cada mil habitantes (CFM, 2015).

Atualmente, já são aplicadas tecnologias da informação e comunicação no cuidado à saúde de indivíduos e populações, conhecido como e-saúde, ou *eHealth* (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011). Com o surgimento das comunicações móveis e tecnologias avançadas de rede, um campo específico dentro de *eHealth* foi criado, denominado de Saúde Móvel, ou *mHealth* (PAWAR et al., 2012, tradução nossa).

MHealth é uma aplicação de computação móvel, comunicações sem fio e tecnologias de rede para fornecer ou melhorar diversos serviços de saúde e funções em que o paciente tem uma liberdade de ser móvel dentro de uma área limitada. (PAWAR et al, 2012). Esses serviços fornecem a pacientes e cuidadores um monitoramento ininterrupto, acesso a dados médicos, comunicações de emergência e assim por diante.

Algumas das potenciais aplicações de *mHealth* são listadas como uma gestão ativa de doenças como a diabetes, apoio aos idosos para realizar de forma independente as suas rotinas e monitoramento das atividades diárias para melhorar a saúde. Para realizar esse monitoramento, as Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) podem ser utilizadas, coletando informações e as encaminhando até uma aplicação clínica, onde serão armazenadas e analisadas.

Uma solução natural para suplantando falhas e leituras imprecisas consiste no uso de nós redundantes que cooperam entre si para monitorar o ambiente. Entretanto, esta estratégia traz um novo desafio de escalabilidade causado pelo potencial aumento de colisões e pela transmissão de dados redundantes.

Como resposta a este desafio, a fusão de dados tem sido adotada como solução para as RSSF. De maneira sucinta, fusão de dados lida com teorias, algoritmos e ferramentas utilizadas para processar múltiplas fontes de dados, gerando um dado de saída que é, de alguma forma, melhor quando comparado com os dados de entrada individualmente (NAKAMURA, 2007). Para as RSSF, o termo “melhor” possui pelo menos dois sentidos: menor custo e maior precisão.

Este projeto visa captar dados com sensores sem fio em nível de sinal de forma genérica, transmitindo-os pela rede até um nó coordenador, onde será aplicado a Fusão de Dados, e dele para um dispositivo móvel, exibindo o resultado. Os dados são transmitidos via comunicação Bluetooth, que, conforme Loureiro et al. (2003), é uma tecnologia de baixo custo para conectividade sem fio de dispositivos e eletrônicos mundialmente utilizado.

2. Justificativa

Os avanços tecnológicos e o investimento econômico, bem como as mudanças sociais e culturais, contribuem para reforçar o fato de que o setor da saúde deve, inevitavelmente, usar a tecnologia para evoluir.

O desafio para *mHealth* é aproveitar o potencial computacional dos smartphones para automatizar de maneira integrada, simples e intuitiva, tarefas que apoiem o tratamento do

paciente (NAVARRO et al., 2012). No Brasil, a oferta e uso dessas tecnologias tende a crescer juntamente com a popularização dos smartphones.

Segundo a revista *Technology Review*, as RSSF são consideradas uma das dez tecnologias mais promissoras do mundo (WADE; MITCHELL; PETTER, 2003, tradução nossa). O monitoramento através dessa tecnologia foi primeiramente usado para fins militares, mas hoje são empregadas em diversos tipos de aplicações, como por exemplo, monitoramento de habitats, sistemas de observação e previsão do tempo, área da saúde, entre outras aplicações comerciais e civis, tornando essa uma área de natureza multidisciplinar e muito ampla (KIM et al., 2007, tradução nossa).

Diversos estudos têm sido desenvolvidos pela comunidade científica para o desenvolvimento das Redes de Sensores Sem Fio (RSSF). Apesar da diversidade de pesquisas nos mais variados segmentos, um objetivo em comum é o consumo racional de energia e, conseqüentemente, o aumento do tempo de vida das redes. Conforme Loureiro et al. (2003), as RSSF diferem-se das redes tradicionais devido ao baixo consumo de energia, à grande quantidade de sensores distribuídos, mecanismos de autoconfiguração, e à necessidade de auto-organização caso haja falha ou perda de um nó.

Em uma RSSF, existe a possibilidade de colaboração entre os nós para a geração da informação solicitada pelo usuário. Entretanto, a característica mais marcante é a capacidade restrita da fonte de energia dos dispositivos. Um dos mais importantes desafios para um projeto de RSSF é o consumo de energia.

A fusão de dados corresponde a um conjunto de técnicas desenvolvidas, que visa reduzir o consumo energético da rede e prolongar seu tempo de vida eliminando a redundância de mensagens e, conseqüentemente, diminuindo o número de colisões (LIANG; LIU, 2006, tradução nossa).

Devido à grande aplicação das RSSF e às características limitadas dos dispositivos sensores, o desenvolvimento de técnicas de Fusão de Dados tem sido de grande necessidade para as mais diversas aplicações deste novo tipo de rede. Diversos trabalhos estão sendo propostos, contudo ainda existem problemas nessas áreas (e.g. consumo de energia) que necessitam ser estudados e resolvidos.

3. Metodologia

O trabalho proposto consiste em construir um protótipo de monitoramento de uma grandeza fisiológica utilizando RSSF. Além disso, como foco principal do projeto, foram apresentadas diferentes técnicas de Fusão de Dados. No final, foi utilizado um dos conceitos apresentados para a implementação do algoritmo.

O objetivo do algoritmo é fazer o tratamento das informações coletadas pelos sensores antes de transmiti-las do nó coordenador para o destino. Ajudando assim, na eficiência de rede e no consumo energético, um dos principais problemas das RSSF (BITENCORT JUNIOR, 2008).

3.1. Estrutura de Hardware

Uma família de aplicações de RSSF que se destaca é a de *eHealth*, um termo geral utilizado para descrever o uso combinado de eletrônica, comunicação e sistemas de informação provendo suporte ao setor da saúde.

Para atender aos critérios de *mHealth*, que, como citado em capítulos anteriores, é um campo específico dentro de *eHealth*, foi necessário utilizar uma tecnologia para enviar os dados dos sensores para o smartphone que possibilitasse a movimentação dos usuários.

Para a implementação da RSSF, foi seguido o modelo do protótipo já aplicado por Maggi (2015), onde foram utilizados antenas *Xbee Series 2*, *Arduino Xbee Shield*, *Xbee Explorer USB*, sensores de temperatura *LM35*, *Arduinos Uno*, *smartphone* com *Bluetooth*, notebook com *Bluetooth*, cabos de alimentação do *Arduino*, baterias 9v.

A arquitetura de comunicação foi estabelecida de acordo com Maggi (2015), que atende o propósito do trabalho, permitindo rápida implementação e dispondo de um baixo consumo de energia.

Conforme ilustrado na figura 1, a estrutura ficou organizada basicamente da seguinte forma:

- a) Sensores: responsáveis pela captação da temperatura do corpo humano. Para cada nodo, foi utilizado um sensor de temperatura *LM35* e um *Arduino*. Com os dados obtidos, foi necessário enviá-los para o nó coordenador com as antenas *Xbee Series 2*;
- b) Nó coordenador: recebe os dados obtidos pelos sensores e enviados pelos *Xbee*, e também, onde é feito a Fusão de Dados. Conforme Salustiano (2006), a decisão para a escolha do local onde ocorre a fusão dos dados é uma característica típica de cada sistema. Nesse caso, essa escolha foi feita pela praticidade e por ser apenas para demonstração do algoritmo. Um notebook onde foi implementado em Java uma conexão serial com os *Xbee* e que passa os dados por um algoritmo de fusão feito seguindo os conceitos do Filtro de Kalman;
- c) Smartphone: após a fusão dos dados no nó coordenador, o pacote de dados é enviado por bluetooth para o smartphone, que exibe o resultado em uma aplicação.

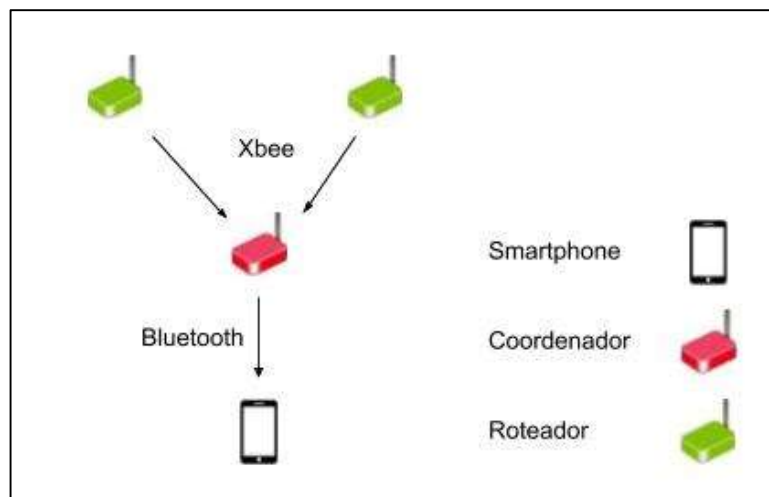


Figura 1 – Estrutura de hardware

Para a configuração da rede foi necessário utilizar o programa XCTU, iniciando com a atualização do firmware de todos os módulos. Logo após, foi necessário cadastrar o nome ID (Identification) da rede e os endereços *Destination Address High* (DH) e *Destination Address*

Low (DL) dos módulos, para que os roteadores possam se comunicar somente com o coordenador da rede.

3.2. Coleta dos dados

Há vários métodos para se medir a temperatura corporal, pois cada parte do corpo possui uma temperatura diferente, podendo haver variações. Alguns lugares que podem ter maior precisão, porém têm maior desconforto, como nas axilas ou na boca, e alguns de mais fácil acesso como na própria mão ou peito, têm menor precisão e precisam de métodos para compensar esta diferença. A temperatura corporal normal de um ser humano varia em cada parte do corpo, nas axilas, por exemplo, fica entre 35,5°C a 37°C, já na oral é considerado normal estar entre 36°C e 37,4°C.

Para a aquisição da temperatura, foi utilizado o sensor de temperatura LM35. Este sensor possui saída com baixa impedância, tensão linear e calibração inerente precisa, fazendo com que o interfaceamento de leitura seja especificamente simples e o custo do sistema como um todo seja significativamente baixo.

Em um monitoramento de qualquer tipo de natureza, eventualmente dados anômalos (outliers) são gerados, afetando a qualidade final dos dados. Essas condições implicam na necessidade da utilização de métodos de Fusão de Dados (figura 2) que viabilizem o funcionamento da rede e aumentem a confiança nos dados monitorados.

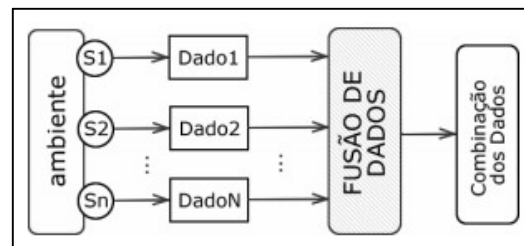


Figura 2 – Processo de Fusão de Dados

Para solucionar este problema, foram efetuadas pesquisas sobre diferentes tipos de métodos de fusão. A técnica que mostrou maior destaque entre os trabalhos estudados, foi o Filtro de Kalman.

3.2. Coleta dos dados

Para receber e realizar o tratamento dos dados provenientes dos sensores, foi desenvolvida uma aplicação desktop em *Java* que faz a leitura da porta serial conectada ao *Xbee*. A *IDE* utilizada foi o *Eclipse Oxygen v4.7.1a*.

Para a comunicação com o *Xbee* foi utilizado a biblioteca *RxTx*. Que é baseada na *API Javacomm*, distribuída pela própria *Oracle*, com a vantagem sobre esta de ser portátil tanto para *Linux*, como também *Windows* e *Mac*, enquanto que a *Javacomm* em sua versão atual, só é portátil para *Linux*, limitando de certa forma o processo de desenvolvimento para múltiplas plataformas. Com isso, foi possível obter as temperaturas e realizar a Fusão de Dados utilizando o Filtro de Kalman.

A Filtragem Kalman vem sendo utilizada amplamente em aplicações de localização e reconhecimento de trajetórias nas quais as variáveis combinadas são a posição e a velocidade

do objeto que está em movimento. Um requisito fundamental para a aquisição dos dados dos sensores é a estimativa do passado, presente, e do futuro das variáveis de um sistema.

Em um ponto de vista mais técnico, o Filtro de Kalman é um algoritmo para realizar, de forma eficiente, estimativas sobre um sistema dinâmico linear, onde o espaço de estados das variáveis não observadas é contínuo e todas as variáveis, observáveis ou não, possuem uma distribuição gaussiana.

Para entender o que é distribuição gaussiana, é necessário primeiramente definir evento aleatório, que, trata-se de um evento cuja ocorrências individuais não obedecem às regras ou padrões que permitam fazer previsões acertadas.

A estatística mostra que, apesar da ocorrência individual destes eventos aleatórios ser imprevisível objetivamente, é possível tirar algumas conclusões a partir de um conjunto deles. Muitos dos conjuntos de eventos aleatórios apresentam padrões que não são identificáveis em cada evento isolado, como a tendência dos eventos se concentrarem próximos à uma posição que representa uma média matemática deles. Assim, a quantidade de eventos diminui constante e gradativamente à medida que nos afastamos da média.

Para exibir os resultados dos sensores e da fusão, foi criado um gráfico utilizando as seguintes bibliotecas:

- a) jfreechart-1.0.19.jar;
- b) jcommon-1.0.23.jar.

3.2. Envio dos dados

Após o tratamento realizado pela fusão, os dados são enviados do nó coordenador para o smartphone via comunicação *bluetooth* e exibidos ao usuário final.

Para a conexão foi necessário utilizar o conceito cliente-servidor. Onde o servidor é o responsável por enviar os dados ao cliente. Para a criação do servidor foi utilizada a biblioteca Java *BlueCove* no nó coordenador. Já para o cliente foi desenvolvido uma aplicação para smartphone *Android* utilizando a *IDE Android Studio* e utilizado a *Android Bluetooth API* para implementar a interface de comunicação com o servidor.

Basicamente, conforme a figura 3, a aplicação exibe o resultado da Fusão de Dados realizada pelo nó coordenador.



Figura 3 – Protótipo feito para smartphone

4. Resultados

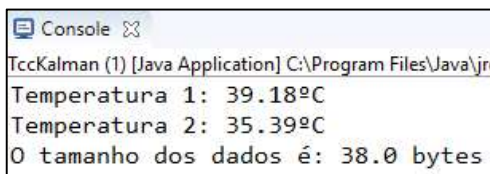
Nesta abordagem, especificamente no nível de sinal do modelo de Fusão em Níveis, foi descrita a proposta para a melhoria da eficiência da rede, diminuindo a perda de dados e a melhora no consumo energético em RSSF.

As RSSF possuem um grande potencial econômico e prometem transformar nossas vidas. Aplicações que dependem de dados em regiões de difícil acesso até aplicações que monitoram parâmetros biológicos do nosso organismo dependem de uma RSSF. Essas redes devem se popularizar a medida que o hardware utilizado tenha maior capacidade e seja mais barato. No entanto, a energia deve ser ainda um problema fundamental. Por isso, é fundamental que várias pesquisas sejam feitas nessa área.

Segundo Barros (2013), é importante destacar que em uma RSSF, o elemento que mais consome energia é a comunicação, principalmente na função de transmissão e encaminhamento dos dados coletados pelas unidades de sensoriamento. Além disso, também é importante salientar que a questão energética é a que mais impõe restrição no tempo de vida de uma rede.

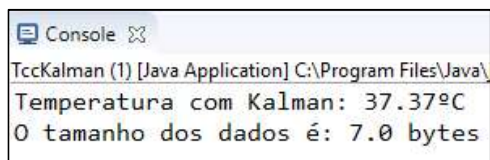
Com o uso do filtro de Kalman para a Fusão de Dados, foi possível diminuir a quantidade de pacotes que trafegam pela rede, conseqüentemente, diminuindo o gasto energético dos sensores gerado pelo encaminhamento dos dados.

Mesmo em um ambiente de testes com dois sensores, como foi o caso desta pesquisa, o tamanho das amostras coletadas apresentou uma diminuição satisfatória de bytes (figuras 4 e 5). Em uma rede com maior número de sensores, a melhora pode ser ainda mais significativa. Conforme Loureiro et al. (2003), uma RSSF pode conter até 100 mil sensores.



```
Console
TccKalman (1) [Java Application] C:\Program Files\Java\jre
Temperatura 1: 39.18°C
Temperatura 2: 35.39°C
O tamanho dos dados é: 38.0 bytes
```

Figura 4 – Tamanho em bytes das duas temperaturas



```
Console
TccKalman (1) [Java Application] C:\Program Files\Java\
Temperatura com Kalman: 37.37°C
O tamanho dos dados é: 7.0 bytes
```

Figura 5 – Tamanho em bytes das temperaturas aplicadas ao filtro de Kalman.

Na figura 6, é possível observar a entrada das duas temperaturas (Temperatura 1 e Temperatura 2) com os seus respectivos sinais brutos, podendo apresentar inconsistências ou perda de sinal. Enquanto a linha verde (Fusão) mostra a combinação das temperaturas, depois de passar pelo filtro de Kalman.

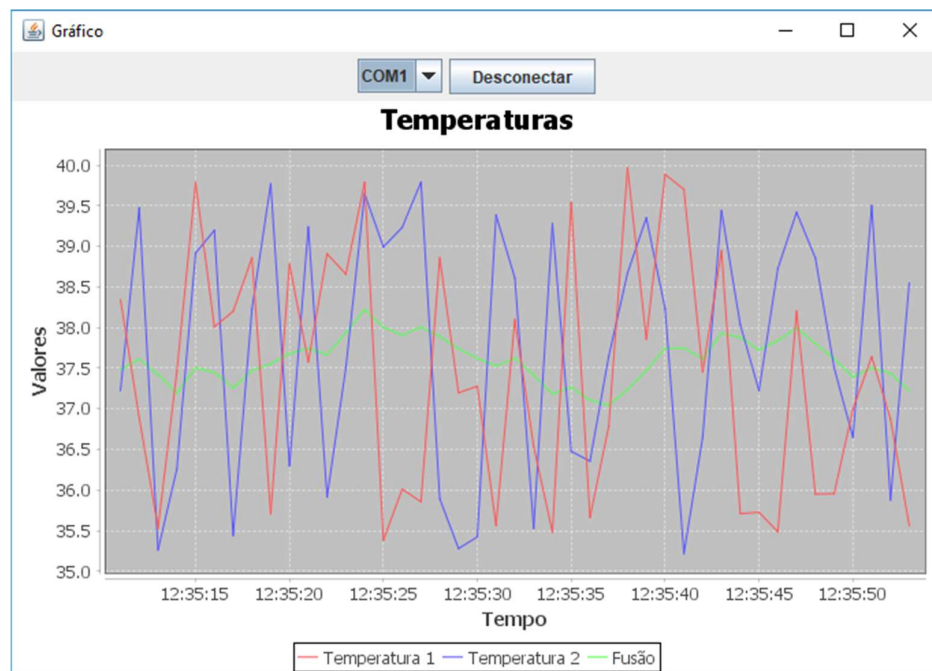


Figura 6 – Comparação entre a entrada dos sinais e o resultado da Fusão

Pode-se perceber que o filtro busca equilibrar o resultado, tentando prever a melhor resposta agregando os dados fornecidos sem comprometer a representatividade dos fenômenos monitorados, gerando informações que descrevem melhor um evento. Além disso, a qualidade dos dados também pôde ser melhorada com a eliminação de informações redundantes transportadas pela rede.

Os resultados adquiridos com a implementação deste algoritmo foram satisfatórios, sendo possível gerar um único dado de saída com os dados coletados através de múltiplas fontes, além disso, mesmo quando acontece alguma inconsistência nos dados o algoritmo consegue evitar a falha e prever o resultado baseando-se na predição e na atualização, aplicado pelo conceito do Filtro de Kalman.

O sensor *LM35* apresentou ser uma boa ferramenta para medição de temperatura por ser de fácil implementação e manuseio. Existem muitos outros sensores de temperaturas no mercado (*eHealth* da *Cooking Hacks*, *DS18B20*, entre outros), entretanto, não era o objetivo deste trabalho analisar a melhor opção.

O *Arduino* mostrou-se uma boa ferramenta para utilização de prototipagem. A integração entre os módulos e placa *Arduino* pode ser feita por causa das minuciosas características que a placa apresenta, sendo uma delas, o micro controlador. Este garante um processamento satisfatório de acordo com as necessidades de obtenção de dados de segundos em segundos.

Outra tecnologia que se mostrou eficiente para esta pesquisa foi o *bluetooth*, apresentando bons resultados e sendo de fácil entendimento e implementação, no *JAVA* pela biblioteca *BlueCove* e no *Android* por meio da *Android Bluetooth API*.

Os resultados atingiram os objetivos propostos de descrever os conceitos de Fusão de Dados mais utilizados e implementar um algoritmo baseando-se em um destes, bem como, desenvolver um protótipo para monitoramento de uma grandeza fisiológica utilizando o

protocolo *ZigBee* para RSSF e utilizar a comunicação Bluetooth para exibir os resultados em uma aplicação *mHealth*.

4. Conclusão

Este trabalho conseguiu apresentar os principais conceitos de Fusão de Dados e propôs uma estrutura de RSSF que permitisse implementar um algoritmo para tratamento dos dados obtidos no monitoramento da temperatura corporal em seres humanos.

No decorrer do desenvolvimento desta pesquisa, foi possível notar que as RSSF são poderosas ferramentas de monitoramento, porém, ainda são um grande desafio. Do ponto de vista científico, ainda há muito por ser feito. Com o investimento em pesquisas e desenvolvimentos feitos nos últimos anos, aplicações que eram pensadas como ficção científica há poucos anos atrás são agora realidade. Projetar aplicações para redes de sensores é desafiante devido à larga escala, volatilidade da comunicação e restrições de consumo de energia.

Apesar dos vários desafios encontrados durante a realização desta pesquisa, a experiência adquirida foi de suma importância, pois além de utilizar o aprendizado adquirido durante o período acadêmico, ainda foi possível obter novos conhecimentos em variadas tecnologias ligadas a este estudo.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa diversas dúvidas surgiram e diferentes direções foram tomadas. Algumas dessas dúvidas geraram algumas ideias, que foram testadas e avaliadas gerando boas contribuições.

Por fim, através de todo conhecimento adquirido, novos projetos podem ser desenvolvidos e novos caminhos podem se abrir. Por ser tecnologias em constante crescimento, ter a oportunidade de aprender e trabalhar suas aplicações proporcionou uma experiência diferenciada no projeto. Como sugestão de trabalhos futuros, pode-se empregar as seguintes extensões:

- a) implementação de um algoritmo de agregação de dados para utilização de dois ou mais sensores de naturezas distintas;
- b) analisar outras ferramentas para substituir o *Arduino* de forma que seja possível utilizar somente sensores e antenas, melhorando a usabilidade e conforto;
- c) utilização de outras técnicas de Fusão de Dados, ou até mesmo, implementação de uma nova técnica;
- d) utilização de mais de uma técnica de Fusão de Dados para comparação de eficácia.

Referências

ANATEL; Telefonia Móvel: Brasil registra 253,41 milhões de acessos em junho. Brasília, jul. 2015. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/dados/index.php/destaque-1/283-movel-acessos-maio>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

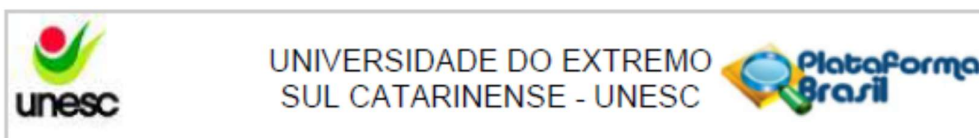
BITENCORT JUNIOR, B.R. Fusão de Dados Paralela em Redes de Sensores Sem Fio Densas Utilizando Algoritmo Genético. 2008. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Automação e Sistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CFM; Demografia Médica 2015: População médica cresce mais que a geral, mas persistem desigualdades na sua distribuição. Brasília, nov. 2015. Disponível em:

- <http://portal.cfm.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=25867>. Acesso em: 23 ago. 2016.
- KIM, S. et al. Health monitoring of civil infrastructures using wireless sensor networks. Proceedings of the 6th international conference on Information processing in sensor networks, ACM Press New York, NY, USA, p. 254-263, 2007.
- LIANG, B.; LIU, Q.; A Data Fusion Approach for Power Saving in Wireless Sensor Networks. First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences. Vol.2, pp. 582-586, 2006
- LOUREIRO, A. A. F.; NOGUEIRA, J. M. S.; RUIZ, L. B.; MINI, R. A.; NAKAMURA, E. F.; and FIGUEIREDO, C. M. S. "Redes de Sensores Sem Fio", Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC 2003, TV, Natal, 2003.
- NAKAMURA, E.F. Fusão de Dados em Redes de Sensores Sem Fio. 2007. 174 f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação). - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- NAVARRO B. R.; SANTOS, J.; BAKLIZKY, M.; WAGNER P. K.; ARAÚJO L. V. Adafarma: aplicativo para auxílio na fase de aderência ao tratamento. XIII Congresso Brasileiro em Informática em Saúde. Curitiba-PR, 2012.
- PAWAR, P.; JONES, V.; VAN BEIJNUM, B.; HERMENS, H. - A framework for the comparison of mobile patient monitoring systems. Journal of Biomedical Informatics, vol.45-3, Jun 2012.
- WADE, R.; MITCHELL, W. M.; PETTER, F. Ten emerging technologies that will change the world. Technology Review, v. 106, n. 1, p. 22-49, 2003. Disponível em: <<http://www.technologyreview.com/Infotech/13060/page2/>>.
- WHO. mHealth: New horizons for health through mobile technologies: second global survey on eHealth. Genebra: WHO; 2011. Disponível em: <http://www.who.int/goe/publications/goe_mhealth_web.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2016.

ANEXO (S)

ANEXO A - PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: MONITORAMENTO DE SINAIS FISIOLÓGICOS UTILIZANDO ALGORITMOS DE FUSÃO DE DADOS EM RSSF

Pesquisador: ROGERIO ANTONIO CASAGRANDE

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 77223417.9.0000.0119

Instituição Proponente: Universidade do Extremo Sul Catarinense

Patrocinador Principal: Universidade do Extremo Sul Catarinense

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.356.029

Apresentação do Projeto:

O projeto consiste na monitoração de sinais fisiológicos, no caso a temperatura, utilizando algoritmos de fusão de dados em redes de sensores sem fio, transmitindo os dados para um dispositivo móvel.

Objetivo da Pesquisa:

O objetivo da pesquisa é monitorar sinais fisiológicos, no caso referente a temperatura (conforme explicitado no projeto), utilizando-se para isso de algoritmos de fusão de dados em redes de sensores sem fio.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

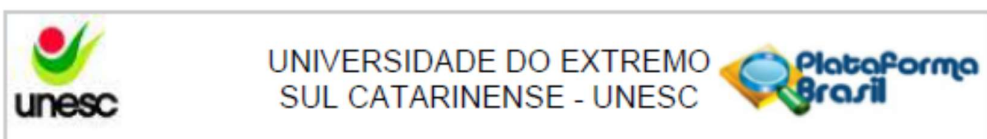
Os riscos apresentados compreendem a "Perda da confiabilidade dos dados e este risco será amenizado pela privacidade mantida, não sendo divulgado os dados pessoais do paciente." Os benefícios consistem em "Contribuirá para futuras tecnologias na área da saúde e para outras pesquisas sobre eficiência energética nas áreas de Fusão de Dados e RSSF"

Ambos estão adequados para a pesquisa.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A pesquisa está de acordo com as orientações e resoluções de Ética em Pesquisa. Salienta-se que conforme apresentado no projeto, somente um indivíduo terá seus dados fisiológicos, no caso a temperatura, coletada para testes na aplicação. Este indivíduo não pode ser os envolvidos na

Endereço: Avenida Universitária, 1.105
Bairro: Universitário **CEP:** 88.806-000
UF: SC **Município:** CRICIUMA
Telefone: (48)3431-2723 **Fax:** (48)3431-2750 **E-mail:** cetica@unesc.net



Continuação do Parecer: 2.356.029

execução do projeto.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O projeto apresenta todos os termos de apresentação obrigatória e estão de acordo.

Recomendações:

Concluída a pesquisa, deve ser anexado a esta plataforma, o relatório final incluindo análise dos dados e conclusões do estudo. Para os trabalhos de conclusão de curso, pode ser anexado o trabalho final, para as demais pesquisas, está disponível um modelo de relatório na página www.unesc.net/cep.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não há lista de inadequações ou pendências para o projeto.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_984220.pdf	17/10/2017 19:58:04		Aceito
Cronograma	Cronograma_TCCIII_joao.docx	17/10/2017 19:56:09	JOAO CARLOS ROSSO	Aceito
TCLE / Temos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLECEP_joao.docx	17/10/2017 19:55:39	JOAO CARLOS ROSSO	Aceito
Outros	carta_aceite.jpg	17/10/2017 19:55:30	JOAO CARLOS ROSSO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto.pdf	23/08/2017 17:02:44	JOAO CARLOS ROSSO	Aceito
Folha de Rosto	folharostoJoao.pdf	23/08/2017 16:51:56	JOAO CARLOS ROSSO	Aceito

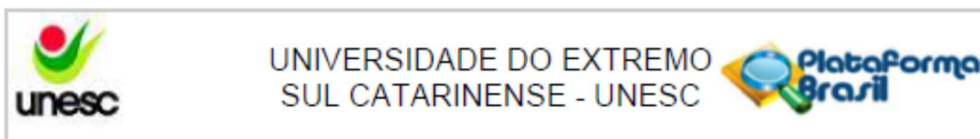
Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Avenida Universitária, 1.105
 Bairro: Universitário CEP: 88.808-000
 UF: SC Município: CRICIUMA
 Telefone: (48)3431-2723 Fax: (48)3431-2750 E-mail: cetica@unesc.net



Continuação do Parecer: 2.356.029

CRICIUMA, 30 de Outubro de 2017

Assinado por:
RENAN ANTONIO CERETTA
(Coordenador)

Endereço: Avenida Universitária, 1.105
Bairro: Universitário **CEP:** 88.808-000
UF: SC **Município:** CRICIUMA
Telefone: (48)3431-2723 **Fax:** (48)3431-2750 **E-mail:** cetica@unesoc.net

ANEXO B – CÓDIGO FONTE DA COMUNICAÇÃO ZIGBEE

Xbee.java

```

1 package app;
2
3 import java.io.BufferedReader;
9
10 public class Xbee {
11     private int taxa;
12     private String com;
13     private BufferedReader serialImp;
14     private OutputStream outputStream;
15
16     public Xbee(String com, int taxa) {
17         this.com = com;
18         this.taxa = taxa;
19         this.init();
20     }
21
22     private void init() {
23         try {
24             CommPortIdentifier portId = null;
25             try {
26                 // verifica se a COM existe
27                 portId = CommPortIdentifier.getPortIdentifier(this.com);
28             } catch (Exception e) {
29                 System.out.println("Erro: " + e.getMessage());
30             }
31
32             // abre a porta COM
33             SerialPort port = (SerialPort) portId.open("Comunicação serial",
this.taxa);
34             outputStream = port.getOutputStream();
35
36             serialImp = new BufferedReader(new
InputStreamReader(port.getInputStream()));
37             port.setSerialPortParams(this.taxa, SerialPort.DATABITS_8,
SerialPort.STOPBITS_1, SerialPort.PARITY_NONE);
38         } catch (Exception e) {
39             System.out.println("Error: " + e.getMessage());
40         }
41     }
42
43     public void close() {
44         try {
45             serialImp.close();
46             outputStream.close();
47         } catch (IOException e) {
48             System.out.println("Error: " + e.getMessage());
49         }

```

Xbee.java

```
50 }
51
52 public String recebeDados(int opcao) {
53     String data = null;
54
55     try {
56         outputStream.write(opcao);
57         data = serialImp.readLine();
58     } catch (IOException e) {
59         System.out.println("Error: " + e.getMessage());
60     }
61
62     return data;
63 }
64 }
65
```

ANEXO C – CÓDIGO FONTE DO FILTRO DE KALMAN

Kalman.java

```

1 package app;
2
3 import java.math.BigDecimal;
4
5
6 public class Kalman {
7     private static int N = 10;
8
9     private static double[] xhat = new double[N + 1]; // valor real
10    estimado (posteriori)
11    private static double[] xhat_prime = new double[N + 1]; // valor real
12    estimado (priori)
13    private static double[] p = new double[N + 1]; // erro estimado
14    (posteriori)
15    private static double[] p_prime = new double[N + 1]; // estimated error
16    (priori)
17    private static double[] k = new double[N + 1]; // ganho do kalman
18
19    public double CalculaKalman(double temp1, double temp2) {
20        double average = 0;
21
22        double Q = .000001, // Processo de variancia
23        R = .1 * .1; // Estimacão de variancia
24
25        xhat[0] = (temp1 + temp2) / 2;
26
27        for (int i = N; i > 0; i--) {
28            xhat[i] = xhat[i-1];
29            xhat_prime[i] = xhat[i - 1];
30            p_prime[i] = p[i - 1] + Q;
31
32            // atualizacão da medicao
33            k[i] = p_prime[i] / (p_prime[i] + R);
34            xhat[i] = xhat_prime[i] + k[i] * (xhat[i] - xhat_prime[i]);
35            p[i] = (1 - k[i]) * p_prime[i];
36
37            average += xhat[i];
38        }
39
40        average = average / N;
41
42        BigDecimal bd = new BigDecimal(average).setScale(2,
43        RoundingMode.HALF_EVEN);
44
45        return bd.doubleValue();
46    }
47 }

```


ANEXO D – CÓDIGO FONTE DO SERVIDOR *BLUETOOTH*

Bluetooth.java

```

1 package app;
2
3 import java.io.OutputStream;
13
14 public class Bluetooth {
15     private OutputStream outputStream;
16     private StreamConnection connection;
17
18     public Bluetooth() {
19         this.Init();
20     }
21
22     private void Init() {
23         try {
24             // mostra nome e endereço do servidor
25             LocalDevice localDevice = LocalDevice.getLocalDevice();
26             System.out.println("Endereço do servidor: " +
                localDevice.getBluetoothAddress());
27             System.out.println("Nome do servidor: " +
                localDevice.getFriendlyName());
28
29             // gera uuid e cria a url para comunicação
30             UUID uuid = new UUID("1101", true);
31             String connectionString = "btspp://localhost:" + uuid
                +";name=BluetoothTCC";
32
33             // inicia servidor
34             StreamConnectionNotifier streamConnNotifier =
                (StreamConnectionNotifier)Connector.open(connectionString);
35
36             // espera conexão
37             System.out.println("\nServidor iniciado. Aguardando conexão com o
                cliente...");
38             connection = streamConnNotifier.acceptAndOpen();
39
40             // mostra nome e endereço do cliente conectado
41             RemoteDevice dev = RemoteDevice.getRemoteDevice(connection);
42             System.out.println("Endereço do cliente: " +
                dev.getBluetoothAddress());
43             System.out.println("Nome do cliente: " +
                dev.getFriendlyName(true));
44
45             try {
46                 outputStream = connection.openOutputStream();
47             } catch (Exception e) {
48                 System.out.println("Error: " + e.getMessage());
49             }

```

Bluetooth.java

```
50     } catch (Exception e) {
51         System.out.println("Error: " + e.getMessage());
52     }
53 }
54
55 public void EnviaDatos(double temp) {
56     PrintWriter pwriter = new PrintWriter(new
57     OutputStreamWriter(outStream));
58     System.out.println("Temperatura enviada: " + temp);
59     pwriter.write(Double.toString(temp));
60     pwriter.flush();
61 }
62 }
```

ANEXO E – CÓDIGO FONTE DO CLIENTE *BLUETOOTH*

```
1 private class ConnectedThread extends Thread {
2     private final BluetoothSocket mmSocket;
3     private final InputStream mmInStream;
4
5     private ConnectedThread(BluetoothSocket socket) {
6
7         mmSocket = socket;
8         InputStream tmpIn = null;
9
10        try {
11            tmpIn = socket.getInputStream();
12        } catch (IOException e) {
13            AlertDialog.Builder builder = new AlertDialog.Builder(this);
14            builder.setMessage("Ocorreu um erro: " + e.getMessage());
15            builder.setPositiveButton("OK", null);
16            builder.create().show();
17        }
18
19        mmInStream = tmpIn;
20    }
21
22    public void run() {
23        byte[] buffer = new byte[1024];
24        int bytes;
25        myLabel.append("\n\nResultado da fusão:");
26
27        while (true) {
28            try {
29                bytes = mmInStream.read(buffer);
30                String string = new String(buffer, 0, bytes);
31                mHandler.obtainMessage(MESSAGE_READ, bytes, -1, string).sendToTarget();
32            } catch (IOException e) {
33                AlertDialog.Builder builder = new AlertDialog.Builder(this);
34                builder.setMessage("Ocorreu um erro: " + e.getMessage());
35                builder.setPositiveButton("OK", null);
36                builder.create().show();
37                break;
38            }
39        }
40    }
41
42    public void cancel() {
43        try {
44            mmSocket.close();
45        } catch (IOException e) {
46            AlertDialog.Builder builder = new AlertDialog.Builder(this);
47            builder.setMessage("Ocorreu um erro: " + e.getMessage());
48            builder.setPositiveButton("OK", null);
49            builder.create().show();
50        }
51    }
52 }
```