

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

GUILHERME GERZSON TORRES

**Tecnologia Assistiva para Detecção de Quedas:  
Desenvolvimento de Sensor Vestível Integrado ao Sistema de Casa  
Inteligente**

Porto Alegre

2018

GUILHERME GERZSON TORRES

**Tecnologia Assistiva para Detecção de Quedas:  
Desenvolvimento de Sensor Vestível Integrado ao Sistema de Casa  
Inteligente**

Dissertação de mestrado apresentada  
ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Elétrica, da Universidade Federal do Rio Grande do  
Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título  
de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Controle e Automação

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ivan Müller

Porto Alegre

2018

GUILHERME GERZSON TORRES

**Tecnologia Assistiva para Detecção de Quedas:  
Desenvolvimento de Sensor Vestível Integrado ao Sistema de Casa  
Inteligente**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Ivan Müller, UFRGS

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ivanovitch Medeiros Dantas da Silva, UFRN

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Natal, Brasil

Prof. Dr. Marcelo Götz, UFRGS

Doutor pela Universität Paderborn – Paderborn, Alemanha

Prof. Dr. Jeferson Vieira Flores, UFRGS

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil

Coordenador do PPGEE: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Valner Brusamarello

Porto Alegre, Abril 2018.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho ao meu irmão, minha avó, minha mãe e minha namorada.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, PPGEE, pela oportunidade de realização de trabalhos em minha área de pesquisa. Ao professor Ivan Müller pela ótima orientação. Aos professores e colegas com quem tive aula nesse período de mestrado.

## RESUMO

O uso de tecnologias assistivas objetivando proporcionar melhor qualidade de vida a idosos está em franca ascensão. Uma das linhas de pesquisa nessa área é o uso de dispositivos para detecção de quedas de idosos, um problema cuja ocorrência é cada vez maior devido a diversos fatores, incluindo maior longevidade, maior número de pessoas vivendo sozinhas na velhice, entre outros.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo vestível, um nó sensor de redes de sensores sem fio de ultra-baixo consumo. Também descreve a expansão de um sistema KNX, ao qual o dispositivo é integrado. O dispositivo é capaz de identificar quedas, auxiliando no monitoramento de idosos e, por sua vez, aumentando a segurança dos mesmos. O monitoramento é realizado através de acelerômetro e giroscópio de 3 eixos, acoplados ao peito do usuário, capaz de detectar quedas através de um algoritmo de análise de limites determinados a partir da fusão dos dados dos sensores. O sensor vestível utiliza tecnologia EnOcean, que propicia conexão sem fio com um sistema de automação de casas inteligentes, de acordo com a norma KNX, através da plataforma *Home Assistant*. Telegramas de alarmes são automaticamente enviados no caso de detecção de quedas, e acionam um atuador pertencente ao sistema KNX. Além de validar a tecnologia EnOcean para uso em dispositivos vestíveis, o protótipo desenvolvido não indicou nenhum falso positivo através de testes realizados com dois usuários de características corporais diferentes, onde foram reproduzidos 100 vezes cada um dos oito tipos de movimentos (quatro movimentos de quedas e quatro de não quedas). Os testes realizados com o dispositivo revelaram sensibilidade e de especificidade de até 96% e 100%, respectivamente.

**Palavras-chave:** EnOcean. KNX. Sensor vestível. Fusão de sensores, Detecção de quedas.

## ABSTRACT

The use of assistive technologies to provide quality of life for elderly is increasing. One of the research lines of this area is the use of devices for fall detection, which is an increasing problem due to many factors, including greater longevity, more elders living alone, among others.

This work presents the development of a wearable device, a sensor node for ultra-low power networks. Also, describes the expansion of a KNX system, which the device is integrated. The device is able to detect falls which can aid the monitoring of the elderly people and improve security. The monitoring is done through a 3-axis accelerometer and gyroscope attached on the user's chest. The fall detection is done by a threshold algorithm based on data fusion of the sensors. The wearable sensor is an EnOcean node, which includes a wireless connection with a smart home system, according to the KNX standard, through the Home Assistant platform. Alarm telegrams are automatically sent in case of fall detection, and fires an actuator that is part of the KNX system to alarm. In addition to validating the EnOcean's Technology for use on wearable devices, the developed prototype didn't indicated any false positives through tests performed with two users of different body characteristics, where each of the eight types of movements (four movements of falls and four of non-falls) were reproduced 100 times. The tests done with the device revealed sensitivity and specificity of up to 96% and 100%, respectively.

**Keywords: EnOcean. KNX. Wearable sensor. Sensor Fusion. Fall Detection.**

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: As três camadas da BAN .....	24
Figura 2: Filtro Complementar .....	27
Figura 3: Associação KNX.....	34
Figura 4: Estrutura de uma rede <i>Twisted Pair</i> .....	37
Figura 5: Apartamento do prédio SCI:Q .....	39
Figura 6: Protótipo do sistema KNX em laboratório.....	41
Figura 7: Interface para os controles da sala através do aplicativo. ....	43
Figura 8: Placa de programação EnOcean EOP350 .....	44
Figura 9: Módulo STM300.....	45
Figura 10: Pinagem do módulo STM300 .....	45
Figura 11: chip MPU-9250 da empresa InvenSense .....	46
Figura 12: Prototipação do dispositivo vestível .....	46
Figura 13: Disposição do dispositivo vestível.....	47
Figura 14: Esquema demonstrativo da integração dos sistemas .....	48
Figura 15: Raspberry PI3.....	48
Figura 16: Código de configuração <i>.yaml</i> do <i>Home Assistant</i> .....	50
Figura 17: Movimentos de queda .....	51
Figura 18: Filtro complementar.....	53
Figura 19: Ensaio dos movimentos.....	54
Figura 20: Movimentos de não queda .....	56
Figura 21: Movimentos de queda para frente.....	57
Figura 22: Movimentos de queda para trás .....	58
Figura 23: Movimentos de queda para esquerda.....	59
Figura 24: Movimentos de queda para direita.....	60
Figura 25: Processo de detecção de queda .....	61
Figura 26: Telegrama RPS de alarme do sensor .....	63
Figura 27: Visão geral do sistema .....	64



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Comparativo de trabalhos de identificação de queda .....	32
Tabela 2: Desempenho do algoritmo desenvolvido no primeiro teste .....	62
Tabela 3: Desempenho do algoritmo desenvolvido no segundo teste.....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS

AAL: *Ambient Assisted Living*

ADC: *Analog Digital Converter*

ASK: *Amplitude Shift Keying*

AVAC: *Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado*

BAN: *Body Area Network*

BCI: *BatiBUS Club International*

CASAS: *Center for Advanced Studies in Adaptive Systems*

CEN: *Comitê Europeu de Normatização*

CENELEC: *Comitê Europeu de Normatização Eletrotécnica*

DAC: *Digital Analog Converter*

DMP: *Digital Motion Processor*

EHS: *European Home System Protocol*

EIB: *European installation Bus*

ERP1: *EnOcean Radio Protocol 1*

FSK: *Frequency Shift Keying*

GPS: *Global Position System*

HMM: *Hidden Markov Method*

I2C: *Inter-Integrated Circuit*

IEC: *International Electrotechnical Commission*

ISO: *International Organization for Standardization*

kbps: *quilo bytes por segundo*

K-NN: *K-Nearest Neighbors*

MEMS: *MicroElectroMechanical System*

MPU: *Motion Processing Unit*

PAN: *Personal Area Network*

RAM: *Random Access Memory*

RF: *Radio Frequency*

RFID: *Radio Frequency Identification*

RMS: *Root Mean Square*

SCL: *Serial Clock*

SDA: *Serial Data*

S-FSK: *Spread-Frequency Shift Keying*

SRAM: *Static Random Access Memory*

SVM: *Support Vector Machine*

USB: *Universal Serial Bus*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2</b>	<b>CONTRIBUIÇÕES.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b><i>AMBIENT ASSISTED LIVING</i>.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Casas Inteligentes .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Sensores Vestíveis .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2</b>	<b>SENSORES INERCIAIS MEMS.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Filtro Complementar.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3</b>	<b>MÉTODOS DE DETECÇÃO DE QUEDAS .....</b>	<b>29</b>
<b>2.4</b>	<b>PROTOCOLO ENOCEAN.....</b>	<b>32</b>
<b>2.5</b>	<b>PROTOCOLO KNX.....</b>	<b>34</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>38</b>
<b>3.1</b>	<b>CASA INTELIGENTE COM PROTOCOLO KNX .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2</b>	<b>DISPOSITIVO ENOCEAN VESTÍVEL.....</b>	<b>43</b>
<b>3.3</b>	<b>INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS UTILIZANDO A PLATAFORMA HOME ASSISTANT .....</b>	<b>47</b>
<b>4</b>	<b>EXPERIMENTOS E RESULTADOS.....</b>	<b>51</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Vários fatores socioeconômicos têm despertado, nos últimos anos, o interesse por pesquisas sobre tecnologias assistivas, principalmente em relação aos idosos. Atualmente, 40% dos idosos vivem de forma independente, mundialmente (LE et al, 2016). Portanto, se atualmente a aplicação de tecnologias assistivas vem sendo tratada como importante tópico na área de auxílio para essa grande parcela da população, é fácil de imaginar que, futuramente, por causa do envelhecimento da população mundial, os problemas enfrentados hoje em dia nas áreas da saúde e assistência médica aumentem, necessitando de novas soluções. Em muitos países, a taxa de fertilidade se encontra baixa enquanto a expectativa de vida aumentou, provocando o envelhecimento da população. Como resultado, é de se esperar que proporção de idosos em relação à população total mundial aumente, podendo chegar a dois bilhões de idosos ou seja, 20% da população mundial terá mais de 65 anos em 2050 (RASHIDI; MIHAILIDIS, 2013). Esse aumento populacional de idosos demanda o desenvolvimento de novas tecnologias e soluções para que os sistemas hospitalares, de assistência médica e casas de repouso possam estar prontos para suportar maior busca de seus serviços. É importante destacar também que a internação de idosos vem acompanhada de outros problemas, tais como, depressão, isolamento social e dependência (LIU et al, 2016). Assim sendo, deve-se considerar a importância da identificação de emergências relacionadas aos idosos como um fator chave para a diminuição de sequelas físicas e mentais, de modo a cooperar na diminuição de necessidade de internações e acompanhamento médico. Portanto, a partir da detecção de alguma emergência, maiores são as chances de que o idoso tenha um tratamento adequado e ágil, cooperando para vários fatores, como a diminuição de sequelas, gastos hospitalares, internações médica entre outros.

Vários tipos de tecnologias podem ser utilizados a fim de proporcionar auxílio aos idosos, como uso de robótica, casas inteligentes e dispositivos vestíveis. Quando incorporadas

ao ambiente, essas tecnologias proporcionam um ambiente de assistência constante, sendo de grande interesse social e econômico, uma vez que podem proporcionar serviços como atendimento médico remoto e monitoramento, além de proporcionar maior independência e melhor qualidade de vida, já que os idosos preferem estar no conforto de suas casas ao invés de terem que frequentar centros de tratamentos e hospitais. Portanto, existe uma demanda por tecnologias assistivas que, de forma não invasiva, auxiliem no monitoramento e na assistência e que funcione em ambientes residenciais.

A identificação de quedas por meio de métodos não invasivos vem sendo tratada através do desenvolvimento de dispositivos vestíveis dotados de sensores inerciais que utilizam diversos tipos de algoritmos para detecção de quedas. A aplicação desse método de monitoramento auxilia no provimento de qualidade de vida, pois permite o monitoramento do idoso em sua residência e a assistência médica de forma emergencial, pois, sabe-se que a ocorrência de uma queda pode acarretar na diminuição da mobilidade, das relações sociais, da satisfação com a vida e aumento da depressão, fatores esses que incrementam as chances de ocorrência de uma nova queda (WANG, et al. 2017).

## **1.1 OBJETIVOS**

Como resultado do estudo feito na fase inicial desta dissertação, foram descobertas lacunas importantes:

- Desenvolvimento de algoritmo para detecção de quedas a partir dos sinais dos sensores inerciais, que seja computacionalmente eficiente, e de baixo consumo de energia. Ainda, tais algoritmos devem apresentar resultados eficientes, com o mínimo de falsas detecções, ou seja, maior confiabilidade;
- Integrar os sensores inerciais em nós de redes de sensores sem fio, de ultra-baixo consumo, de forma a propiciar dispositivos vestíveis;

- Integrar o sensor de quedas com redes de automação residenciais, especialmente desenvolvidas e utilizadas em conjunto com tecnologias assistivas.

Portanto, o objetivo dessa dissertação é o desenvolvimento e implementação de um protótipo de dispositivo vestível utilizando tecnologia EnOcean de ultra-baixo consumo que, através do envio de telegramas de alarme, sirva como um sensor ativo no ecossistema de uma casa inteligente que utiliza o sistema de automação KNX. O alarme ocorre devido a detecção de quedas, dessa forma os seguintes objetivos foram determinados:

- Desenvolvimento de um dispositivo vestível que utiliza tecnologia EnOcean;
- Desenvolvimento de um algoritmo detector de quedas através do método de análise de limites, a partir de dados provenientes de sensores inerciais;
- Descrição do projeto de expansão do sistema KNX desenvolvido no período de mestrado sanduíche na Alemanha;
- Integração do dispositivo EnOcean com a rede de automação residencial KNX, através da plataforma *Home Assistant*.

Ao conectar-se com um sistema de automação KNX através da plataforma Home Assistant, o dispositivo desenvolvido deve atuar como detector de quedas. Quando ocorre a detecção de quedas, o sensor interage com um atuador do sistema de automação KNX, possibilitando o alarme emergencial.

Nenhum sistema sem fio consegue satisfazer todos os requerimentos de projetos, sejam eles eficiência energética, rádio transmissor (com ou sem bateria), grande volume de dados, tempo de envio de dados, frequência de comunicação entre outros, fazendo com que a escolha da tecnologia seja baseada em suprir os requerimentos necessários para o projeto. Em se tratando de dispositivos vestíveis, algumas tecnologias vêm sendo utilizadas, como

WLAN, ZigBee e Bluetooth. Portanto, considerar a tecnologia EnOcean para o uso em dispositivos vestíveis tem o objetivo de utilizar as vantagens de sua tecnologia, já que, melhor do que as outras, consome pouca energia. De acordo com (KAUR; SHARMA, 2013), Alguns fatos destacam a tecnologia EnOcean entre as outras pré-citadas. EnOcean é a única tecnologia que possibilita a utilização de um rádio transmissor sem bateria, sendo uma vantagem em dispositivos vestíveis no quesito manutenção do sistema e economia. Outro fator importante é o baixo risco de colisão de dados, importante fator quando se considera a possibilidade de vários dispositivos coexistirem no mesmo sistema. Esse fato pode acontecer caso o dispositivo de alerta de quedas seja implantado em sistemas hospitalares com vários usuários em monitoramento. Por esses motivos, a escolha dessa tecnologia se baseia em: novidade na área de implementação de dispositivo vestível e a clara a contribuição que essa tecnologia pode dar para esse tipo de sistema.

## **1.2 CONTRIBUIÇÕES**

O sistema de detecção de quedas desenvolvido nessa dissertação contribui para a área de pesquisa de tecnologias assistivas integradas aos sistemas de casas inteligentes. Foi desenvolvido considerando cenários reais, ou seja, movimentos rotineiros de quedas, além da facilidade de uso do dispositivo pelo usuário. Como protótipo, o dispositivo é instalado em um suporte posicionado no peito do usuário. A facilidade de utilização do dispositivo será, em trabalho futuro, aprimorada através da miniaturização do dispositivo. Através da detecção automática das quedas e da interligação com o sistema de casas inteligentes, o dispositivo auxilia no monitoramento do idoso e no acionamento de alarmes emergenciais. Essa detecção utiliza informações dos sensores inerciais para distinguir os movimentos de quedas e de não quedas. Ao todo, o dispositivo foi testado para quatro tipos de movimentos de quedas e quatro tipos de movimentos que não caracterizam quedas. O algoritmo é baseado no método de



detecção de quedas a partir da análise de limites, portanto, um estudo foi feito a partir de ensaios experimentais para adquirir os valores desses limites. Testes foram realizados com o objetivo de validar a confiabilidade do dispositivo.

O projeto de casa inteligente KNX foi realizado durante o período de mestrado sanduíche realizado na Alemanha, no instituto Fraunhofer FIT, localizado na cidade de Hamm. Foi feita a expansão de um sistema KNX, onde o objetivo era realizar a implantação de vários sensores e atuadores de forma a auxiliar no monitoramento e assistência de idosos. Portanto, o dispositivo vestível desenvolvido se insere nesse sistema KNX através da conexão via *Home Assistant*, fazendo parte do sistema, sendo capaz de detectar as quedas.

### **1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

A dissertação é organizada em 5 capítulos, sendo o primeiro capítulo a introdução. O capítulo 2 fornece as informações teóricas fundamentais para a compreensão da dissertação sobre AAL e suas tecnologias como casas inteligentes e sensores vestíveis, sensores inerciais e os protocolos EnOcean e KNX, assim os métodos utilizados na literatura para o desenvolvimento de sistemas de detecção de quedas. O capítulo 3 explica os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento do projeto de expansão do sistema KNX, do dispositivo vestível e a sua integração com o sistema KNX. Os resultados são fornecidos no capítulo 4, onde foram realizados alguns experimentos de forma a validar o dispositivo quanto a sua confiabilidade. A dissertação, portanto, reúne as conclusões no capítulo 5, onde também são propostos futuros trabalhos que se mostraram relevantes com o seu desenvolvimento.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta uma revisão sobre *Ambient Assisted Living* (AAL) e as tecnologias mais aplicadas, assim como trabalhos relacionados com este assunto. São explicados como funcionam os sensores inerciais MEMS (*Micro-Electro-Mechanical-Systems*) e os métodos de fusão de sinais visando a supressão de ruídos. Um relato dos métodos de detecção de quedas utilizados na literatura é apresentado. Por fim, um estudo sobre os protocolos de comunicação para automação EnOcean e KNX é feito, a fim de proporcionar base conceitual sobre as tecnologias utilizadas no desenvolvimento do projeto descrito na dissertação.

### 2.1 AMBIENT ASSISTED LIVING

A medicina moderna permite que as pessoas vivam mais saudáveis por mais tempo quando comparadas às gerações anteriores. De fato, estima-se que 20% da população mundial terão mais de 65 anos em 2050 (RASHIDI; MIHAILIDIS, 2013). O envelhecimento da população acarreta em desafios tanto para a sociedade, como inclusão e acessibilidade, quanto para sistemas de saúde, como disponibilidade de médicos e medicamentos. Aliado a esses fatores, é normal que os idosos sofram com doenças e conseqüentemente tenham que enfrentar dificuldades diariamente. Essas dificuldades são, muitas vezes, oriundas de doenças crônicas, problemas de visão e surdez, limitações físicas e de cognição. Considerando o fato que a maioria dos idosos opta por viver em suas próprias casas, o desenvolvimento de tecnologias de AAL está sendo considerado de grande importância, uma vez que promove a maior independência e aprimora a qualidade de vida dos idosos.

AAL refere-se à aplicação de tecnologias de informação, dispositivos de assistência autônomos e tecnologias de casas inteligentes na rotina diária e é resultado do progresso das tecnologias assistivas, que por sua vez se caracterizam por tecnologias onde dispositivos

auxiliam em uma atividade individual rotineira, como por exemplo, andadores, cadeiras de rodas e dispositivos que auxiliam deficientes à utilizarem computadores. Portanto AAL surge da integração de tecnologias assistivas com o meio em que se vive, muitas vezes caracterizado pelo uso de sensores e atuadores de forma a auxiliar atividades rotineiras.

Segundo (BLACKMAN et al., 2015), existem três gerações de tecnologias AAL. A primeira geração consiste de dispositivos pessoais de alarmes, como por exemplo, botões de alarme onde o idoso, quando sente necessidade de alertar em caso de emergência, pressiona um botão para alguém fazer contato e agir de acordo com o tipo de emergência. A segunda geração consiste de dispositivos mais elaborados, permitindo detectar potenciais casos de emergência automaticamente através de sensores espalhados pelo ambiente, como câmeras, permitindo um monitoramento do idoso mais eficiente. Uma vantagem desse tipo de abordagem é a detecção de casos emergenciais sem precisar que o idoso tenha que agir pressionando um botão, por exemplo, mas levanta dúvidas relacionadas à privacidade dos usuários. A terceira geração caracteriza-se por desenvolver um ambiente inteligente para detectar e reportar problemas ou emergências de forma menos invasiva. Esses sistemas são caracterizados por integrar computadores e dispositivos em rotinas de forma a monitorar tanto o ambiente quanto o idoso. Sensores do tipo vestível e outros que estejam instalados pelo ambiente servem para monitorar sinais vitais e padrões de rotina do usuário, e atuadores, dispostos no ambiente, auxiliam idosos facilitando a utilização de dispositivos como, por exemplo, de climatização e eletrodomésticos. Portanto, pode-se considerar que as inovações das tecnologias de AAL são atreladas diretamente à constante evolução de tecnologias das áreas de casas inteligentes, robótica e sensores.

### 2.1.1 Casas Inteligentes

Existem várias definições na literatura quanto ao termo “casas inteligentes”. Uma das primeiras definições foi dada por (LUTOLF, 1992), como sendo a integração de diferentes serviços dentro da casa usando um sistema de comunicação comum, assegurando economia, operação segura e confortável da casa, com alto grau de funcionalidade inteligente e flexibilidade. Definições contemporâneas complementam, destacando a utilização de sensores de forma inteligente, onde segundo (RASHIDI; MIHAILIDIS, 2013), casa inteligente consiste de uma casa padrão aprimorada com vários tipos de atuadores e sensores, como RFID, pressão, interruptores magnéticos, câmeras, microfones, sensores ultrassônicos e infravermelhos. Uma definição mais ampla é feita por (ALAM et al., 2012), onde diz que as casas inteligentes constituem um ramo da computação ubíqua onde incorpora inteligência em moradias em busca de conforto, assistência médica, segurança e conservação de energia, oferecendo qualidade de vida ao introduzir controle automatizado, serviços de assistência, de modo a permitir controle e monitoramento remoto.

Geralmente, as casas inteligentes contribuem para diminuir ou eliminar problemas em relação ao conforto, saúde e segurança dos residentes, utilizando sensores e atuadores. Sensores convertem sinais analógicos ou ações do usuário em dados. São dispositivos que detectam determinados eventos, como por exemplo, alguém pressionando um botão, alguém se movendo e variação da temperatura em algum ambiente. Esses eventos são transformados em pacotes de dados e são enviados ao sistema através de um barramento comum entre os dispositivos. Dispositivos que recebem esses pacotes e convertem os comandos embutidos no pacote em ações são chamados atuadores. Ou seja, sensores contribuem com informações e atuadores ligam os componentes elétricos (ex: lâmpadas) com o sistema, a fim de serem influenciados por comandos derivados dessas informações. Problemas relacionados à segurança podem ser limitados através de uso de sensores para detecção de eventos e

monitoramento. Na área da saúde, sensores que detectam os níveis de umidade, gás carbônico e temperatura são usados para monitorar a qualidade do ar no ambiente. O conforto pode ser melhorado através do uso de atuadores para o controle da iluminação, cortinas e temperatura.

De fato, muitas casas inteligentes utilizam dados provenientes do monitoramento através de sensores, permitindo a avaliação da saúde cognitiva e física, além de permitir maior automação e conforto para os residentes. The Aware Home é um projeto realizado pelo instituto de tecnologia da Geórgia (Georgia Tech), em que são empregados diversos sensores, como chão inteligente e robôs para monitorar e auxiliar os idosos nas atividades (ABOWD; MYNATT, 2004).

Gator Tech Smart House (HELAL et al., 2005) é um projeto desenvolvido na University of Florida. Trata-se de um laboratório experimental onde são feitas análises de aplicações tecnológicas para casas inteligentes. Portanto, serve como uma plataforma para implementar, testar e validar vários sistemas inteligentes, dando suporte para pesquisas e projetos que visam ajudar os idosos e pessoas com necessidades especiais, maximizando a independência e promovendo qualidade de vida através da inovação em tecnologias de computação pervasiva e da criação de um ambiente de suporte. O projeto foi realizado com a finalidade de acomodar uma única família e possui diversos sistemas tecnológicos inteligentes instalados, como lavanderias, projetores, pisos, monitores de segurança, caixas de correios, identificador RFID, banheiro, espelho, armário e cama, entre outros. Através desses sistemas, a casa proporciona funcionalidades, entre elas o controle automático das janelas, dependendo da temperatura, ou se o ar condicionado está ligado. O chão inteligente, formado por sensores de pressão instalados no chão, identifica e monitora os ocupantes, detecta quedas e faz alertas de emergência. Monitores estão espalhados pela casa, possibilitando a comunicação com os residentes. A caixa de correio avisa o residente em caso de entrega de carta. Um *Smartphone* atua como um controlador central, possibilitando o controle de todos os eletrodomésticos e

acesso remoto. Sensores de pressão na cama monitora a qualidade e os padrões de sono e espelhos inteligentes mostram mensagens importantes.

Takaoka Welfare Techno House (TAMURA et al., 2007) é outro projeto de casa inteligente, que incorpora em seu ambiente conforto, segurança e monitoramento, sendo capaz de coletar dados fisiológicos. Nessa casa, é possível controlar a iluminação, as persianas e janelas através de um sistema de automação, além do chão ser aquecido e acolchoado. Eletrocardiogramas são obtidos a partir de medições feitas por tecidos condutores instalados nas camas e por eletrodos instalados na banheira, enquanto o peso corporal e o volume de urina são medidos no banheiro.

O projeto CASAS, realizado na Washington State University, é um projeto multidisciplinar, onde o conceito é de definir a casa inteligente como um agente atuante, ou seja, ela utiliza sensores, de forma não invasiva, para monitorar os residentes, reconhecendo as atividades rotineiras e dessa forma, através de atuadores, agir no ambiente de forma a aumentar o conforto, a segurança e a produtividade dos mesmos. Uma das aplicações desse projeto foi avaliar as adaptações de uma casa inteligente quando os residentes têm algum tipo de demência (RASHIDI; COOK, 2009).

Elite Care se trata de uma instalação focada em proporcionar aos idosos um modo de vida assistida, aprimorando o conforto e a saúde dos residentes. É equipada com sensores, como células de carga para monitorar o peso corporal dos idosos e o tempo em que passam deitados na cama (ADAMI, et al., 2010).

### 2.1.2 Sensores Vestíveis

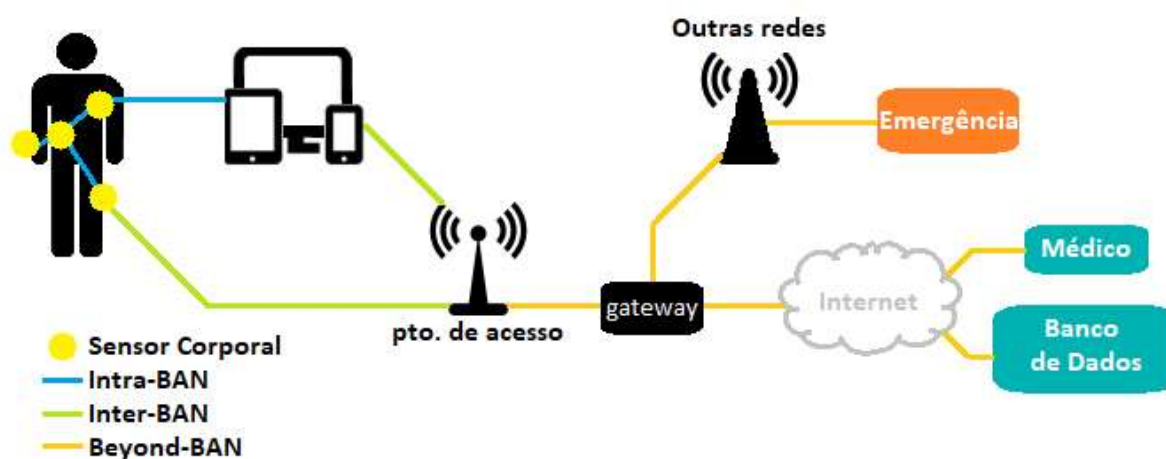
Motivado pelo interesse cada vez maior da área médica em monitorar pacientes, e pelo recente avanço das microtecnologias, miniaturização de sensores e tecidos inteligentes, os sistemas vestíveis são utilizados com frequência, permitindo a avaliação contínua de dados fisiológicos. Esses sistemas consistem de uma variedade de sensores, atuadores e dispositivos multimídia que permitem alternativas menos invasivas e de menor custo para monitorar dados referentes à saúde, atividade e mobilidade. Podem ser definidos como dispositivos eletrônicos móveis que podem ser embutidos discretamente na vestimenta, ser parte de uma roupa ou ser um acessório. A grande vantagem desses dispositivos é que são operacionais gerando um mínimo de incômodo ao usuário: enquanto o mesmo realiza suas atividades rotineiras, dados fisiológicos são adquiridos.

Muitos sensores são utilizados para adquirir diferentes dados do usuário. O avanço da tecnologia MEMS possibilitou o surgimento de diversos outros sensores relacionados a área médica. Como por exemplo, é possível identificar o nível de glicose no sangue, pressão, atividade cardíaca e temperatura corporal através de sensores infravermelhos, ópticos ou oscilométricos. BioHarness (JOHNSTONE et al., 2012), AMON (ANLIKER, et al., 2004), WEALTHY (PARADISO et al., 2005), VTAMN (NOURY et al., 2004), MagIC (DI RIENZO, et al., 2005) e BIOTEX (COYLE, et al., 2010) são alguns exemplos de sensores vestíveis usados para monitorar remotamente diversos fatores sobre a saúde dos usuários, gerando dados como eletrocardiogramas, eletromiogramas, de respiração e de atividade física. Sensores inerciais são amplamente utilizados, principalmente na área de assistência médica, em dispositivos que detectam quedas, atividades e mobilidade do usuário e para analisar e perceber problemas físicos na maneira de andar do paciente (WANG et al., 2009; BIDARGADDI et al., 2007). O uso de *smartphones* é estudado como possível dispositivo vestível devido à quantidade de sensores embarcados, como giroscópios, acelerômetros, GPS,

magnetômetros e de proximidade. Através deles é possível detectar atividades e mobilidade do usuário (HE et al., 2016), no entanto, esse tipo de abordagem apresenta desvantagens no conforto e precisão nos dados dos sensores, devido às dificuldades de acoplamento do dispositivo ao corpo, muitas vezes impactando nos movimentos a serem analisados.

A maioria dos sensores vestíveis é projetada para uma arquitetura de rede chamada Body Area Network (BAN). BAN permite comunicação sem fio em três níveis: Intra-BAN, Inter-BAN e Beyond-BAN. A Figura 1 apresenta os três níveis da rede BAN.

Figura 1: As três camadas da BAN



Fonte: O Autor (2017)

Na Intra-BAN, ocorre a comunicação entre sensores corporais e/ou dispositivos portáteis, como por exemplo *smartphone*. Essa comunicação pode ser realizada através de tecnologias PAN, como Bluetooth (IEEE 802.15.1) e ZigBee (IEEE 802.15.4). A comunicação pode ser direta ou através de *multihop*, onde os sensores atuam como repetidores, encaminhando mensagens até o destino, que pode ser um *smartphone* ou um dispositivo que atue como um centralizador de informações de sensores. A comunicação na Inter-BAN ocorre entre esse dispositivo centralizador e o ponto de acesso, e podem ocorrer conexões com diferentes tipos de redes, como WLAN, 3G/4G, Bluetooth e ZigBee. Beyond-BAN trata da comunicação com o ambiente externo, ou seja, um *Gateway* é utilizado como



uma ponte entre Inter-BAN e Beyond-BAN, permitindo a conexão com a internet ou outras redes. Portanto, dados dos sensores podem ser acessados remotamente por profissionais como médicos ou enfermeiros.

## 2.2 SENSORES INERCIAIS MEMS

Sensores inerciais baseados na tecnologia MEMS estão cada vez mais sendo adotados em diversos produtos eletrônicos. Entre eles, *smartphones*, *tablets*, brinquedos e sensores vestíveis (SHAEFFER, 2013). MEMS são dispositivos de tamanho entre 1mm e 1 $\mu$ m que combinam componentes elétricos e mecânicos para produzir diversos tipos de sensores, mais comumente, acelerômetros, giroscópios, magnetômetros, de pressão, entre outros (MALUF, 2004).

Os sensores inerciais utilizados com maior frequência para monitoramento de movimentos são os acelerômetros, que medem aceleração linear, e os giroscópios, que medem a velocidade angular. A informação proveniente desses sensores pode ser combinada e correlacionada para avaliar o movimento e a postura humana. Para medir a aceleração, o acelerômetro é composto por uma massa conectada a uma mola, que está presa. A aceleração externa age na massa, gerando deslocamento da mesma, e a magnitude desse deslocamento é proporcional à aceleração e inversamente proporcional à rigidez da mola, ou seja, da distância que a mola estica surge a informação de quanto o corpo acelerou linearmente. O princípio de conversão desse deslocamento para sinais elétricos se dá através de transdutores piezoelétricos, capacitivos, piezoresistivos, entre outros. Acelerômetros são sensíveis à força gravitacional, portanto a orientação afeta o sinal de saída. Por exemplo, se a orientação é perpendicular ao eixo da gravidade, a força gravitacional aparecerá no sinal de saída, ou seja, será de 9,8 m/s<sup>2</sup> ou uma unidade de força gravitacional (1g). Rotacionando-se o acelerômetro 90°, a massa não será deslocada pela força gravitacional e portanto o sinal de saída será de 0g.

Os giroscópios se baseiam em elementos mecânicos de vibração para detectar rotação, e ao rotacionar, a estrutura mecânica entra em ressonância, gerando uma oscilação devido à pseudoforça Coriolis. A amplitude dessa oscilação é diretamente proporcional à velocidade angular. O sinal de velocidade angular gerado apresenta problemas de *drift*, devido à incapacidade do sensor de retornar ao estado inicial depois de realizar a rotação.

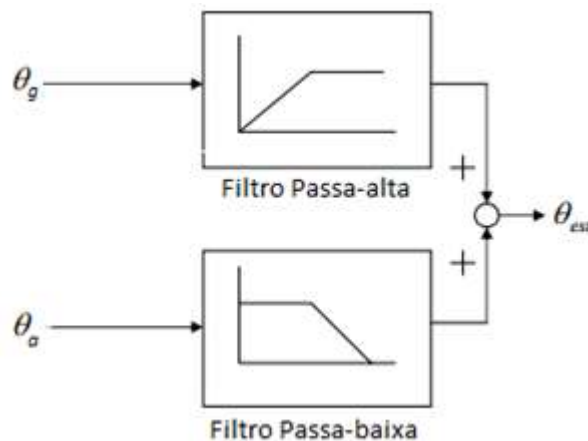
Muitas aplicações necessitam combinar sinais de sensores, como por exemplo, aceleração linear e velocidade angular, para determinar com precisão o movimento do objeto/usuário. Por exemplo, a combinação pode diminuir os efeitos de *drift* e de ruídos nos sinais de velocidade angular e aceleração linear, respectivamente e conseqüentemente, apresentar sinais mais precisos, possíveis de serem usados para análise de situações mais críticas.

### **2.2.1 Filtro Complementar**

O filtro complementar é um filtro adequado para aplicações onde o ruído não é facilmente determinado. É aplicado para estimar um valor a partir de duas medições de fontes diferentes, onde é conhecido que uma das fontes pode proporcionar bons dados na região de baixa frequência e a outra na região de alta frequência. Ou seja, o filtro Complementar é um método de fusão das medições pertencentes à baixa frequência com as medições pertencentes à alta frequência (MAHONY et al., 2005). Um exemplo de aplicação de filtro é justamente determinar o ângulo de inclinação a partir de sinais do acelerômetro e do giroscópio. É possível determinar o ângulo a partir do sinal do acelerômetro, porém o valor é afetado por ruídos de alta frequência. Ao mesmo tempo, o ângulo pode ser determinado a partir do sinal do giroscópio, pois é a integral da velocidade angular, porém o valor é afetado por ruídos de baixa frequência (*drift*). Para estimar um valor de ângulo minimizando a influência desses ruídos, os dois valores de ângulos determinados por acelerômetros e giroscópios são usados

como entradas do filtro complementar. A Figura 2 apresenta o filtro, onde o primeiro ângulo  $\theta_a$ , ou seja, o ângulo gerado a partir do acelerômetro, passa por um filtro passa baixa, e o segundo ângulo  $\theta_g$ , ou seja, o ângulo gerado a partir do giroscópio, passa por um filtro passa alta para que depois os sinais sejam somados. Logo, o sinal de saída é formado pela parcela de sinal de cada sinal de entrada, onde os sinais de ruídos não afetam de forma significativa o resultado final.

**Figura 2: Filtro Complementar**



**Fonte: O Autor (2017)**

Os dois filtros são de primeira ordem e podem ser descritos por funções de transferência, ou seja, filtro passa-alta =  $\frac{Ts}{Ts + 1}$  e filtro passa-baixa =  $\frac{1}{Ts + 1}$ . Como mencionado anteriormente, o ângulo estimado  $\theta_{est}$  pelo filtro é formado pelo ângulo  $\theta_a$  obtido das medições do acelerômetro, e pelo ângulo  $\theta_g$  obtido da integração das medições do giroscópio  $w$ . Logo, o ângulo estimado pelo filtro complementar para esse caso pode ser descrito, utilizando a transformada de Laplace, como:

$$\theta_{est} = \frac{1}{Ts + 1} \theta_a + \frac{Ts}{Ts + 1} \frac{1}{s} w \quad (10)$$

Reescrevendo, obtemos a seguinte forma:

$$\Theta(s) = G(s)\Theta_a(s) + (1 - G(s))\frac{1}{s}W(s) \quad (11)$$

Onde  $G(s)$  é o filtro passa-baixa e  $1-G(s)$  é o filtro passa-alta. A soma dos dois filtros, portanto é igual a 1. Considerando  $G(s) = \frac{1}{\alpha s + 1}$ , através do método de discretização de Euler, o filtro pode ser escrito na sua forma discreta como:

$$\hat{\theta}_k = (1 - \gamma)\theta_{a,k} + \gamma(\hat{\theta}_{k-1} + w_k\Delta t) \quad (12)$$

Onde  $\gamma = \frac{\alpha}{\Delta t + \alpha}$ . Através da equação 12, pode-se calcular recursivamente o ângulo  $\hat{\theta}$ .

O parâmetro necessário a ser determinado para a definição do filtro é  $\alpha$ . Um grande  $\alpha$  resulta em uma frequência de corte do filtro baixa, ou seja, maior contribuição do sinal do giroscópio no ângulo  $\hat{\theta}$ . Por outro lado, um  $\alpha$  pequeno resulta em uma frequência de corte maior e portanto significa uma maior contribuição do sinal do acelerômetro no ângulo  $\hat{\theta}$ .

Portanto, o sinal de saída é formado pela parcela de baixa frequência, determinada a partir dos sinais do acelerômetro, e pela parcela de alta frequência determinada pelo sinal do giroscópio, necessitando determinar a frequência de corte dos filtros a serem utilizados. É um filtro amplamente empregado por ter eficiência em fusão de dados e necessitar pouco esforço computacional, possibilitando ser aplicado em hardware de menor poder computacional.

### 2.3 MÉTODOS DE DETECÇÃO DE QUEDAS

As ocorrências de quedas de idosos vêm sendo tratadas com grande importância pela sociedade médica, devido às diversas consequências que elas podem acarretar. Além de resultarem em possíveis danos e fraturas, reduzindo a independência, as quedas podem afetar psicologicamente ou causar a morte do idoso. Quanto antes uma queda seja detectada e reportada, menores as chances das consequências serem mais graves. Portanto, diversos métodos são utilizados para contribuir na minimização das ocorrências, identificando quedas de idosos de forma mais rápida e eficiente.

Na literatura, muitos trabalhos utilizam dispositivos vestíveis para detectar quedas, e se caracteriza por utilizar sensores embarcados nos dispositivos para detectar a postura e o movimento do corpo. São utilizadas formas de classificação para distinguir movimentos diversos de situações de quedas, entre elas técnicas de aprendizado de máquina K-NN (*K-Nearest Neighbors*), SVM (*Support Vector Machine*), HMM (*Hidden Markov Method*) ou por observação dos movimentos com o objetivo de gerar algoritmos que consideram limites. O método de algoritmos que consideram limites baseia-se em determinar limites baseados em dados de movimentos para diferenciar movimentos diferentes, ou seja, esses limites servem para diferenciar um movimento de queda para um de não queda, pois cada tipo de movimento gera um tipo de dado, possível de ser diferenciado baseado em algum aspecto, gerando assim um limite. A partir de ensaios, esses limites podem ser determinados utilizando técnicas de observação ou classificação automática a partir de aprendizado de máquina, como por exemplo K-NN, SVM e HMM.

Geralmente, sensores inerciais são empregados devido ao baixo custo e conveniência, pois as quedas normalmente estão relacionadas com variações na aceleração do corpo,

fazendo o uso de acelerômetros pertinente. Por sua vez, giroscópios podem ser usados para melhorar a precisão dos sistemas através da análise da velocidade angular em movimentos de queda.

As primeiras pesquisas datam no início da década de 90. (LORD; COLVIN, 1991), e (WILLIAMS, 1998), propuseram sistemas de detecção de impacto ao cair no chão através de acelerômetros. Posteriormente, (NOURY et al., 2000) desenvolveu um sensor que detecta quando a velocidade excede um certo limite, identificando o movimento entre a postura vertical e horizontal. (LINDEMANN, 2005) propôs o uso de um acelerômetro de 3-eixos, que identifica quedas através de um algoritmo que avalia três limites referentes à soma vetorial da aceleração no plano- $XY$ , soma vetorial da velocidade antes do impacto e a soma vetorial da aceleração geral. (BOURKE et al., 2007) propôs dois algoritmos que analisam limites estabelecidos através de dados de um acelerômetro de 3-eixos ou de um giroscópio de 2-eixos. (LI et al., 2009), utilizando um algoritmo baseado em dados de dois sensores dotados de acelerômetro e giroscópio de 3 eixos cada, dispostos em posições diferentes no corpo, identifica posturas e movimentos. (WU et al., 2014 e ABDELHEDI et al., 2016), apresentam sistemas de monitoramento que detectam quedas através de algoritmos baseados em análise de limites, utilizam acelerômetros para determinar a soma vetorial da aceleração e o ângulo do corpo referente ao plano- $XY$ , determinando as fases de aceleração durante a queda, o impacto e a posição horizontal do corpo posterior ao impacto. (GUO et al., 2015), utiliza um algoritmo baseado em dados de acelerômetro e giroscópio de 3-eixos utilizando a soma vetorial dos sinais de aceleração de velocidade angular como limites para análise. (SWATHI; AMARNADH, 2014), através da análise da aceleração, utiliza SVM para determinar os limites do algoritmo, separando movimentos de queda dos movimentos de atividade normal. (TONG et al., 2013, e LIM et al., 2014), utilizam acelerômetros de 3-eixos para coletar dados relacionados às quedas para utilizar HMM e avaliar os riscos de queda. (DARKO et al., 2007,

e HE et al., 2016), utilizam dados de acelerômetro e/ou giroscópio de 3-eixos e um algoritmo K-NN para diferenciar atividades seguras de quedas.

Outros trabalhos utilizam técnicas de processamento de imagens. (NAIT-CHARIF; MCKENNA, 2004; ROUGIER; MEUNIER, 2005), analisam a trajetória do movimento da cabeça para detectar quedas, utilizando algoritmos baseados em filtro de partículas. (MIHAILIDIS; LEE, 2005), utiliza algoritmos que analisam cenas para detectar quedas. A desvantagem desse método é o alto custo associado ao sistema. Aliado a isso, na prática se vê pouco uso desses sistemas, e isso se deve a diversos fatores: resultados não satisfatórios, ergonomia, falsos alarmes recorrentes e sensação, por parte dos idosos, de se sentirem frágeis e monitorados por todo tempo.

É praticamente impossível comparar o desempenho de diferentes métodos de detecção de queda, pois não existem critérios de avaliação ou métodos de testes estabelecidos. Para contornar esse fato, um sistema de avaliação de qualidade baseado em dois conceitos: sensibilidade, que é a capacidade do sensor de detectar quedas, ou seja, avalia o desempenho quanto aos falsos negativos, e especificidade, que é a capacidade de detectar somente a queda, ou seja, avalia o desempenho quanto aos falsos positivos é proposto por (NOURY et al., 2007). Eles são determinados segundo as seguintes fórmulas:

$$\text{Sensibilidade} = \frac{\textit{positivo verdadeiro}}{\textit{positivo verdadeiro} + \textit{negativo falso}} \quad (13)$$

$$\text{Especificidade} = \frac{\textit{negativo verdadeiro}}{\textit{negativo verdadeiro} + \textit{positivo falso}} \quad (14)$$

Tais conceitos fazem parte do conceito da matriz de confusão, que permite a avaliação do desempenho de um determinado algoritmo. Uma matriz de confusão com duas colunas e duas linhas que reporta o número de positivos e negativos falsos, e positivos e negativos verdadeiros, permite a análise da sensibilidade e especificidade do algoritmo.

Ainda, os dados de avaliação devem ser provenientes de testes utilizando cenários onde se avalia movimentos como quedas frontais, laterais e para trás, e movimentos neutros como sentar, deitar, caminhar, se curvar e tossir/espirrar. Na Tabela 1 há um comparativo de trabalhos onde os autores avaliaram os resultados baseando-se no conceito de sensibilidade e especificidade. Os valores da Tabela 1 foram realizados a partir de cálculo baseado nas informações fornecidas pelos autores.

**Tabela 1: Comparativo de trabalhos de identificação de queda**

AUTOR	SENSOR	MÉTODO	SENSIBILID./ESPECIFIC.
WU ET AL., 2014	Acelerômetro	Algoritmo Threshold	97% / 98%
ABDELHEDI ET AL., 2016	Acelerômetro	Algoritmo Threshold	96% / 97%
LI ET AL., 2009	Dois acelerômetros e dois giroscópios	Algoritmo Threshold	91% / 92%
SWATHI; AMARNADH, 2014	Acelerômetro	Algoritmo Threshold + SVM	100% / -
HE ET AL., 2016	Acelerômetro e Giroscópio	Algoritmo K-NN	97% / 97,50%
TONG ET AL., 2013	Acelerômetro	Algoritmo HMM	100% / 100%

**Fonte: O Autor (2017)**



## 2.4 PROTOCOLO ENOCEAN

Esta seção apresenta os fundamentos do protocolo de comunicação EnOcean, escolhido por ser um padrão *wireless* de ultra-baixo consumo energético e que possibilita o uso de técnicas de colheita de energia. É usado principalmente em dispositivos *wireless* para automação residencial e predial, entre eles sensores, controladores e *gateways*. De forma a providenciar um padrão em que vários fabricantes pudessem produzir produtos EnOcean, em 2012, o padrão EnOcean *wireless* foi ratificado como um padrão internacional ISO/IEC 14543-3-10. O padrão descreve as seguintes camadas do modelo OSI: física, enlace de dados, de rede e de aplicação. Uma aliança de empresas, chamada *EnOcean Alliance*, foi criada com o objetivo de promover a tecnologia, sendo algumas empresas que formam essa aliança a Texas Instruments, Omnicell, Mkr Electronics e outras.

A plataforma de hardware, chamada DOLPHIN EO3000I, é composta por um SoC (*System-on-Chip*), que possui um transceptor RF com taxa de dados de até 125 kbit/s, um microcontrolador 8051, memórias *Flash* e RAM, periféricos e uma unidade de gerenciamento de energia. A energia necessária para alimentar o SoC pode ser gerada através de micro conversores, como painel solar, gerador térmico ou eletromecânico, podendo, em alguns casos, substituir o uso de baterias, reduzindo o custo de manutenção do dispositivo.

DOLPHIN possui um transceptor RF configurável capaz de receber e transmitir telegramas de rádio e opera em várias frequências disponíveis: 868 MHz (Europa) e 315 MHz (EUA) com modulação por chaveamento em amplitude, e frequências 902MHz (EUA) e 928MHz (Japão) com modulação por chaveamento em frequência. Na camada de aplicação é montada a estrutura de um telegrama EnOcean, com a função de oferecer interoperabilidade entre fabricantes de dispositivos EnOcean. Esses telegramas podem ser do tipo RPS (*Repeated Switch Communication*) e 1BS (*1 Byte Communication*), que têm 1

byte de dados, 4BS (*4 Byte Communication*), que tem 4 bytes de dados e VLD (*Variable Length Data*), que tem número de bytes de dados variável (EnOcean, 2013).

O padrão EnOcean possui um protocolo para comunicação serial que permite estabelecer comunicação serial entre módulos EnOcean e algum *host*, como por exemplo um microcontrolador ou um PC. A conexão estabelecida é baseada na interface serial RS232, UART, *full duplex*, com *handshake* e taxa de *bits* por segundo configurável. Pacotes do protocolo EnOcean se tornam transparentes através dessa interface serial.

## 2.5 PROTOCOLO KNX

No início dos anos 90, foi criada uma associação com o objetivo de promover a construção de residências e edifícios inteligentes, dando origem ao sistema EIB (*European Installation Bus*), apoiado por grandes empresas. Essa associação se chamava *EIB association*. Em 1999, essa associação se juntou com outras duas associações europeias chamadas BCI (França) e *European Home Systems Association* (Holanda), as quais promoviam o uso do sistema Batibus e do EHS, respectivamente. Essa combinação de associações deu origem à *KNX Association*, como mostra a Figura 3.

**Figura 3: Associação KNX**



**Fonte: Associação KNX (KNX ASSOCIATION, 2015a)**

O sistema KNX é o único padrão mundial e aberto, para automação predial, comercial e residencial, que cumpre os requerimentos das normas ISO/IEC (14543-3), CENELEC

(EN50090) e CEN (13321). O EIB é o núcleo do sistema KNX, sendo possível que os dispositivos certificados como KNX também sejam certificados com o EIB. O objetivo da *KNX association* é definir um padrão mundial verdadeiramente aberto para ser usado em projetos residenciais e prediais inteligentes e que esse sistema tenha compatibilidade entre dispositivos de várias marcas com qualidade e confiabilidade, realizando a certificação dos dispositivos como forma a garantir essa intercompatibilidade (*KNX ASSOCIATION*, 2015a).

Alguns benefícios do protocolo KNX são a intercompatibilidade entre dispositivos de fabricantes diversos, versatilidade para ser aplicada em diferentes tipos de construções (residencial, predial e comercial), diferentes meios de comunicação, como IP/Ethernet, cabo de dados de pares trançados (*KNX Twisted Pair*), rede elétrica e rádiofrequência. O sistema é descentralizado, ou seja, não é necessária uma unidade de controle central, já que a “inteligência” do sistema está espalhada por todos os dispositivos conectados à rede, fazendo com que a opção de um controle central seja útil quando se deseja realizar tarefas específicas mas sendo opcional para o funcionamento de um sistema básico. Essa inteligência distribuída é devida ao fato de que cada dispositivo tem em seu interior um microprocessador. A vantagem do sistema descentralizado é que, na ocorrência da falha de algum dispositivo, os outros dispositivos continuam em operação, ou seja, só a aplicação dependente do dispositivo falho vai ser interrompida podendo, dessa forma, ser realizado algum procedimento para que outros dispositivos possam suprir essa falha.

Dois métodos são utilizados para programar um sistema KNX. O primeiro, chamado de *E-mode*, é o método mais fácil de configuração do sistema e, portanto, não possui todas as funcionalidades. Utiliza botões de programação nos próprios dispositivos para configurar o sistema. O segundo é o mais utilizado e se chama *S-mode*, onde é usado, em um PC, o *software* específico de configuração do sistema KNX chamado de ETS (*Engineering Tool*

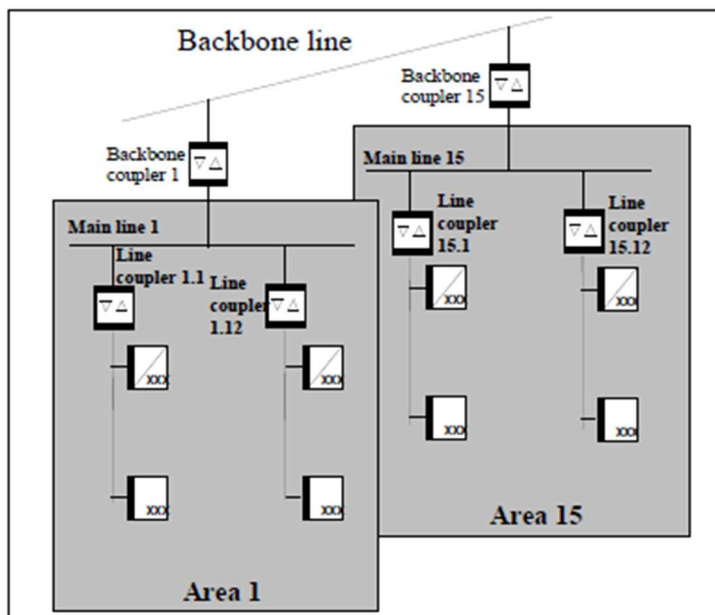
*Software*). Com o *software* ETS, todas as funcionalidades estão disponíveis, sendo possível configurar os dispositivos no sistema.

Existem dois tipos de comunicação, uma é quando existe conexão lógica entre dois nós, ponto-a-ponto, a outra quando não existe essa conexão, necessitando que o endereço de destino e origem esteja incorporado no pacote de dados (Comunicação por Conexão Orientada e Comunicação sem Conexão, respectivamente). No KNX, esses dois métodos de comunicação são utilizados. O primeiro para o download dos parâmetros do PC, utilizando o *software* ETS, nos dispositivos KNX. O segundo é utilizado nas operações corriqueiras do KNX, onde os telegramas são enviados com os endereços nos pacotes, ou de forma *multicast* e *broadcast*.

KNX é um protocolo que usa *group objects* endereçados através de *group addresses* para a comunicação de dados entre dispositivos. Na camada de Aplicação, estes *group objects* podem ser dados como temperatura, qualidade do ar, iluminação, estado dos *switchs*, etc.. O programa de aplicação de um sensor mede a quantidade física (ex. temperatura) e escreve esse valor no *group object* apropriado, ao mesmo tempo, envia esse valor para o barramento para que outros dispositivos tenham acesso ao dado atual através do *group address* referente à esse dado. Dessa forma, os atuadores endereçados recebem esse novo valor, e sua aplicação, com base no valor, realiza a função, seja reduzir a intensidade da luz, operar uma válvula ou relé. Dessa forma, as aplicações dos dispositivos KNX se comunicam através de *group objects*, não sendo necessária estabelecer uma comunicação com conexão. Durante a fase de comissionamento dos dispositivos do barramento, uma comunicação por conexão orientada à conexão é realizada entre os dispositivos para o download dos programas e parâmetros. A aplicação vai ajudar na compreensão das mensagens de configurações. Uma rede KNX possui segmentos individuais (que constituem os *links*), enquanto os *backbones couplers* e os *line*

*couplers* são os nós da rede. Laço entre duas linhas não são permitidos. A estrutura da rede é conforme a Figura 4.

**Figura 4: Estrutura de uma rede *Twisted Pair***



**Fonte: Associação KNX (KNX ASSOCIATION, 2015b)**

A rede *KNX Twisted Pair* comporta um ou vários segmentos elétricos, sendo cada segmento alimentado por uma fonte de energia. O cabo *Twisted Pair* fornece energia aos dispositivos e transmite dados. O sistema trabalha com uma tensão de 24V, com uma tolerância de 9V, ou seja, os dispositivos trabalham sem erros enquanto é fornecida uma alimentação entre 21V e 30V. O número máximo de dispositivos de um segmento é 64.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Até o momento, foram apresentados os conceitos necessários para o entendimento básico de tecnologias assistivas e suas aplicações, casas inteligentes e protocolos KNX e EnOcean de automação, bem como uma visão geral dos métodos de detecção de queda. Neste capítulo apresenta-se a metodologia empregada, que tipo de *hardware* foi utilizado e qual sistema foi desenvolvido.

Uma breve descrição dos itens a serem discutidos é apresentada a seguir:

- 1- Descrição do projeto de casa inteligente realizado no período de mestrado sanduíche na Alemanha, utilizando sensores e atuadores KNX;
- 2- Projeto de um dispositivo vestível EnOcean dotado de sensores inerciais;
- 3- Integração dos sistemas acima através da plataforma *Home Assistant*.

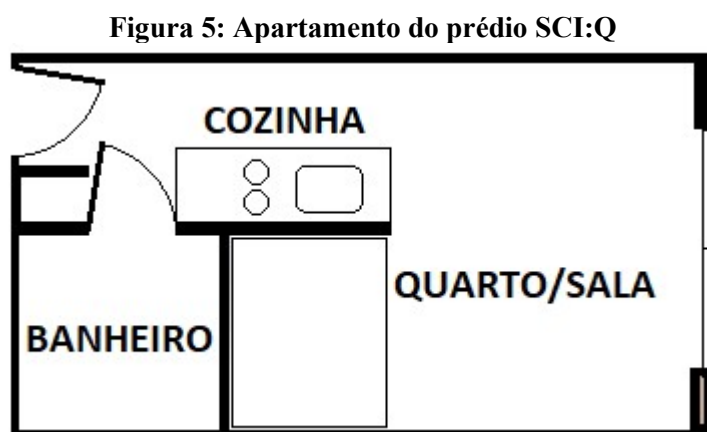
As ferramentas de programação utilizadas para a implementação do sistema são:

- *Software* ETS, quinta versão, para programar os sensores e atuadores KNX;
- *Software AyControl Editor* para programar a unidade central do sistema KNX;
- $\mu$ Vision e DolphinAPI para programar o *firmware* do dispositivo vestível EnOcean;
- *Home Assistant*, para realizar a integração do dispositivo vestível com o sistema KNX.

### 3.1 CASA INTELIGENTE COM PROTOCOLO KNX

O projeto da casa inteligente foi realizado durante o período de mestrado sanduíche realizado na Alemanha, em cooperação com o instituto Fraunhofer FIT, localizado na cidade de Hamm. Portanto, informações mais detalhadas não constarão na dissertação devido ao acordo de sigilo imposto pelo instituto Fraunhofer FIT quanto ao projeto.

Desenvolveu-se o projeto de expansão do sistema KNX instalado em um dos apartamentos do prédio SCI:Q com o objetivo de proporcionar conforto, segurança e saúde considerando o seu uso por pessoas idosas. SCI:Q é um prédio localizado em Hamm com apartamentos estudantis. Cada apartamento é dotado de um sistema KNX capaz de medir consumo de água e eletricidade. O apartamento é projetado para ser usado por uma pessoa e é composto por um quarto/sala, uma cozinha e um banheiro, conforme mostra a Figura 5.



Fonte: O Autor (2017).

O projeto realizado considerou a infraestrutura do apartamento para definir as funções da expansão do sistema KNX. Dessa forma, o caminho tomado foi de programar as funções de controle de iluminação, controle da temperatura, controle das persianas, monitoramento da temperatura interna e externa, monitoramento da presença em cada cômodo da casa, monitoramento do clima externo, monitoramento da qualidade do ar interno e controle

centralizado através de um *tablet* das funções de automação. Para isso, alguns componentes KNX foram incorporados ao sistema. Os componentes KNX utilizados foram:

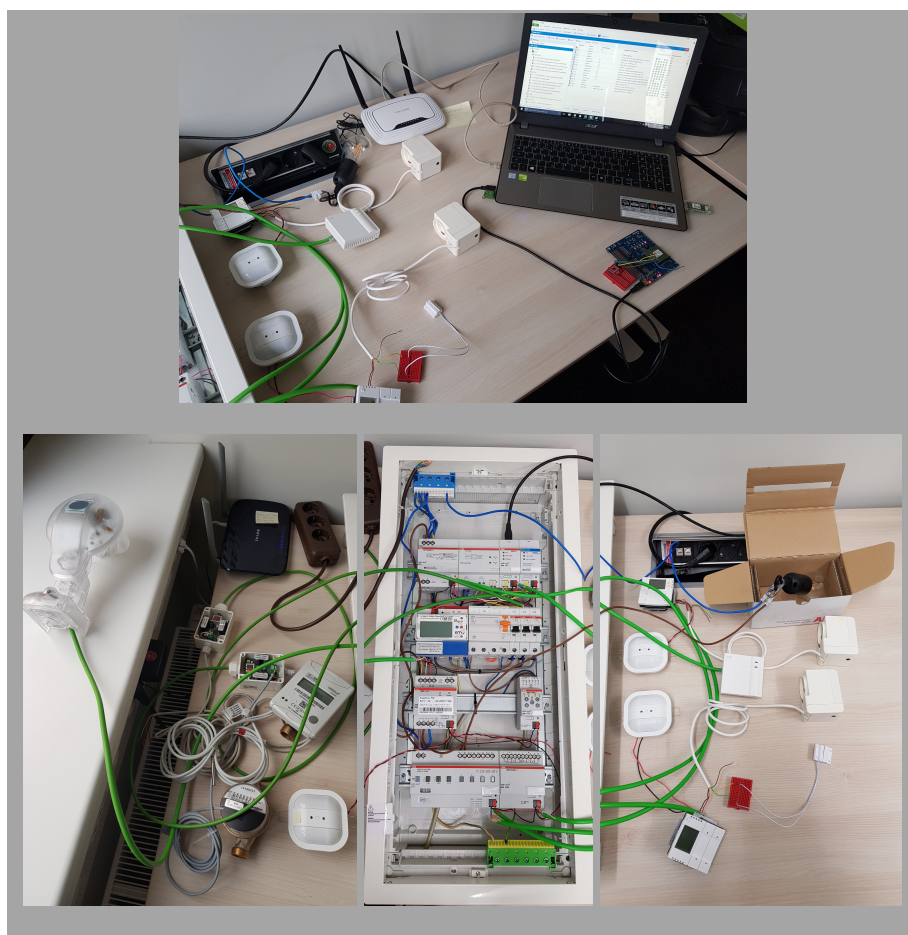
- Estação meteorológica para processar dados do sensor meteorológico;
- Atuador para controlar persianas com motores;
- Dimerizador/relé multicanal para controlar diversos tipos de lâmpadas;
- Sensor meteorológico;
- Sensor de qualidade do ar. Detecta concentração de CO<sub>2</sub> e umidade;
- Válvula elétrica para controlar radiadores;
- Controlador de temperatura com interruptores;
- Entradas binárias para conexão de interruptores comuns;
- Detector de presença;
- Roteador para interface com o sistema KNX e programação (*KNX IP Router*);
- Fonte de alimentação;
- Medidor trifásico multifuncional;
- Medidor do consumo de água;
- Medidor do consumo da água quente.



A conexão do sistema KNX com o *software* ETS foi estabelecida conectando um roteador padrão ao dispositivo KNX *IP Router*, possibilitando a conexão ao sistema através de um cabo Ethernet ou *wireless* via IP. O restante dos dispositivos KNX é conectado ao KNX IP router através de cabos *Twisted Pair* formando uma única linha de dispositivos.

A programação do sistema foi feita utilizando um notebook com o *software* ETS instalado, ou seja, através do modo de programação *S-mode*, conectado ao roteador através de um cabo ethernet. Todo o sistema foi prototipado em laboratório, juntamente com todas as configurações necessárias de cada dispositivo, como se pode ver na Figura 6.

**Figura 6: Protótipo do sistema KNX em laboratório**



**Fonte: O Autor (2017)**

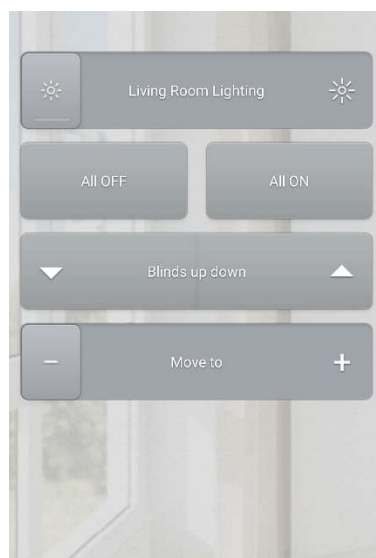
Para cada *group address*, várias informações foram configuradas de acordo com a localização no apartamento. Como exemplo, o acesso ao dado através da lógica *group addresses* referentes à intensidade de luz no banheiro está configurada da seguinte forma: Iluminação/Banheiro/Intensidade de luz, sendo cada parâmetro identificado por um número (ex.: 0/1/2). Para todos os dados como intensidade de luz, liga/desliga, temperatura na sala, velocidade do vento etc., existe um endereço, onde os dispositivos são configurados para agir de acordo com os valores dos dados de endereços relevantes ao dispositivo. Dessa forma, é possível configurar a automação residencial.

O controle da iluminação é realizado através do dispositivo dimerizador. É possível controlar a iluminação (ligar/desligar e dimerizar) em quatro pontos: dois dentro do banheiro (espelho e teto), um na sala de estar e outro na cozinha. Através do atuador de controle de persianas, as persianas localizadas na sala de estar podem ser movimentadas para uma posição desejada, totalmente aberta ou fechada. Existem dois controladores de temperatura, um está localizado no banheiro e o outro na sala de estar. É possível monitorar as temperaturas internas assim como controlar a temperatura através dos aquecedores localizados dentro do banheiro ou sala de estar. Através de três monitores de presença (banheiro, cozinha e sala de estar), se monitora a locomoção do residente e a posição no apartamento. O sensor de qualidade de ar está localizado na sala de estar e monitora o nível de gás carbônico e umidade: o sistema envia um alerta dependendo do valor e se as janelas estão fechadas. A estação meteorológica, junto com o sensor meteorológico disposto do lado de fora do apartamento fornece dados sobre nível de luminosidade, ocorrência de chuva e intensidade de vento e, dependendo dos valores destas variáveis, as persianas se abrem/fecham.

Um *tablet* Android é utilizado como uma unidade de controle centralizado e funciona se conectando ao sistema KNX de forma sem fio. A configuração do aplicativo foi feita através do *software AyControl Editor*. Esse *software* é amplamente utilizado pela indústria de

automação residencial para fornecer controle remoto de um sistema que utiliza KNX, de forma a fornecer informação e controle do sistema de modo centralizado. Para configurar o aplicativo, são configuradas as relações entre botões e quais as informações a serem mostradas. O sistema foi desenvolvido para o usuário poder agir sobre o sistema KNX, controlando iluminação, persianas, temperatura, cenas e visualizar informações referentes ao consumo de energia, qualidade do ar, temperatura interna e meteorologia. A Figura 7 é um exemplo de interface referente aos controles para a sala, onde é possível controlar o nível de iluminação do ambiente e o nível das persianas.

**Figura 7: Interface para os controles da sala através do aplicativo.**



**Fonte: O Autor (2017)**

### **3.2 DISPOSITIVO ENOCEAN VESTÍVEL**

Foi utilizado o sistema de desenvolvimento EOP350 para programar o dispositivo EnOcean STM300. Através desse sistema, é possível programar diversos dispositivos EnOcean, uma vez que possui soquetes para a conexão dos mais variados tipos de placas EnOcean, além de deixar acessível as entradas e saídas dos microcontroladores. A conexão

com o computador para a programação é realizada através da porta USB, onde é utilizado o protocolo serial EnOcean. A Figura 8 mostra a placa utilizada.

**Figura 8: Placa de programação EnOcean EOP350**



**Fonte: O Autor (2017)**

O STM300 é um módulo EnOcean transmissor RF que permite o desenvolvimento de sensores e atuadores *wireless* de ultra-baixo consumo energético. Possui um processador integrado 8051 de 16 MHz, 2kB de SRAM e até 16 portas I/O configuráveis, além de ADC de 10 bits e DAC de 8 bits. A Figura 9 apresenta o módulo utilizado. Trata-se da versão europeia, cujo transmissor RF trabalha na frequência 868,300MHz com modulação ASK, de acordo com a ISO/IEC 14543-3-10 e tem ID 01A28D24.

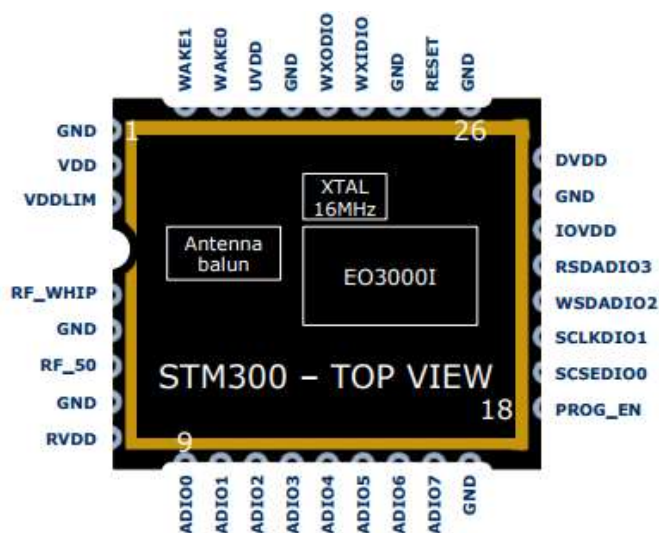
**Figura 9: Módulo STM300**



Fonte: O Autor (2017)

A programação de *firmware* é feita através do uso da biblioteca Dolphin API. O *firmware* foi feito utilizando a linguagem C através do *software*  $\mu$ Vision da Keil. A Figura 10 mostra os pinos disponíveis do módulo.

**Figura 10: Pinagem do módulo STM300**

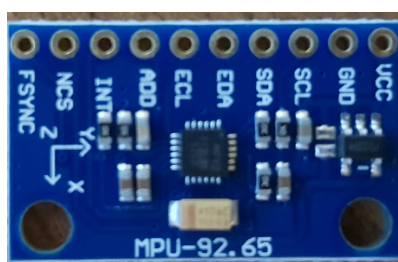


Fonte: STM300 User Manual (EnOcean, 2017)

O sensor inercial utilizado foi o MPU-9250 da empresa InvenSense (Figura 11). É um sensor amplamente utilizado na indústria, com sensoriamento em 9-eixos, ou seja, possui um acelerômetro, um giroscópio e um magnetômetro de 3-eixos cada, indicado para aplicações em *smartphones*, *tablets* e sensores *wearable*. Combina dois chips (SiP): o chip MPU-6500, contendo o acelerômetro, o giroscópio e uma unidade de processamentos complexos (DMP); e o chip AK8963, contendo o magnetômetro digital. É possível escolher as escalas do

acelerômetro entre  $-2g$ ,  $+4g$ ,  $+8g$  ou  $+16g$ , e do giroscópio entre os valores de  $-250^\circ/s$ ,  $+500^\circ/s$ ,  $+1000^\circ/s$  ou  $+2000^\circ/s$ . No projeto, o chip foi configurado para habilitar somente o MPU-6500 sem a unidade de processamento DMP, ou seja, somente o acelerômetro e o giroscópio, com escalas de  $+8g$  e  $+250^\circ/s$ . A resolução dos sinais do acelerômetro e do giroscópio são de 2 bytes.

**Figura 11: chip MPU-9250 da empresa InvenSense**



**Fonte: O Autor (2017)**

A comunicação do sensor inercial com o módulo STM300 é feita através de I<sup>2</sup>C. Os pinos disponíveis para a configuração do SDA e SCL do I<sup>2</sup>C são os pinos SCLKDIO1/0, RSDADIO3 e WSDADIO2 (APPLICATION Note AN508, 2011). O pino SCL é controlado pelo módulo STM300 (mestre), podendo operar em *fast mode*, a 130kbps. O pino SDA alterna de direção de acordo com o sentido da comunicação (STM300>MPU6500, MPU6500>STM300). A Figura 12 mostra a conexão do sensor com o módulo STM300 através da placa EOP350, ou seja, a prototipação do dispositivo vestível.

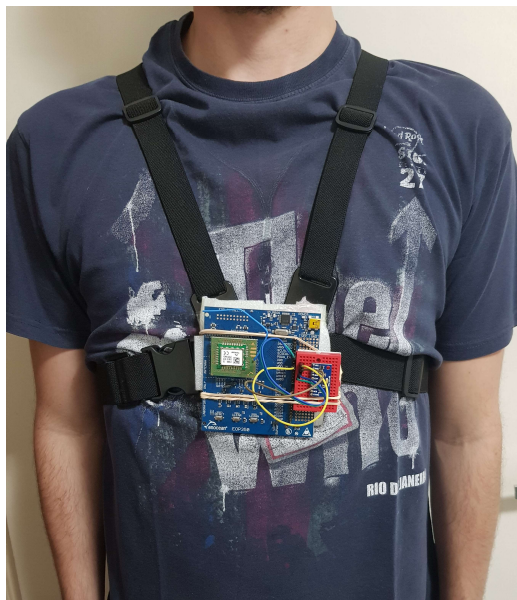
**Figura 12: Prototipação do dispositivo vestível**



**Fonte: O Autor (2017)**

Para funcionar como um dispositivo vestível detector de quedas, o dispositivo fica acoplado ao peito de forma com que o plano horizontal seja o plano  $XZ$ . A Figura 13 apresenta o protótipo acoplado ao peito do usuário.

**Figura 13: Disposição do dispositivo vestível**

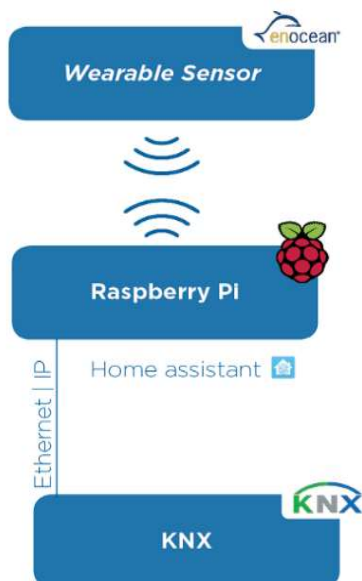


**Fonte: O Autor (2017)**

### **3.3 INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS UTILIZANDO A PLATAFORMA *HOME ASSISTANT***

A integração entre o dispositivo vestível e o sistema KNX é feita através *do Home Assistant* (Figura 14). *Home Assistant* é uma plataforma de automação residencial *open-source* desenvolvida em Python, com suporte à diversas tecnologias, incluindo KNX e EnOcean. A automação residencial se dá através da interpretação das informações dos dispositivos de tecnologias suportadas, onde é possível configurar comandos baseados nessas informações. Ou seja, é uma plataforma onde diversas tecnologias de sensores e atuadores podem interagir entre si, sendo responsável pelo controle residencial.

**Figura 14: Esquema demonstrativo da integração dos sistemas**



**Fonte: O Autor (2017)**

A plataforma *Home Assistant* foi instalada numa placa Raspberry PI3. Raspberry é um minicomputador compatível com sistemas operacionais baseados em GNU/Linux. A 3ª versão é dotada de um processador de quatro núcleos Cortex-A53 64 bits de 1,2GHz, 1GB de memória RAM, conexões *wireless* 802.11n e Bluetooth. A Figura 15 mostra o *hardware* utilizado.

**Figura 15: Raspberry PI3**



**Fonte: O Autor (2017)**



Para configurar o *Home Assistant*, primeiro é necessário estabelecer a conexão com o sistema KNX e com o sensor EnOcean. A conexão com o sistema KNX é através de IP (*host* e *port*) do sistema. Essas informações são determinadas a partir do *software* ETS:

Host: 192.168.0.222

Port: 3671

A conexão com o sensor EnOcean é através do dispositivo USB300 EnOcean, que conecta-se à uma porta USB com a finalidade de interpretar telegramas EnOcean. Utilizando o dispositivo EnOcean USB300 conectado à Raspberry Pi3, a plataforma *Home Assistant* pode interpretar os telegramas EnOcean gerados pelo dispositivo *wearable*.

Um arquivo de configuração do tipo *.yaml* foi criado, contendo todas informações de conexão e as regras de automação dos sensores e atuadores. Para o projeto, foi definido que o sensor EnOcean de ID 01A28D24, ao mandar o telegrama de alerta de queda, interage com um *group address* KNX, no caso 0/1/0. Esse endereço refere-se à um dos relés do atuador do sistema KNX. Esse atuador é dotado de relés para dimerizar lâmpadas ou acionar cargas. Portanto, o atuador do sistema KNX funciona como um dispositivo sinalizador que aciona conforme a detecção da queda. A Figura 16 apresenta o código de configuração dessa conexão entre os sistemas.

**Figura 16: Código de configuração .yaml do *Home Assistant***

```
knx:
  host: '192.168.0.222'
  port: 3671

switch:
  - platform: knx
    name: Switch Actuator
    address: '0/1/0'

enocean:
  device: /COM3

binary_sensor:
  - platform: enocean
    id: [0x01,0xA2,0x8D,0x24]
    name: Binary Sensor Enocean 2

group: !include groups.yaml
automation: #!include automations.yaml

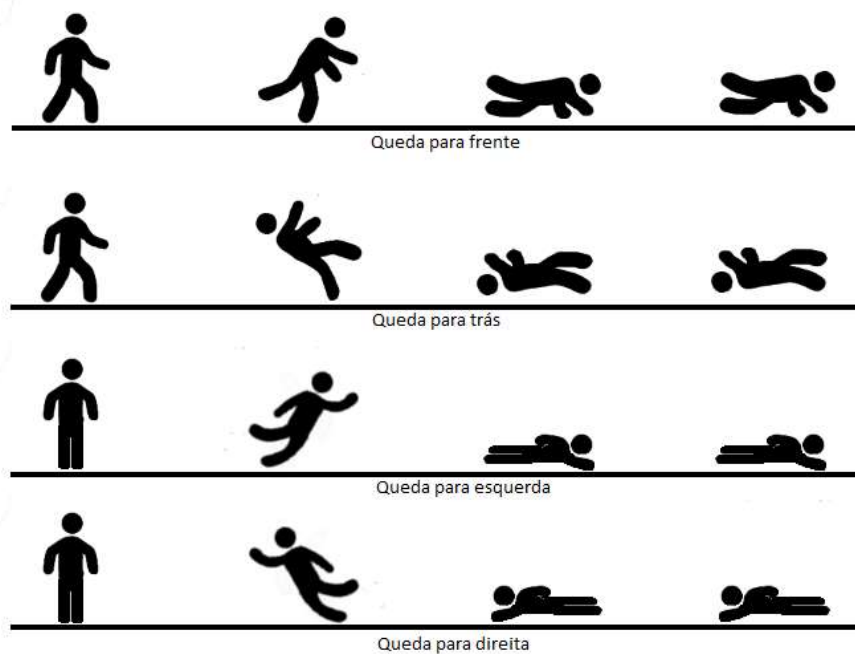
  - alias: KNX light Switch 2
    trigger:
      platform: event
      event_type: button_pressed
      event_data:
        id: [0x01,0xA2,0x8D,0x24]
        pushed: 1
    action:
      service_template: "{% if trigger.event.data.onoff %} switch.turn_on {% else %} switch.turn_off {%endif %}"
      data_template:
        entity_id: "{% if trigger.event.data.which == 0 %} switch.switch_actuator {% else %} switch.switch_actuator {%endif %}"
```

**Fonte: O Autor (2017)**

#### 4 EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Para realizar os experimentos, quatro movimentos de não quedas e quatro movimentos de quedas foram analisados: parado, caminhando, sentado em uma cadeira, correndo, quedas para trás/frente e quedas para esquerda/direita. Os movimentos de queda são mostrados na Figura 17.

**Figura 17: Movimentos de queda**



**Fonte: O Autor (2017)**

Cada movimento foi registrado com base em quatro tipos de sinais: aceleração, velocidade angular, inclinação nos eixos  $X$  e  $Z$ . A inclinação no plano  $X$  e  $Z$  deve ser considerada de  $-90^\circ$  a  $90^\circ$ , sendo a posição  $0^\circ$  quando o corpo está na vertical, podendo se inclinar de  $-90^\circ$  a  $90^\circ$  em ambos os eixos  $X$  e  $Z$ . Os gráficos referentes aos sinais do acelerômetro e do giroscópio descrevem os valores de aceleração (em  $g$ ) e de velocidade angular (em  $^\circ/s$ ), respectivamente, em cada eixo, assim como os valores RMS, dados pelas equações 15 e 16:

$$A_{\text{RMS}} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (15)$$

$$\omega_{\text{RMS}} = \sqrt{g_x^2 + g_y^2 + g_z^2} \quad (16)$$

Três métodos de obtenção dos valores em ângulo das inclinações no plano  $XZ$  foram utilizados. O primeiro método trata-se de uma forma de estimação mais simplificada, onde se considera o *raw data* do sensor dividido por um valor  $X$  determinado pela resolução configurada. Esse valor  $X$  considera a escala de configuração dos dados do sensor, e a resolução configurada. Como o acelerômetro está configurado com resolução de 8g, a forma de determinar o ângulo é dada por:

$$X = \frac{2^{\text{resolução}-1}}{\text{escala}} / 90 = \frac{32768}{8} / 90 = \frac{4096}{90} = 45,5 \quad (17)$$

$$\hat{\text{Ângulo}}_{x,z} = \frac{\text{raw data}_{x,z}}{X}$$

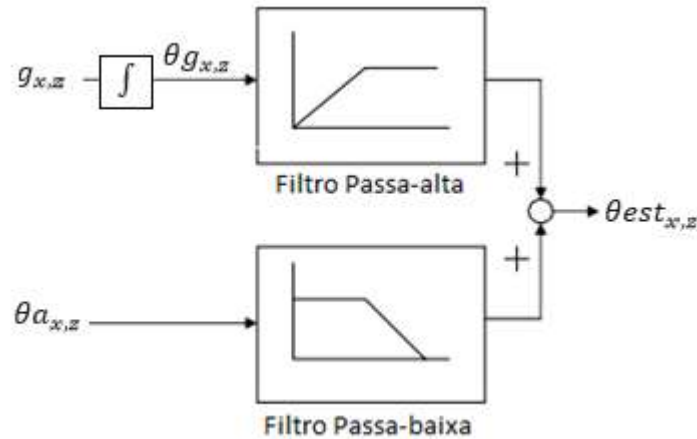
O segundo método trata-se da estimação que utiliza o arco tangente, que para ser implementado necessita utilizar a função *atan2* para não ocorrer indeterminações, considerando os quatro quadrantes.

$$\hat{\text{Ângulo}}_x = (\arctan\left(\frac{a_z}{\sqrt{a_x \cdot a_x + a_y \cdot a_y}}\right) \times 180) / \text{PI} \quad (18)$$

$$\hat{\text{Ângulo}}_z = (\arctan\left(\frac{a_x}{\sqrt{a_y \cdot a_y + a_z \cdot a_z}}\right) \times 180) / \text{PI} \quad (19)$$

O terceiro método trata da obtenção do ângulo derivado da fusão dos dados dos sensores acelerômetro e giroscópio através do filtro complementar, como mostra a Figura 18.

**Figura 18: Filtro complementar**



**Fonte: O Autor (2017).**

Foi utilizado o segundo método de determinação de ângulo através do acelerômetro como a entrada  $\theta a_{x,z}$ . Para determinar  $\theta g_{x,z}$  foi preciso realizar a integral das medições do giroscópio no eixo  $X$  e  $Z$  do sensor. A integração das medições do giroscópio acarreta no surgimento do *drift*, sendo necessário configurar o filtro de alta-frequência do filtro complementar de forma a eliminar o *drift*. Um valor  $\Delta t = 0,035s$  foi estabelecido considerando o tempo amostragem dos sinais do sensor. Para determinar o valor de  $\gamma$  da equação 20, foram realizados testes em relação ao desempenho do filtro. O valor que apresentou melhor desempenho foi  $\gamma = 0,8$ , onde a influência do *drift* fica imperceptível no sinal. Com esse valor, é possível determinar o parâmetro  $\alpha$  dos filtros usando a relação abaixo:

$$\gamma = \frac{\alpha}{\Delta t + \alpha} \Leftrightarrow \alpha = \frac{\gamma \cdot \Delta t}{1 - \gamma} = \frac{0,8 \cdot 0,035}{1 - 0,8} = 0,14 \quad (20)$$

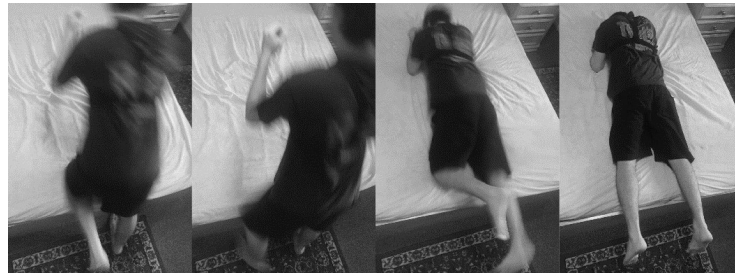
Logo, a equação 21 foi utilizada recursivamente no projeto para adquirir o valor da inclinação do ângulo no plano  $X$  e no  $Z$ .

$$\hat{\theta}_k = 0,2\theta_{a,k} + 0,8(\hat{\theta}_{k-1} + 0,035w_k) \quad (21)$$

O uso do filtro complementar foi considerado uma vez que é um processo adequado para ser usado em dispositivos com capacidade computacional limitada, como é o caso do microcontrolador 8051 utilizado no módulo STM300 EnOcean.

A fim de determinar o algoritmo detector de queda, foram realizados ensaios dos movimentos de quedas utilizando um colchão, e dos movimentos de não queda. O usuário que realizou o ensaio é do sexo masculino, 27 anos, com 1,75m de altura e 70 kg. A Figura 19 mostra a realização dos ensaios de queda.

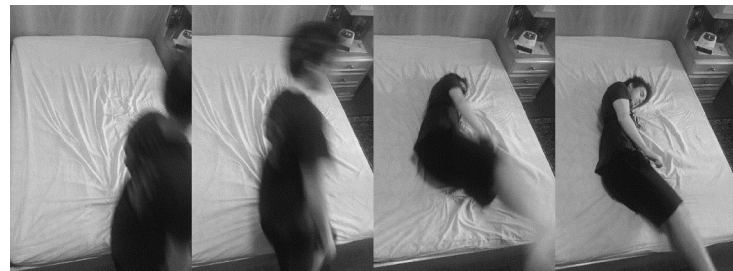
**Figura 19: Ensaios dos movimentos (a) queda para frente, (b) queda para trás, (c) queda para esquerda e (d) queda para direita.**



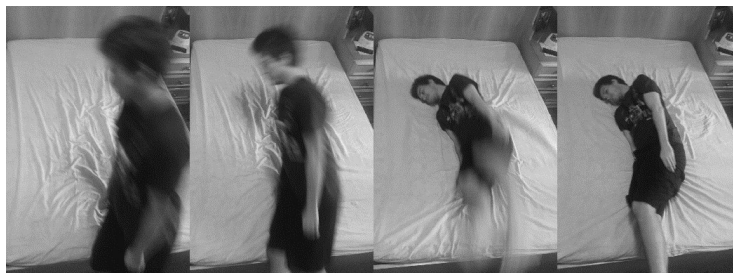
(a)



(b)



(c)

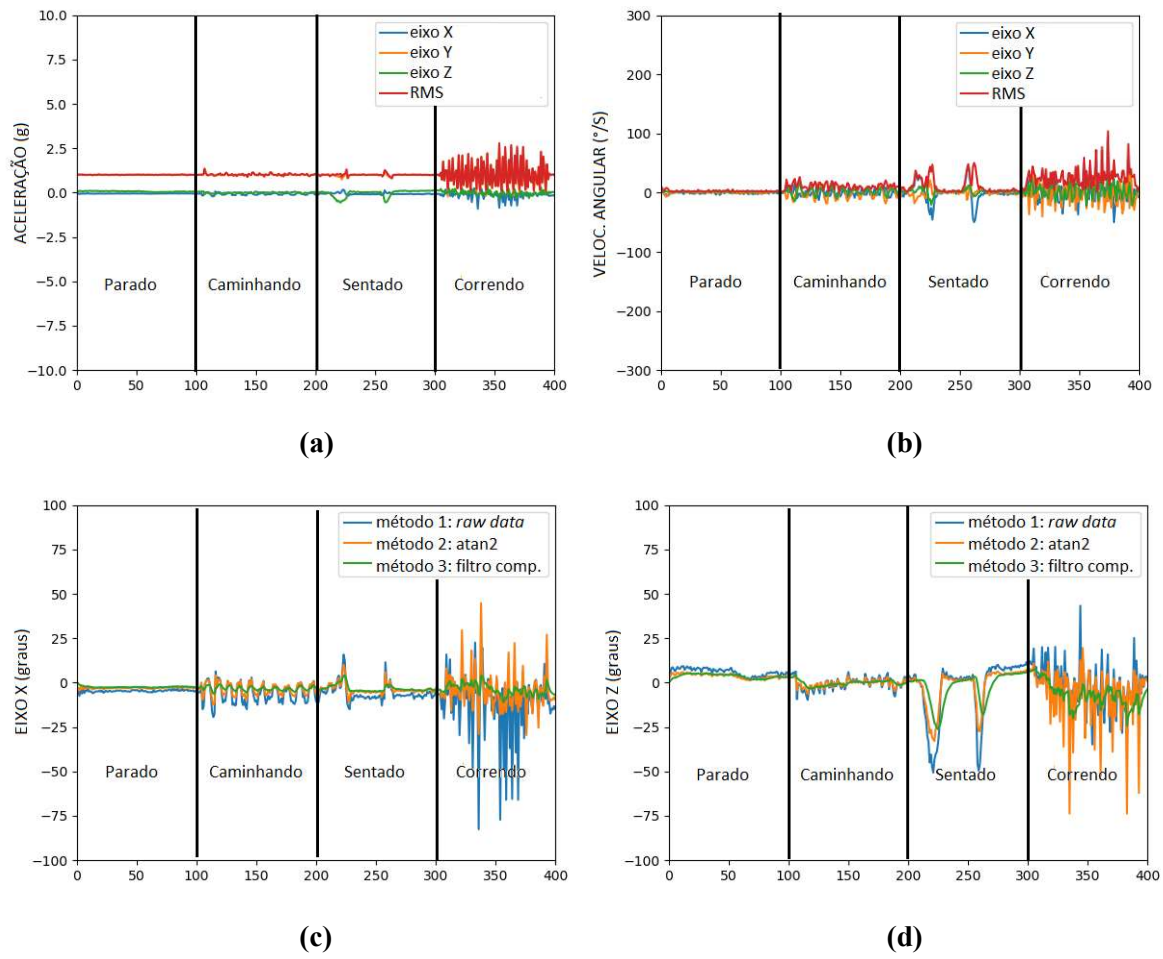


(d)

Fonte: O Autor (2017).

A partir dos ensaios, foi possível realizar a análise gráfica dos movimentos, para determinar os limites a serem considerados no algoritmo. A Figura 20 apresenta os gráficos obtidos dos movimentos: parado, caminhando, sentando em uma cadeira e correndo. O movimento de sentar foi realizado duas vezes. A Figura 21 retrata os dados referentes à queda para frente. A Figura 22 retrata os dados referentes à queda para trás. A Figura 23 retrata os dados referentes à queda para esquerda. A Figura 24 retrata os dados referentes à queda para direita. Os gráficos que representam as inclinações no plano  $XZ$  são formados por 3 sinais, onde cada linha representa diferentes métodos de obtenção do ângulo de inclinação. A linha azul representa a forma de estimação mais simplificada, onde se considera o *raw data* do sensor dividido pela resolução configurada. A linha amarela representa a fórmula de estimação que utiliza o arco tangente. Ambos os métodos apresentam ruído devido a estimação ser somente baseada em sinais do acelerômetro. A linha verde representa o ângulo derivado da fusão dos dados dos sensores acelerômetro e giroscópio através do filtro complementar.

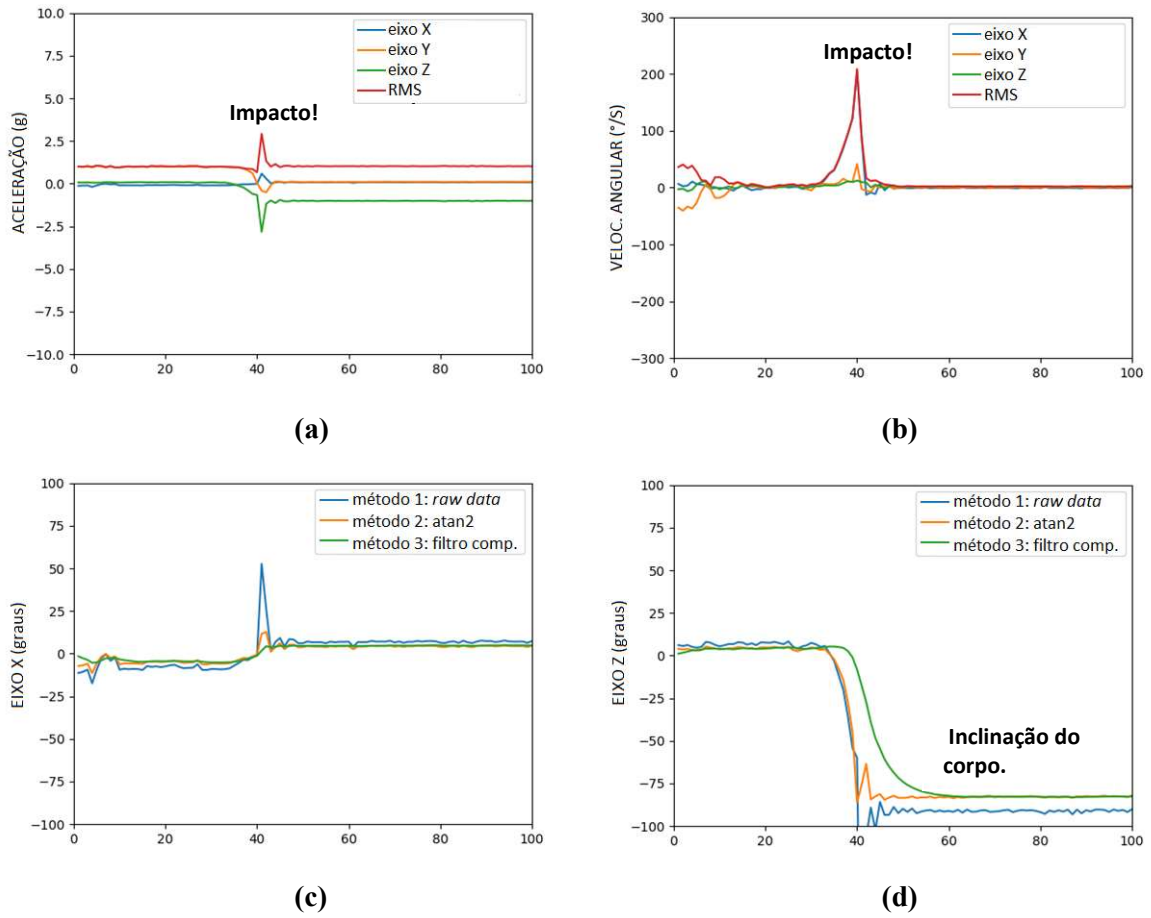
**Figura 20: Movimentos de não queda, dados referentes à (a) Aceleração, (b) Velocidade Angular, (c) Inclinação no eixo X e (d) inclinação no eixo Z.**



**Fonte: O Autor (2017).**

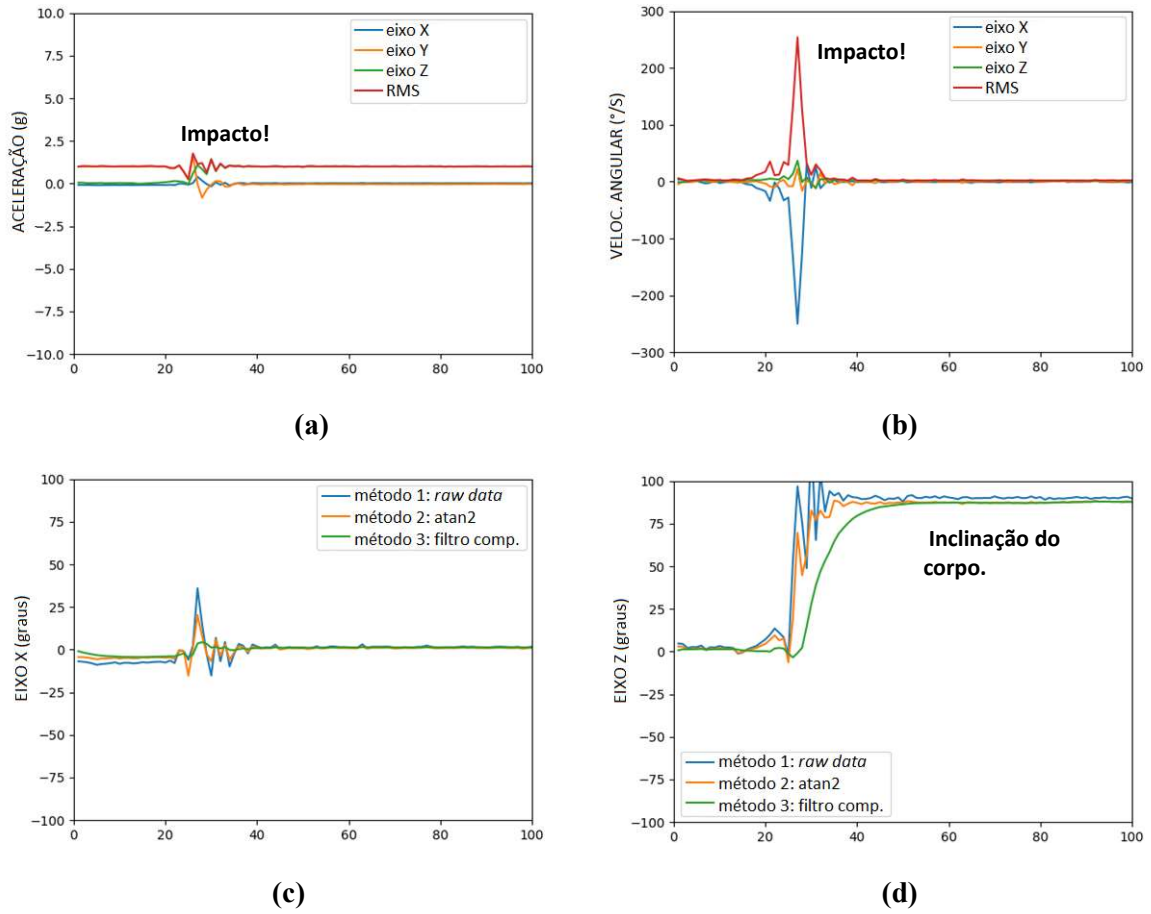


**Figura 21: Movimentos de queda para frente, dados referentes à (a) Aceleração, (b) Velocidade Angular, (c) Inclinação no eixo X e (d) inclinação no eixo Z.**



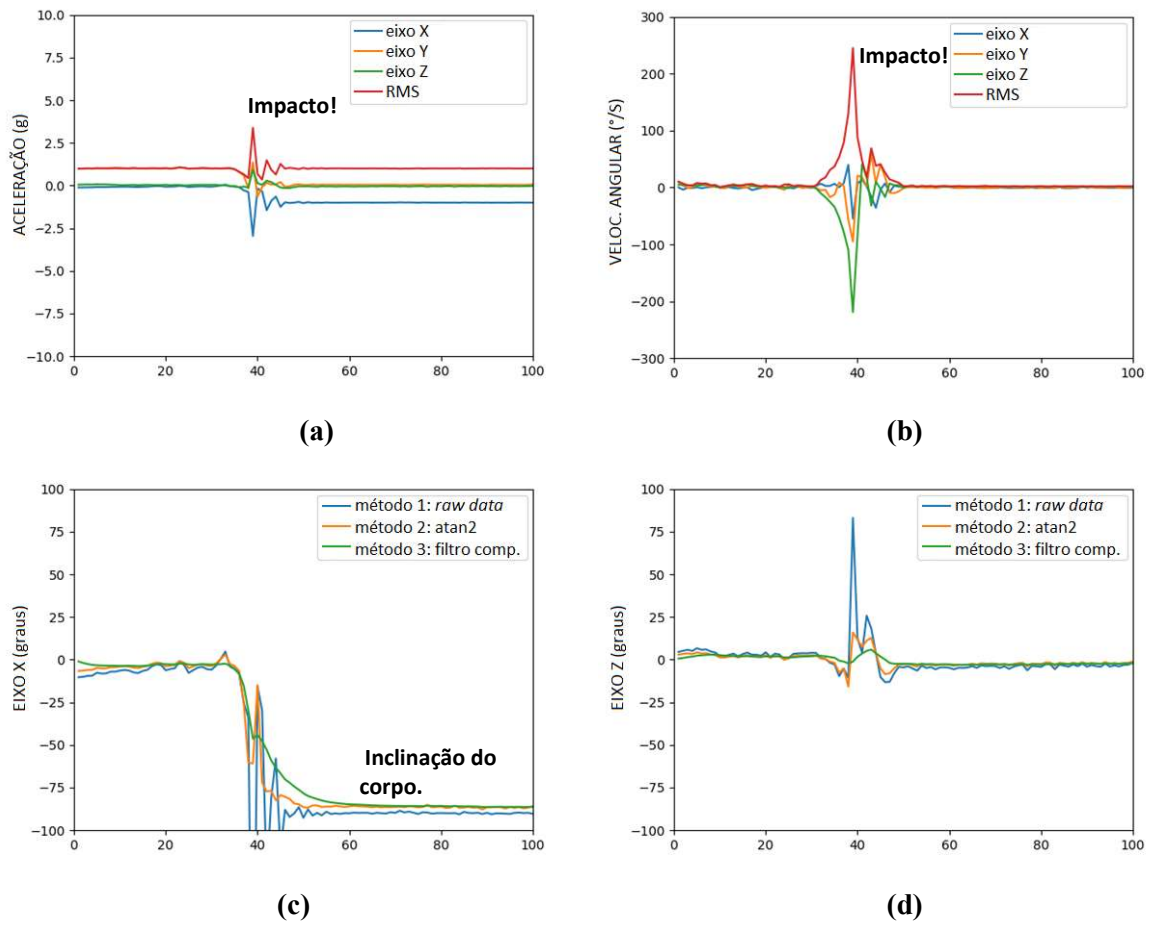
Fonte: O Autor (2017).

**Figura 22: Movimentos de queda para trás, dados referentes à (a) Aceleração, (b) Velocidade Angular, (c) Inclinação no eixo X e (d) inclinação no eixo Z.**



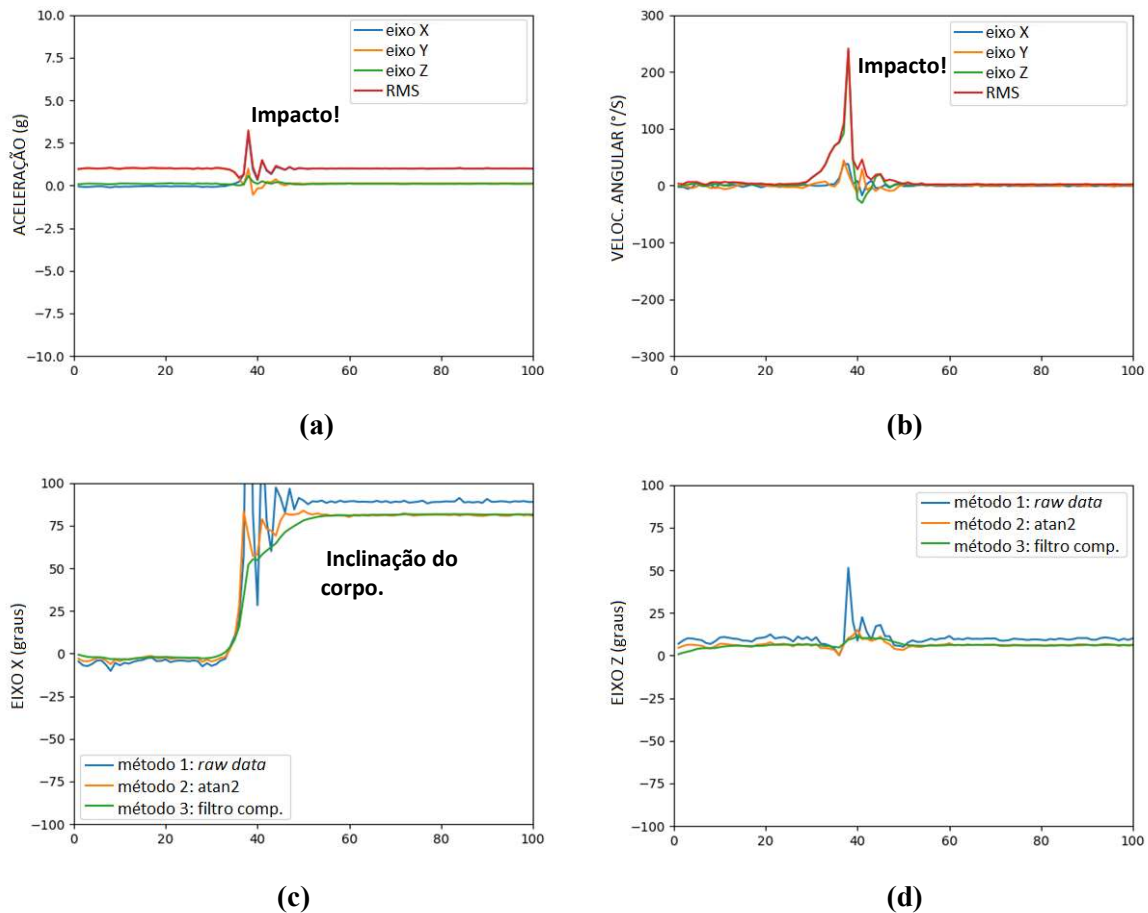
Fonte: O Autor (2017).

**Figura 23: Movimentos de queda para esquerda, dados referentes à (a) Aceleração, (b) Velocidade Angular, (c) Inclinação no eixo X e (d) inclinação no eixo Z.**



Fonte: O Autor (2017).

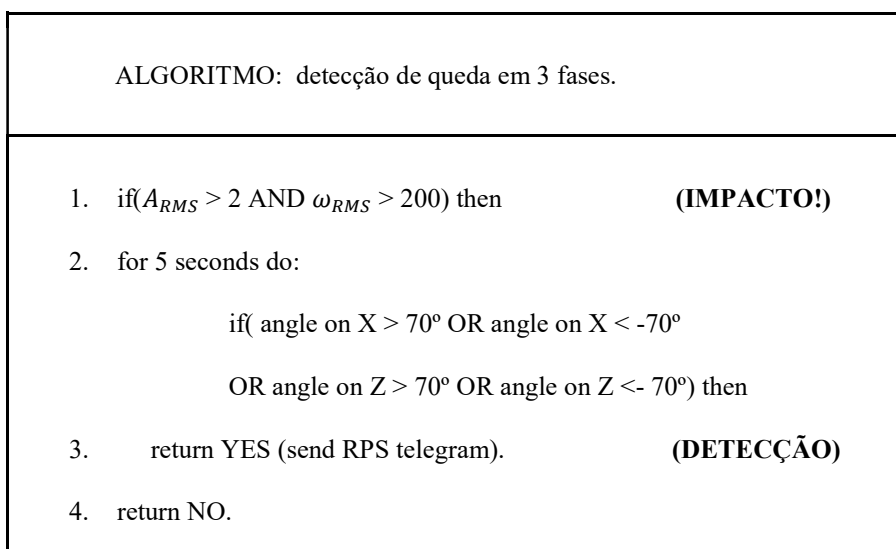
**Figura 24: Movimentos de queda para direita, dados referentes à (a) Aceleração, (b) Velocidade Angular, (c) Inclinação no eixo X e (d) inclinação no eixo Z.**



**Fonte: O Autor (2017).**

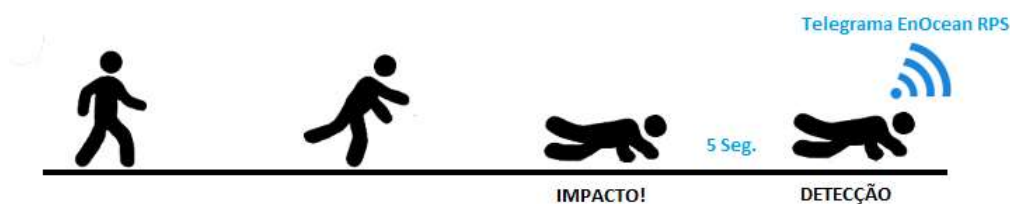
A partir dos dados obtidos, foram estabelecidos os limites a serem analisados pelo algoritmo de detecção de queda. Para identificar uma queda, os valores RMS de aceleração linear e velocidade angular, e inclinação em graus nos eixos  $X$  e  $Z$  foram considerados. Conforme observado na Figura 20, a aceleração linear só ultrapassa o valor de  $2g$  no movimento corrida, mas o valor RMS da velocidade angular nunca ultrapassa o valor de  $200^\circ/s$ , e a inclinação angular em ambos os eixos se mantiveram sempre em níveis que não ultrapassam  $40^\circ$ . Por outro lado, a análise dos gráficos referentes às quedas revela que a aceleração linear e a velocidade angular são os primeiros limites excedidos, ultrapassando os valores de  $2g$  e  $200^\circ/s$ , respectivamente. Portanto, o algoritmo considera esses valores como os dois primeiros limites. Depois de atingirem esse valor, a inclinação angular adquire valores

significativos, e a análise dessa inclinação é feita durante 5 segundos. Para a queda frontal e para trás, os limites estipulados são  $-70^\circ$  e  $70^\circ$ , respectivamente, e para as quedas laterais, esquerda e direita, os limites são  $-70^\circ$  e  $70^\circ$  respectivamente. Dessa forma, é possível usar esses valores de limites para determinar quando o idoso está deitado no chão. O intervalo de 5 segundos é o bastante para analisar a posição do usuário assim que os primeiros limites são excedidos. Baseado nos valores de limites estabelecidos, o algoritmo foi desenvolvido.



A Figura 25 mostra graficamente o processo de detecção de queda do dispositivo.

**Figura 25: Processo de detecção de queda**



**Fonte: O Autor (2017)**

Para analisar o desempenho do algoritmo de detecção de quedas, foram repetidos 100 vezes cada um dos movimentos pré-determinados. Dois usuários de características corporais diferentes testaram o dispositivo. O primeiro teste foi realizado pelo usuário que realizou os ensaios, ou seja, usuário do sexo masculino, 27 anos, 1,75m de altura e peso de 70 kg. O segundo teste foi realizado por usuário do sexo feminino, 62 anos, 1,60m de altura e peso de

70 kg. Quando os movimentos, que não se caracterizam como quedas, foram realizados, em ambos os casos, nenhum falso positivo foi detectado, demonstrando desempenho superior aos trabalhos de análise por limite como (WU et al., 2014, IRENE et al., 2015 e ABDELHEDI et al., 2016). Porém, alguns falsos negativos aconteceram. No primeiro teste, o algoritmo atingiu valores de sensibilidade e especificidade de 96% e 100%, respectivamente. Mais detalhes do desempenho do algoritmo no primeiro teste podem ser vistos na Tabela 2. No segundo teste, o algoritmo atingiu desempenho inferior. Isso se deve ao fato de o dispositivo sofrer queda de desempenho quando o usuário teste possui características corporais diferentes do que realizou os ensaios de determinação dos valores do algoritmo, influenciando na detecção dos valores limites. Os valores adquiridos de sensibilidade e especificidade, no segundo teste, foram de 86% e 100%, respectivamente, baseados nos dados referentes à Tabela 3.

**Tabela 2: Desempenho do algoritmo desenvolvido no primeiro teste**

<b>Tipo de Movimento</b>	<b>Alarmes</b>
<b>Andar</b>	0/100
<b>Pular</b>	0/100
<b>Sentar</b>	0/100
<b>Correr</b>	0/100
<b>Queda para frente</b>	98/100
<b>Queda para trás</b>	97/100
<b>Queda para direita</b>	94/100
<b>Queda para esquerda</b>	95/100

**Fonte: O Autor (2017)**

Tabela 3: Desempenho do algoritmo desenvolvido no segundo teste


Tipo de Movimento	Alarmes
Andar	0/100
Pular	0/100
Sentar	0/100
Correr	0/100
Queda para frente	84/100
Queda para trás	87/100
Queda para direita	87/100
Queda para esquerda	85/100

Fonte: O Autor (2017)

O desempenho obtido, portanto, tem relação com as características corporais do usuário. Contudo, é possível destacar que, devido ao fato de ter realizado as análises de limite utilizando dados provenientes dos sensores inerciais através da fusão de dados, o dispositivo possui precisão na detecção da inclinação do corpo e, portanto, evita a ocorrência de falsos positivos, já que limita o efeito do ruído no sinal. A detecção dos positivos verdadeiros, portanto, precisa ser aprimorada através de uma calibração que considere as características individuais de cada tipo de usuário.

Ao detectar a queda, o sensor EnOcean envia um telegrama do tipo RPS, configurado com o *byte* de dados com o valor simbólico de *0x40*. A Figura 26 mostra o telegrama RPS enviado, sendo recebido pelo *software Dolphin View*.

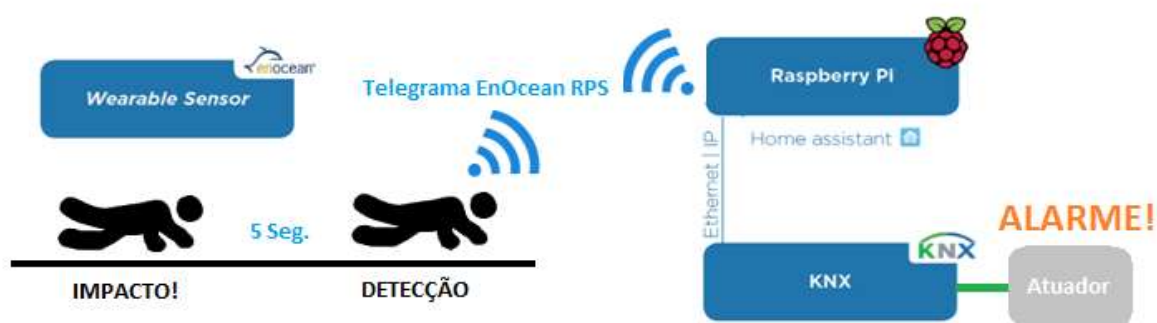
Figura 26: Telegrama RPS de alarme do sensor

ID	RORG	Data	OptionalData	Status	dBm	Subtel	DestinationID	Security	TimeDiff.
01A28D24	RPS	40		30	-45	1	FFFFFFFF		00:00:00.000

Fonte: O Autor (2017)

Esse telegrama é recebido pelo microcomputador Raspberry PI3, que possui a plataforma *Home Assistant* instalada. Nessa plataforma, é feita a interpretação desse telegrama, e caso seja o telegrama RPS do dispositivo detector de queda, ou seja, com a *ID01A28D24*, imediatamente é enviado ao sistema de automação KNX através da rede IP/Ethernet, que por sua vez aciona o atuador. O envio do telegrama em nenhuma das vezes, falhou, demonstrando que o sistema como um todo é promissor para uso como uma tecnologia assistiva para detectar situações emergenciais. A visão geral do sistema é expressa graficamente na Figura 27.

**Figura 27: Visão geral do sistema**



**Fonte: O Autor (2017)**



## 5 CONCLUSÕES

Dispositivos vestíveis cada vez mais vêm sendo considerados parte importante das tecnologias com a funcionalidade de monitorar atividades humanas e de mensurar dados fisiológicos, pois proporciona meios menos invasivos e aquisição constante de dados. O dispositivo vestível desenvolvido nessa dissertação foi baseado na tecnologia EnOcean. Essa tecnologia é amplamente utilizada em dispositivos de automação residencial, industrial e sensores diversos que buscam eficiência energética. Ainda, diversos outros fatores da tecnologia, como baixas chances de colisão de dados e transmissor RF que pode fazer uso de colheita de energia, a qualifica como uma boa escolha para o desenvolvimento de um nó sensor. No caso do dispositivo proposto, a utilização da tecnologia EnOcean difere dos trabalhos anteriormente realizados pois EnOcean não consta entre as tecnologias utilizadas em dispositivos vestíveis. Logo, a aplicação dessa tecnologia nesse tipo de dispositivo abre oportunidades para trabalhos futuros, uma vez que explorar o potencial de consumo energético ultra-baixo, de colheita de energia e baixa possibilidade de colisão de dados é de grande interesse, pois minimiza a manutenção. Desta forma, coopera para o conforto do usuário e ainda possibilita fazer parte de um ambiente dotado de vários sensores coexistindo de forma eficiente, como por exemplo ambientes hospitalares ou casas de assistência para os idosos.

Os resultados práticos, obtidos durante os experimentos, mostram que o sistema representa uma alternativa viável para sistemas de identificação de queda que utilizam algoritmo de limite. O algoritmo utilizado baseou-se em dados obtidos da fusão de sensores acelerômetro e giroscópio, através de um filtro complementar, para minimizar os efeitos dos ruídos e com isso melhorar o desempenho como um todo do sistema. O filtro utiliza como entradas os ângulos determinados a partir do acelerômetro e do giroscópio. Baseado nesses

dados, foram determinados valores a serem utilizados como os limites do algoritmo. Esses limites são valores de aceleração, velocidade angular e inclinações nos eixos  $X$  e  $Z$ . O tempo de análise dos limites de inclinações determinado foi de 5 segundos, valor suficiente para detectar a inclinação do usuário após a fase de impacto. A partir da determinação desse limites, testes realizados mostraram a eficiência do algoritmo considerando os movimentos propostos. Os testes foram realizados com dois usuários com características corporais diferentes, de forma a determinar se a diferença dessas características influenciavam no desempenho do dispositivo. De fato, os desempenhos foram diferentes entre os dois usuários, sendo o primeiro teste com valores de 96% de sensibilidade e o segundo teste com 86% de sensibilidade. Contudo, em ambos os testes, não ocorreram falsos positivos. Entretanto, deve ser considerado um modo de determinação de limites que leve em conta a utilização do equipamento por usuários diferentes, a fim de melhorar o desempenho em relação aos falsos negativos.

É necessário destacar, também, que o dispositivo foi testado para ser parte integrada de um sistema de automação KNX. Esse sistema faz parte de um projeto de expansão de sistema de automação KNX realizado no período de mestrado sanduíche na Alemanha. Portanto, foi feita uma integração utilizando a plataforma *Home Assistant* instalada em uma Raspberry PI3, o qual funcionou perfeitamente, e ainda pode-se destacar a possibilidade da incorporação em qualquer sistema EnOcean de automação.

No intuito de atingir os objetivos propostos na dissertação, algumas lacunas se criaram, as quais podem ser realizadas como trabalhos futuros com o objetivo de melhorar o desenvolvimento do sistema como um todo. São eles:

- 1) Miniaturização do sensor para torná-lo menos invasivo possível;
- 2) Aplicação dos benefícios da tecnologia EnOcean, sendo possível realizar testes após a miniaturização de circuitos de alimentação através de colheita de energia;

- 3) Definição de um método de calibração do algoritmo de detecção baseado nas características corporais do usuário;
- 4) Estudo da eficiência energética do sensor EnOcean;
- 5) Definição de um telegrama EnOcean de tipo próprio para dispositivos vestíveis de identificação de movimentos/queda;
- 6) Integração com outros protocolos de automação.

O trabalho proposto resultou em um artigo aceito na conferência: *3rd IFAC Conference on Embedded Systems, Computational Intelligence and Telematics in Control*, com o título:

- *An EnOcean Wearable Device with Fall Detection Algorithm Integrated with a Smart Home System.*

## REFERÊNCIAS

- ABDELHEDI, S. et al. Development of a two-threshold-based fall detection algorithm for elderly health monitoring. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RESEARCH CHALLENGES IN INFORMATION SCIENCE (RCIS), 10., 2016, Grenoble. **Proceedings...** Grenoble: IEEE, 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7549315/>>. Acesso em: 03 de jul. 2017.
- ADAMI, A. M. et al. Detection of movement in bed using unobtrusive load cell sensors. **IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine**, New York, v. 14, n. 2, p. 481-490, 2010.
- ALAM, M. R.; REAZ, M. B. I.; ALI, M. A. M. A review of smart homes: past, present, and future. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews**, New York, v. 42, n. 6, p. 1190-1203, 2012.
- ANLIKER, U. et al. AMON: A wearable multiparameter medical monitoring and alert system. **IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine**, New York, v. 8, n. 4, p. 415-427, 2004.
- APPLICATION Note AN508: Connecting Dolphin based modules to sensorics through I2C. [s. l.]: EnOcean, 2011.
- BIDARGADDI, N. et al. Detecting walking activity in cardiac rehabilitation by using accelerometer. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT SENSORS, SENSOR NETWORKS AND INFORMATION PROCESSING (ISSNIP), 3., 2007, Melbourne. **Proceedings...** Melbourne: IEEE, 2007. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/4496903/>>. Acesso em: 04 de jul. 2017.
- BLACKMAN, S. et al. Ambient assisted living technologies for aging well: a scoping review. **Journal of Intelligent Systems**, London, v. 25, n. 1, p. 55-59, 2015.
- BOURKE, A. K.; O'BRIEN, J. V.; LYONS, G. M. Evaluation of a threshold-based tri-axial accelerometer fall detection algorithm. **Gait and Posture**, Oxford, v. 26, n. 2, p. 194-199, 2007.
- COYLE, S. et al. BIOTEX: Biosensing textiles for personalised healthcare management. **IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine**, New York, v. 14, n. 2, p. 364-370, 2010.
- DARKO, F.; DENIS, S.; MARIO, Ž. Human movement detection based on acceleration measurements and k-NN classification. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON

COMPUTER AS A TOOL (EUROCON), 2007, Warsaw. **Proceedings...** Warsaw: IEEE, 2007. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/4400451/>>. Acesso em: 04 de jul. 2017.

DI RIENZO, M. et al. MagIC System: a new textile-based wearable device for biological signal monitoring: applicability in daily life and clinical setting. In: IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY (EMBS), 27., 2005, Shanghai. **Proceedings...** Shanghai: IEEE, 2005. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1616161/>>. Acesso em: 15 de ago. 2017.

ENOCEAN. EnOcean Radio Protocol 1, v. 1.1, [s. l.], 2013.

ENOCEAN. User Manual STM300 Scavenger Transceiver Module. [s. l.], 2017.

GUO, H. W. et al. A threshold-based algorithm of fall detection using a wearable device with tri-axial accelerometer and gyroscope. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT INFORMATICS AND BIOMEDICAL SCIENCES (ICIIBMS), 2015, Okinawa. **Proceedings...** Okinawa: IEEE, 2015. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7439470/>>. Acesso em: 03 de jul. 2017.

HE, J. et al. A wearable method for autonomous fall detection based on kalman filter and k-NN algorithm. In: BIOMEDICAL CIRCUITS AND SYSTEMS CONFERENCE (BIOCAS), 2016, Shanghai. **Proceedings...** Shanghai: IEEE, 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7833821/>>. Acesso em: 14 de jul. 2017.

HELAL, S. et al. The Gator Tech smart house: a programmable pervasive space. **Computer**, Los Alamitos, v. 38, n. 3, p. 50-60, 2005.

JOHNSTONE, J. A. et al. Bioharness<sup>TM</sup> multivariable monitoring device. part I: validity. **Journal of Sports Science and Medicine**, Bursa, v. 11, n. 3, p. 400-408, 2012.

KAUR, H.; SHARMA, S. A comparative study of wireless technologies: Zigbee, Bluetooth LE, EnOcean, Wavenis, Insteon and UWB. **International Journal of Advances in Computer Networks and its Security (IJCNS)**, New York, v. 3, n. 2, p. 163-167, 2013.

KNX ASSOCIATION. Serial data transmission and KNX protocol documentation. [S. l.: s. n.], 2015b.

KNX ASSOCIATION. The KNX standard - the basics documentation. [S. l.: s. n.], 2015a.

LE, C. H. et al. Assistive technologies for the older people: physical activity monitoring and fall detection. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE DEVELOPMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING IN VIETNAM (BME6), 6., 2016, Ho Chi Ming City. **Proceedings...** Ho Chi Ming City: IFMBE, 2016. Disponível em: <<http://gala.gre.ac.uk/17477/>>. Acesso em: 04 de set. 2017.

LI, Q. et al. Accurate, fast fall detection using gyroscopes and accelerometer-derived posture information. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON WEARABLE AND IMPLANTABLE BODY SENSOR NETWORKS (BSN), 6., 2009, Berkeley. **Proceedings...** Berkeley: IEEE, 2009. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5226903/>>. Acesso em: 04 de jul. 2017.

LIM, D. et al. Fall-detection algorithm using 3-axis acceleration: combination with simple threshold and Hidden Markov Model. **Journal of Applied Mathematics**, Cairo, v. 2014, 2014.

LINDEMANN, U. et al. Evaluation of a fall detector based on accelerometers: a pilot study. **Medical and Biological Engineering and Computing**, New York, v. 43, n. 5, p. 548-551, 2005.

LIU, L. et al. Smart homes and home health monitoring technologies for older adults: a systematic review. **International Journal of Medical Informatics**, Shannon, v. 91, p. 44-59, 2016.

LORD, C. J.; COLVIN, D. P. Falls in the elderly: detection and assessment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 13., 1991, Orlando. **Proceedings...** Orlando: IEEE, 1991. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/684830/>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

LUTOLF, R. Smart home concept and the integration of energy meters into a home based system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON METERING APPARATUS AND TARIFFS FOR ELECTRICITY SUPPLY (MATES), 7., 1992, Glasgow. **Proceedings...** Glasgow: IET, 1992. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/187310/>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

MAHONY, R.; HAMEL, T.; PFLIMLIN, J. M. Complementary filter design on the special orthogonal group SO(3). In: CONFERENCE ON DECISION AND CONTROL, AND THE EUROPEAN CONTROL CONFERENCE (CDC-ECC), 44., 2005, Seville. **Proceedings...** Seville: IEEE, 2005. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/1582367/>>. Acesso em: 02 set. 2017.

MALUF, N. **An introduction to Microelectromechanical Systems Engineering**. 2nd ed. Norwood: Artech House Inc., 2004.

MIHAILIDIS, A.; LEE, T. An intelligent emergency response system: preliminary development and testing of automated fall detection. **Journal of Telemedicine and Telecare**, London, v. 11, n. 4, p. 194-198, 2005.

NAIT-CHARIF, H.; MCKENNA, S. J. Activity summarisation and fall detection in a supportive home environment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PATTERN RECOGNITION (ICPR), 17., 2004, Cambridge. **Proceedings...** Cambridge: IEEE, 2004. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/1333768/>>. Acesso em: 04 de jul. 2017.

NOURY, N. et al. Fall detection - principles and methods. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY (EMBS), 29., 2007, Lyon. **Proceedings...** Lyon: IEEE, 2007. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4352627/>>. Acesso em: 25 de jun. 2017.

NOURY, N. et al. VTAMN: a smart clothe for ambulatory remote monitoring of physiological parameters and activity. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY (IEMBS), 26., 2004, San Francisco. 2004. **Proceedings...** San Francisco: IEEE, 2004. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/1403919/>>. Acesso em: 15 de ago. 2017.

NOURY, N. et al. Monitoring behavior in home using a smart fall sensor and position sensors. In: INTERNATIONAL SPECIAL TOPIC CONFERENCE ON MICROTكنولوجIES IN MEDICINE AND BIOLOGY (EMBS), 1., 2000, Lyon. **Proceedings...** Lyon: IEEE, 2000. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/893857/>>. Acesso em: 25 de jun. 2017.

PARADISO, R.; LORIGA, G.; TACCINI, N. A wearable health care system based on knitted integrated sensors. **IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine**, New York, v. 9, n. 3, p. 337-344, 2005.

RASHIDI, P.; COOK, D. J. Keeping the resident in the loop: adapting the smart home to the user. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans**, New York, v. 39, n. 5, p. 949-959, 2009.

RASHIDI, P.; MIHAILIDIS, A. A survey on ambient-assisted living tools for older adults. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, New York, v. 17, n. 3, p. 579-590, 2013.

ROUGIER, C.; MEUNIER, J. Demo : fall detection using 3D head trajectory extracted from a single camera video sequence. **Journal of Telemedicine and Telecare**, London, v. 11, n. 4, p. 2-3, 2005.

SHAEFFER, D. K. MEMS inertial sensors : a tutorial overview. **IEEE Communications Magazine**, New York, v. 51, n. 4, p. 100-109, 2013.

SWATHI, G. N.; AMARNADH, M. Threshold based fall detection and prediction method using tri-axial accelerometer. **International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering**, Chennai, v. 2, n. 4, p. 29-33, 2014.

TAMURA, T. et al. E-healthcare at an experimental welfare techno house in Japan. **The Open Medical Informatics Journal**, Hilversum, v. 1, p. 1-7, 2007.

TONG, L. et al. HMM-based human fall detection and prediction method using tri-axial accelerometer. **IEEE Sensors Journal**, New York, v. 13, n. 5, p. 1849-1856, 2013.

WANG, H. et al. RT-fall: a real-time and contactless fall detection system with commodity WiFi devices. **IEEE Transactions on Mobile Computing**, Los Alamitos, v. 16, n. 2, p. 511-526, 2017.

WANG, N. et al. Classification of walking patterns on inclined surfaces from accelerometry data. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIGITAL SIGNAL PROCESSING (DSP), 16., 2009, Santorini-Hellas. **Proceedings...** Santorini-Hellas: IEEE, 2009. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5201202/>>. Acesso em: 15 de jun. 2017.

WILLIAMS, G. et al. A smart fall and activity monitor for telecare applications. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY (IEMBS), 20., 1998, Hong Kong. **Proceedings...** Hong Kong: IEEE, 1998. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/747074/>>. Acesso em: 14 de ago. 2017.

WU, F. et al. Development of a wearable-sensor-based fall detection system. **International Journal of Telemedicine and Applications**. Cairo, v. 2014, 2014.