



Federação das Indústrias do Estado da Bahia

SENAI CIMATEC
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM
MODELAGEM COMPUTACIONAL E TECNOLOGIA INDUSTRIAL
Mestrado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial

CHARLES LIMA SOARES

**REDE DE SENSORES *WIRELESS* PARA O MONITORAMENTO REMOTO E NÃO
INTRUSIVO DE PESSOAS EM AMBIENTE DOMICILIAR UNIPESSOAL**

Salvador, 2016

CHARLES LIMA SOARES

REDE DE SENSORES *WIRELESS* PARA O MONITORAMENTO REMOTO E NÃO
INTRUSIVO DE PESSOAS EM AMBIENTE DOMICILIAR UNIPESSOAL

Dissertação apresentada como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec.

Orientadora: Valéria Loureiro da Silva

Co-orientador: Valter de Senna

Salvador

2016

CHARLES LIMA SOARES

**REDE DE SENSORES *WIRELESS* PARA O MONITORAMENTO REMOTO E NÃO
INTRUSIVO DE PESSOAS EM AMBIENTE DOMICILIAR UNIPESSOAL**

Dissertação apresentada como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec.

Aprovada em 03 de Agosto de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Valéria Loureiro da Silva
SENAI CIMATEC

Prof. Dr. Valter de Senna
SENAI CIMATEC

Prof. Dr. Roberto Luiz Souza Monteiro
SENAI CIMATEC

Prof. Dr. Márcio Renê Brandão Sousa
UNIJORGE – Centro Universitário Jorge Amado

DEDICATÓRIA

Dedico este projeto aos meus pais, por me proporcionarem a oportunidade de vencer com muita luta as etapas da vida e acreditarem sempre no meu potencial.

AGRADECIMENTOS

Desenvolver e escrever uma dissertação de mestrado parece fácil diante do momento de parar e escrever algumas palavras de agradecimento. Sempre fica a preocupação por esquecer alguém, já que são tantas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para que esse trabalho tornasse realidade.

Agradeço a Deus por me dar sabedoria, inteligência e a determinação na busca de cada vez fazer as coisas de uma maneira melhor e mais simples, com o objetivo de contribuir com a sociedade. E que esse grande Criador e Arquiteto de tudo que existe no mundo possa me direcionar para a realização de muitos trabalhos.

Agradeço em especial a minha esposa Andressa Aparecida Juliatti Zamprogno por apoiar, e tolerar todo processo de criação desse projeto: “Deixe que eu fico com Maria brincando e não saia desta mesa, enquanto não concluir seu trabalho”.

Aos meus filhos, Charles Lima Soares Junior, Felipe Nunes Zamprogno e Maria Clara Juliatti Zamprogno Soares que tiveram que superar minha ausência no momento que me encontrava em sala de aula ou em produção dessa dissertação: “Silêncio papai, os pintinhos (dispositivos *zigbee*) estão dormindo”.

Aos amigos e parceiros Eron Brunelli, Marla Dore, Patrícia Braga e Ivone Lordelo pelo constante incentivo e força de vontade que tiveram para contribuir com esse trabalho.

Os meus mais sinceros agradecimentos aos professores Valéria Loureiro e Valter de Senna pelas suas orientações, paciência, dedicação, ensinamentos e oportunidade em participar desse projeto tão rico.

Enfim, eu não conseguiria concluir um trabalho deste porte sem a ajuda, o incentivo e, principalmente, o compromisso do professor Márcio Soussa. Principalmente pela sua insistência e confiança nesse trabalho, em momentos em que estive não tão animado.

Esta dissertação de mestrado foi elaborada considerando as normas de estilo (i.e. estéticas e estruturais) propostas aprovadas pelo colegiado do Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial e estão disponíveis em formato eletrônico (download na Página Web <http://ead.fieb.org.br/portal/faculdades/dissertacoes-e-teses-mcti.html> ou solicitação via e-mail à secretaria do programa) e em formato impresso somente para consulta.

Ressalta-se que o formato proposto considera diversos itens das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), entretanto opta-se, em alguns aspectos, seguir um estilo próprio elaborado e amadurecido pelos professores do programa de pós-graduação supracitado.

(Charles Lima Soares)

RESUMO

Diversas pesquisas, tanto em âmbito nacional como internacional, apontam para um crescente aumento do número de domicílios unipessoais, isto é, domicílios onde mora apenas uma pessoa e desse universo, uma parcela significativa é representada por idosos. Sob outra perspectiva, a recente evolução das áreas de microeletrônica e redes de sensores sem fio vem possibilitando o surgimento dos mais diversos projetos de monitoramento remoto, desde controles de processos industriais até estudos do comportamento de oceanos, vulcões, rios, florestas e indivíduos. Neste trabalho, uma rede de sensores de presença sem fio, para o monitoramento da movimentação de idosos em ambientes unidomiciliares foi implantada em duas residências. Os resultados mostram que é possível identificar comportamentos típicos dos idosos e desvio dos mesmos. A utilização dos dispositivos de rádio *ZigBee* em modo de “*sleep*” cíclico, permitem redução significativa no consumo de energia, tornando possível a utilização de baterias para alimentação dos nós sensores.

Palavras-chave: Computação Pervasiva, Redes de Sensores Sem Fio, Zigbee, Monitoramento Remoto de Idosos.

ABSTRACT

Various surveys, both in national and international level, point to a growing number of single person households, ie, households where only one person lives and from this universe, a significant portion is represented by seniors. On the other hand, recent developments in the fields of microelectronics and wireless sensor networks have enabled the emergence of many remote monitoring projects, from industrial process control to behavioral studies of oceans, volcanoes, rivers, forests and individuals. In this work, a remote wireless motion sensor network was implemented for the remote monitoring of an elderly person in a single household. The results demonstrate that it is possible to identify the elder typical behavior as well as deviation from them. The use of ZigBee devices in the cyclic sleep mode enables significant reduction in the energy consumption, making it practical the use of batteries for powering the sensor nodes.

Keywords: Pervasive Computing, Wireless Sensor Network, ZigBee, Remote Elder Monitoring.

SUMÁRIO

CAPITULO I	2124
1. INTRODUÇÃO	2124
1.1 Definições do Problema	2222
1.2 Objetivo	2323
1.3 Objetivos Específicos:	2323
1.4 Importância da Pesquisa	2323
1.5 Motivação	2424
1.6 Limites e Limitações	2424
1.7 Questões e Hipóteses	2525
1.8 Aspectos Metodológicos	2525
1.9 Organização da Dissertação de Mestrado:	2626
CAPITULO II	2828
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	2828
2.1 Introdução	2828
2.2 Computação Pervasiva	2828
2.3 Sistemas Embarcados	2929
2.4 Sensores	2929
2.4.1 Sensor de Movimento	3131
2.4.2 Sensor de Temperatura	3131
2.5 Redes de Sensores Sem Fio	3131
2.5.1 Comunicação	3232
2.5.2 Consumo de Energia	3333
2.5.3 <i>Bluetooth</i>	3434
2.5.4 ANT	3535
2.5.5 Zigbee	3535
2.5.5.1 Histórico	3636
2.5.5.2 Descrição Geral	3737
2.5.5.3 Modo de Operação	4040
2.5.5.4 Tipos de Dispositivos	4141

2.5.5.5 Modo de Consumo de Energia	<u>4242</u>
2.6 Utilitário XCTU.....	<u>4444</u>
2.7 Processing.....	<u>4545</u>
2.8 Acesso Remoto.....	<u>4646</u>
CAPITULO III	<u>4747</u>
3. SISTEMA PROPOSTO	<u>4747</u>
3.1 Visão Geral.....	<u>4747</u>
3.2 Variáveis de Estado e Escalas.....	<u>4848</u>
3.3 Visão Detalhada.....	<u>5151</u>
CAPITULO IV	<u>6161</u>
4. EXPERIMENTOS COM O SISTEMA	<u>6161</u>
4.1 Introdução.....	<u>6161</u>
4.2 Experimento 1	<u>6161</u>
4.3 Experimento 2	<u>6666</u>
4.4 Experimento 3	<u>6969</u>
4.5 Experimento 4	<u>7676</u>
4.6 Experimento 5	<u>8686</u>
CAPÍTULO V	<u>103103</u>
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	<u>103103</u>
5.1 Conclusões.....	<u>103103</u>
5.2 Contribuições	<u>105105</u>
5.3 Atividades Futuras	<u>105105</u>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Diferenças entre as principais tecnologias <i>Wireless</i>	3939
Tabela 2: Principais diferenças entre os módulos <i>XBee</i> , <i>XBee Pro</i> e <i>UBee Max</i> . ..	4040
Tabela 3: Descrição dos dispositivos eletrônicos utilizados no ambiente do projeto.	4949
Tabela 4: Variáveis de Estado do Sistema.....	5252
Tabela 5: Configurações testadas no experimento.	7777
Tabela 6: Corrente consumida pelo dispositivo <i>Zigbee</i> para várias configurações.	8888
Tabela 7: Resumo dos Resultados – Descargas das Baterias.....	9393
Tabela 8: Modelos de Baterias.....	9393

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Inter-relação entre o projeto de mestrado e o projeto de doutorado	2424
Figura 2: Pilha de Protocolo IEEE 802.15.4.....	3737
Figura 3: Formato da PDU 802.15.4.	3838
Figura 4: Visão geral do funcionamento do sistema e distribuição dos dispositivos no ambiente unipessoal.....	4747
Figura 5: Rede de Comunicação sem fio com os Xbee configurados como Coordenador e Dispositivo Final.	4848
Figura 6: Relação entre as entidades do sistema.	4949
Figura 7: Visão geral do sistema proposto.	5050
Figura 8: Processo de Configuração dos Dispositivos.	5154
Figura 9: Tela de Configuração dos Dispositivos no aplicativo <i>XCTU</i>	5353
Figura 10: Instalação Física dos Componentes do Sistema.....	5454
Figura 11: Diagrama elétrico dos nós sensores com a presença do microprocessador Arduino Pro Mini.	5555
Figura 12: Diagrama elétrico dos nós sensores sem a presença do microprocessador Arduino Pro Mini.....	5656
Figura 13: Processos da Ativação do Sistema.	5757
Figura 14: Tela de Reconhecimento dos Dispositivos após Configuração - <i>XCTU</i>	5757
Figura 15: Processos da Operação do Sistema.	5858
Figura 16: Tela de Monitoramento do Indivíduo e Apresentação da temperatura Ambiente através do aplicativo Processing.....	5959
Figura 17: Resumo dos experimentos realizados e principais conclusões	61
Figura 18: Ambiente piloto do projeto.....	6262
Figura 19: Dispositivos instalados no local para o sensoriamento do ambiente....	6363
Figura 20: Padrão de acionamento do sensor de presença na sala da coordenação do curso B.	6464
Figura 21: Padrão de acionamento do sensor de presença no banheiro feminino.	6565

Figura 22: Foto dos dispositivos instalados num apartamento unidomiciliar de ~40m².
 a) Nó sensor para monitoramento da sala instalado na luminária central com 4 sensores PIR, 1 placa Arduino e 1 módulo radio *Zigbee*; b) Nó sensor do banheiro, instalado acima da porta de entrada, com 1 sensor PIR, 1 placa Arduino e um rádio *Zigbee*; c) Nó sensor do quarto instalado acima da porta de entrada, com 1 sensor PIR, 1 sensor de temperatura, 1 placa Arduino, 1 módulo rádio *Zigbee*; d) Nó sensor da cozinha, instalado acima da porta de entrada, com 1 sensor PIR, 1 placa Arduino e um rádio *Zigbee*[6767](#)

Figura 23: Residência do Idoso 1 - piloto do projeto.[6767](#)

Figura 24: Densidade de ativações dos sensores instalados na sala, cozinha e banheiro – Idoso 1.....[6868](#)

Figura 25: Distribuição dos sensores ao longo da residência do Idoso 2.....[7070](#)

Figura 26: Residências monitoradas: (a) - Idoso 1 e (b) - Idoso 2.....[7273](#)

Figura 27: Densidade de ativações dos sensores instalados no sofá/poltrona e cozinha. (a) e (c) Com Arduino e (b) e (d) Sem Arduino – Idoso 2.....[7474](#)

Figura 28: Densidade de ativações dos sensores instalados no quarto acordado e dormindo. (a) e (c) Com Arduino - (b) e (d) Sem Arduino – Idoso 2.....[7575](#)

Figura 29: Esquema do experimento para avaliação de possível perda de dados quando o dispositivo *Xbee* está configurado no modo *sleep*.....[7777](#)

Figura 30: Amostra das ativações dos dispositivos. Nos itens A) e B), os dispositivos foram configurados da seguinte forma: Pan Id = 17, *Xbee* 34 e 35 foram configurados como roteador, sem *sleep* e IR = 3 segundos..[7878](#)

Figura 31: Amostra das ativações dos dispositivos com modo "sleep" configurado em dois períodos de tempo diferentes. Nos itens A) e B), os dispositivos tiveram as seguintes configurações: No controlador, o valor do Pan Id foi 17, o *xbee* 34 foi configurado como dispositivo final, modo *sleep* cíclico 4, estado acordado (ST) e dormindo (SP) 1,5 segundos e IR 3 segundos, enquanto que o *xbee* 35, foi configurado como roteador, sem *sleep* configurado, pois, encontra-se como referência.[8080](#)

Figura 32: Amostra das ativações dos dispositivos com modo "sleep" configurado. Os dispositivos tiveram as seguintes configurações: Controlador, o valor do Pan Id foi 17, foi necessário nesse cenário configurar o estado dormindo (SP) para 3 segundos, o *xbee* 34 foi configurado como dispositivo final, modo *sleep* cíclico 4, 3 segundos para o estado acordado (ST), dormindo (SP) e IR, enquanto que o *xbee*

35, foi configurado como roteador, sem <i>sleep</i> configurado, pois, encontra-se como referência.	8184
Figura 33: Amostra das ativações dos dispositivos com modo " <i>sleep</i> " configurado. Os dispositivos tiveram as seguintes configurações: Controlador, o valor do Pan Id foi 17, foi configurado o estado dormindo (SP) para 3 segundos, o <i>xbee</i> 34 foi configurado como dispositivo final, modo <i>sleep</i> cíclico 4, 30 ms para o estado acordado (ST), 3 segundos para o estado dormindo (SP) e IR, enquanto que o <i>xbee</i> 35, foi configurado como roteador, sem <i>sleep</i> configurado, pois, encontra-se como referência.	8282
Figura 34: A e B. Amostra das ativações dos dispositivos. Nos itens A) e B), os dispositivos foram configurados da seguinte forma: Controlador, o valor do Pan Id foi 17, foi configurado o estado dormindo (SP) para 3 segundos, o <i>xbee</i> 34 foi configurado como dispositivo final, modo <i>sleep</i> cíclico 4, 3 ms para o estado acordado (ST), 3 segundos para o estado dormindo (SP) e IR, enquanto que o <i>xbee</i> 35, foi configurado como roteador, sem <i>sleep</i> configurado, pois, encontra-se como referência.	8383
Figura 35: A e B: Amostra das ativações dos dispositivos com modo " <i>sleep</i> " configurado. Os dispositivos tiveram as seguintes configurações: Controlador, o valor do Pan Id foi 17, foi configurado o estado dormindo (SP) para 3 segundos, o <i>xbee</i> 34 foi configurado como dispositivo final, modo <i>sleep</i> cíclico 4, 30 ms para o estado acordado (ST), 3 segundos para o estado dormindo (SP) e IR, enquanto que o <i>xbee</i> 35, foi configurado como roteador, sem <i>sleep</i> configurado, pois, encontra-se como referência.	8585
Figura 36: Esquema do experimento para medição da corrente fornecida/consumida pelo nó sensor.	8787
Figura 37: Esquema dos experimentos para avaliação da autonomia das baterias. Em alguns experimentos a placa <i>Xbee Explorer Regulated</i> foi removida.	9090
Figura 38: Curva de descarga para os casos sem dormir com e sem o <i>Explorer Regulated</i>	9194
Figura 39: (A) e (B). Curva de descargas das baterias para vários estados de Dormência.	9292
Figura 40: Esquema dos experimentos para avaliação do consumo de corrente dos dispositivos eletrônicos utilizados nesse projeto.	9494

Figura 41: Imagem dos canais 1, 2 e 3 do osciloscópio do experimento descrito no esquema da Fig. 40: Saída do PIR (canal 1/traço amarelo), Monitor de “ <i>Sleep</i> ” (canal 2/traço azul), corrente fornecida pela fonte de alimentação medido com uma ponta de prova de corrente (canal 3/traço rosa). A) e B) ST/SP=1,5s; e “ <i>booster mode</i> ” desabilitado.	<u>9595</u>
Figura 42: I Imagem dos canais 1, 2 e 3 do osciloscópio do experimento descrito no esquema da Fig. 39: Saída do PIR (canal 1/traço amarelo), Monitor de “ <i>Sleep</i> ” (canal 2/traço azul), corrente fornecida pela fonte de alimentação medido com uma ponta de prova de corrente (canal 3/traço rosa). A) e B) ST/SP=0,1; C) e D) ST/SP=0,01; E) e F) ST/SP=0,001; SP= 3s e “ <i>booster mode</i> ” desabilitado.	<u>9696</u>
Figura 43: Imagem dos canais 1, 2 e 3 do osciloscópio do experimento descrito no esquema da Fig. 40: Saída do PIR (canal 1/traço amarelo), Monitor de “ <i>Sleep</i> ” (canal 2/traço azul), corrente fornecida pela fonte de alimentação medido com uma ponta de prova de corrente (canal 3/traço rosa). A) e B) ST/SP=0,01; e “ <i>booster mode</i> ” desabilitado.	<u>9797</u>
Figura 44: Imagem dos canais 1, 2 e 3 do osciloscópio do experimento descrito no esquema da Fig. 40: Saída do PIR (canal 1/traço amarelo), Monitor de “ <i>Sleep</i> ” (canal 2/traço azul), corrente fornecida pela fonte de alimentação medido com uma ponta de prova de corrente (canal 3/traço rosa). (A)-(D) ST/SP=1,5s e “ <i>booster mode</i> ” ativado.....	<u>9898</u>
Figura 45: Imagem dos canais 1, 2 e 3 do osciloscópio do experimento descrito no esquema da Fig. 39: Saída do PIR (canal 1/traço amarelo), Monitor de “ <i>Sleep</i> ” (canal 2/traço azul), corrente fornecida pela fonte de alimentação medido com uma ponta de prova de corrente (canal 3/traço rosa). A) ST/SP=0,1 e PIR baixo; B) ST/SP=0,1 e PIR alto; C) ST/SP=0,01 e PIR alto; D) ST/SP=0,01 e PIR baixo; E) ST/SP=0,001 e PIR baixo; F) ST/SP=0,001e PIR alto; SP= 3s e “ <i>booster mode</i> ” ativado.....	<u>100400</u>
Figura 46: (A)-(E): Imagem do canal 2 do osciloscópio do experimento descrito no esquema da Fig. 40: Monitor de “ <i>Sleep</i> ” (canal 2/traço azul), corrente fornecida pela fonte de alimentação modelo Keithley 2230-30-1. A) ST/SP=0,1; B) ST/SP=0,1; C) ST/SP=0,01; D) ST/SP=0,01; E) ST/SP=0,001.....	<u>101401</u>

LISTA DE SIGLAS

ACK - Acknowledgement

ADC – Analog-to-Digital Converter

AODV - Ad-Hoc On-demand Distance Vector Routing

API - Application Programming Interface

APS - Application Support

BBC - British Broadcast Corporation

BLE - Bluetooth Low Energy

CAAE - Certificado de Apresentação para Apreciação Ética

CSMA/CA - Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance

DHT - Digital Humidity and Temperature Sensor

DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum

FFD - Full Function Device

FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum

GFSK - Gaussian Frequency Shift Keying

HTTP - Hypertext Transfer Protocol

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEEE - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos

IR – Input Output Sampling Rate

LTE - Long Term Evolution

MAC – Media Access Control

PAN ID - Personal Area Network Identification

PDU - Protocol Data Units

PHY - Physical Layer

PIR - Passive Infrared

PPGETEC - MTCTI - Pós-graduação em Gestão e Tecnologia Industrial

RFD - Reduced Function Device

RSA - Criptografia Assimétrica e Assinatura Digital

RSSF - Redes de Sensores Sem Fio

RSSI - Received Signal Strength Indication

SIG - Special Interest Group

SP - Cyclic Sleep Period

ST – Time Before Sleep

TCP - Transmission Control Protocol

UART - Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

UDP - User Datagram Protocol

WIMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access

WPAN - Wireless Personal Area Network

WWW - World Wide Web

XCTU – Configuration e Test Utility Software

APÊNDICE A

COMITÊ DE ÉTICA

Apêndice A 1: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.	<u>115444</u>
Apêndice A 2: Documento de Aprovação do Projeto pelo Comitê de Ética.....	<u>116445</u>
Apêndice A 3: Documento de Aprovação do Projeto pelo Comitê de Ética.....	<u>117446</u>
Apêndice A 4: Documento de Aprovação do Projeto pelo Comitê de Ética.....	<u>118447</u>
Apêndice A 5: Documento de Aprovação do Projeto pelo Comitê de Ética.....	<u>119448</u>
Apêndice A 6: Documento de Aprovação do Projeto pelo Comitê de Ética.....	<u>120449</u>

APÊNDICE B

CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO DO SISTEMA

Apêndice B 1: Código de programação do sistema – Processing.	<u>122</u> <u>24</u>
Apêndice B 2: Código de programação do sistema – Processing.....	<u>123</u> <u>22</u>
Apêndice B 3: Código de programação do sistema – Processing.....	<u>124</u> <u>23</u>
Apêndice B 4: Código de programação do sistema – Processing.....	<u>125</u> <u>24</u>

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

Dados do IBGE (2012) apresentam um aumento significativo no número de pessoas que residem sozinhas no Brasil, e em particular os idosos, que de uma maneira geral, precisam de mais atenção e cuidados médicos. Para o IBGE (2012), no período de 1992 a 2012 o número de idosos que vivem sozinhos no Brasil triplicou, passando de 1,1 milhão para 3,7 milhões, o que representa um aumento de 215%. De acordo com o EUROMONITOR (2012), estimam que de 2001 a 2011, houve um crescimento de 30,1% no número de domicílios unipessoais no mundo e ele informa ainda que o maior percentual de domicílios unipessoais é registrado em países do norte da Europa. Klinenberg (2012) reporta que o número de domicílios unipessoais está crescendo de forma significativa na China, no Brasil e na Índia.

Segundo Ramos et al., (2010), o que justifica a tendência da escolha do idoso em morar sozinho pode advir da busca pela individualidade ou em decorrência das perdas humanas, distância física de seus familiares, dentre outros fatores. Essa realidade faz suscitar um problema no cotidiano de muitas famílias, especialmente nos grandes centros urbanos: Como acompanhar os aspectos do cotidiano desses indivíduos, mantê-los socialmente integrados com independência e autonomia nos ambientes unipessoais? Com base nesse contexto, é possível perceber uma necessidade de utilização de mecanismos de monitoramento remoto das pessoas que vivem sozinhas, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida dessas pessoas e antecipar a percepção e o atendimento, em casos de situações de risco para a saúde (RAMOS et al., 2010).

A escolha do idoso em morar sozinho em um ambiente domiciliar, objetiva a melhoria na qualidade de vida, proporciona um estado natural de individualidade e independência nas mais simples decisões domésticas. Atkinson e Castro (2014) afirmam que desde o século XX, as pessoas que decidiram morar sozinhas buscam melhorar a qualidade de vida, mudando os seus hábitos sociais. Uma dessas

possíveis mudanças, é se permitir utilizar a tecnologia a seu favor, pois, a esfera tecnológica pode contribuir muito para essa melhoria no ambiente dessa geração (BBC, 2013), no entanto, as pessoas idosas, frequentemente, tem uma resistência ao uso de novas tecnologias. Isso pode causar um entrave a adoção da tecnologia, a menos que, os produtos tecnológicos sejam flexíveis o bastante para atender às diferentes necessidades dos indivíduos em um nível adequado de privacidade em seu ambiente unipessoal, evitando assim, contribuir significativamente com a exclusão digital e econômica dessas pessoas. Segundo Moro (2010), a exclusão digital pressupõe a exclusão não apenas econômica, mas também cultural, ligada aos direitos de igualdade e cidadania, na medida em que os excluídos deixam de tirar proveito das potencialidades oferecidas pelos instrumentos tecnológicos.

Na realidade, a evolução tecnológica vem possibilitando o surgimento dos mais diversos projetos de sensoriamento remoto, desde controles de processos industriais até estudos da mudança do sistema dunário (ARAUJO e FONSECA, 2016), desastres naturais e tecnológicos (SAUSEN e LACRUZ, 2015), inventário florestal (HAKAMADA et al., 2015), sinais vitais de pacientes (FERRAZ et al., 2010; BBC, 2013 e SIMON et al., 2015) e do clima (BRAGA et al., 2015).

Por outra perspectiva, o crescente uso de dispositivos móveis e a ampla difusão de redes sem fio fazem com que a busca pela inovação e por novas tecnologias trabalhem juntas, no processo das instituições, que são fatores importantes na competitividade entre elas (VERAS, 2012). Esse rápido crescimento é importante na evolução tecnológica, vez que é permitido aos usuários transmitir dados a partir de locais remotos, para outros locais remotos ou fixos no qual é denominado como computação móvel, tecnologia que tem uma fundamental importância nesse projeto.

1.1 Definições do Problema

Alinhando as perspectivas citadas anteriormente, surge então, o seguinte problema: Como projetar uma arquitetura computacional, capaz de permitir o monitoramento remoto e não intrusivo do comportamento de pessoas que moram em domicílios unipessoais?

1.2 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo principal propor um sistema capaz de realizar um monitoramento remoto e não intrusivo de pessoas que vivem em residências unipessoais, utilizando dispositivos eletrônicos de baixo custo e tecnologia de rede sem fio, capaz de capturar dados provenientes de sensores distribuídos em um ambiente e estabelecer uma comunicação com um servidor remoto.

1.3 Objetivos Específicos:

- ✓ Definir os tipos de sensores mais adequados ao projeto;
- ✓ Definir uma arquitetura de comunicação de dados entre os dispositivos eletrônicos para coletar dados do indivíduo no ambiente unipessoal;
- ✓ Testar o funcionamento dos sensores e a rede de comunicação;
- ✓ Avaliar o modelo proposto.

1.4 Importância da Pesquisa

Entre os impactos esperados do presente trabalho, está a contribuição científica para ampliação de pesquisas voltadas para o sensoriamento remoto não intrusivo de comportamento humano, e a sua utilização.

No âmbito tecnológico, a contribuição está na definição de um modelo que seja capaz de capturar dados a partir da movimentação de indivíduos que vivem sozinhos em um ambiente unipessoal, utilizando dispositivos eletrônicos não intrusivos, com baixo custo e uma rede de comunicação sem fio.

Como contribuição social, espera-se que a imagem do idoso incapaz de viver sozinho seja desconstruída a partir da implementação dessa arquitetura, promovendo a independência, autonomia e aumento da longevidade desses indivíduos.

Em suma é possível ter a concepção de que esse projeto possui um papel significativo como parte do processo educativo, na resolução de possíveis problemas, na difusão, na inovação e aumento de conhecimentos disponíveis que podem ser apropriados em outros projetos de monitoramento remoto.

1.5 Motivação

Esse trabalho está integrado com um projeto de doutorado, desenvolvido no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial (PPGMCTI) do SENAI CIMATEC, cuja relação pode ser vista na Figura 1.

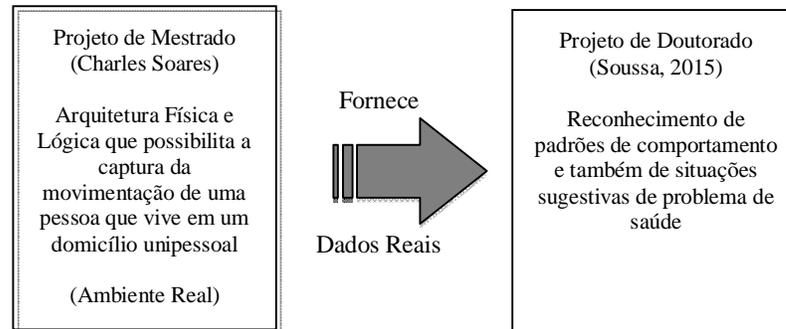


Figura 24: Inter-relação entre o projeto de mestrado e o projeto de doutorado. Fonte: Adaptado de Soussa (2015)

Esse trabalho de mestrado, conforme pode ser visto na Figura 1, têm como propósito capturar a movimentação de uma pessoa em um domicílio unipessoal, por meio de um conjunto de dispositivos eletrônicos instalados na sua residência, provendo dados para que o trabalho de doutorado supracitado, passe à aprender alguns padrões de comportamento da pessoa monitorada.

A construção e/ou desenvolvimento de um projeto de monitoramento dessa natureza pode contribuir para a longevidade de idosos em ambientes unipessoais.

1.6 Limites e Limitações

O modelo proposto nesse projeto apresenta alguns limites relevantes de serem apresentados.

i. Ambiente para o sensoriamento

A proposta desse modelo é capturar dados gerados pela movimentação de indivíduos que vivem em domicílios unipessoais, excluindo-se então, domicílios onde vive mais de uma pessoa e também ambientes de assistência à saúde, casas de repouso, hospitais e clínicas.

ii. Sensores

Por conta da natureza não intrusiva do projeto, o modelo aqui proposto contempla o uso de apenas dois tipos de sensores: de presença e temperatura. Está excluído o uso de equipamentos como câmeras de vídeo e máquinas fotográficas; equipamentos que colem dados fisiológicos da pessoa; dispositivos acoplados ao corpo do indivíduo, como braceletes e relógios.

1.7 Questões e Hipóteses

Segue abaixo descrição das questões importantes a serem respondidas pelo sistema proposto aqui.

- a) **Questão 1:** Como capturar dados de movimentação do indivíduo em seu ambiente domiciliar com sensores de baixo custo?

Hipótese 1.1: É possível capturar as movimentações mais frequentes do indivíduo pelo domicílio através da instalação dos sensores de movimento em locais estratégicos da casa como: quarto, banheiro, sofá, sala de estar, cozinha e porta principal da casa.

- b) **Questão 2:** Como possibilitar a comunicação sem fio entre os dispositivos distribuídos ao longo da residência com alimentação por baterias?

Hipótese 2.1: É possível alimentar o nó sensor com baterias através da utilização de rádio da tecnologia *zigbee* para transmitir ao servidor remoto os dados capturados pelos sensores distribuídos por entre os cômodos da residência.

1.8 Aspectos Metodológicos

Nesse trabalho, o aspecto metodológico foi desenvolvido em etapas incluindo informações pesquisadas e observações coletadas no ambiente a partir da comunicação entre os sensores.

Na primeira etapa foram realizadas pesquisas bibliográficas referentes à

análise das condições de vida da população brasileira, evolução dos dispositivos eletrônicos, tecnologia de redes sem fio, sensores, sistemas embarcados, computação pervasiva e tecnologia *zigbee*.

A segunda etapa constituiu o projeto de um cenário em uma instituição de ensino superior para ser utilizado como teste de bancada dos dispositivos eletrônicos. Nesse cenário foi possível observar o funcionamento dos dispositivos e identificar situações que poderiam ser tratadas no decorrer do desenvolvimento desse trabalho.

A terceira etapa caracterizou-se pela definição dos sensores mais adequados para o projeto, levando em consideração as seguintes características: baixo custo, não intrusivo, autonomia de energia, dimensão das peças e tempo de vida.

A quarta etapa se formou pela definição de uma rede de comunicação de dados com os dispositivos eletrônicos para coletar informações geradas pelo movimento do indivíduo no ambiente unipessoal.

A quinta etapa consistiu da instalação dos dispositivos eletrônicos na residência de dois idosos que vivem sozinhos, com o objetivo de capturar dados a partir das suas frequentes movimentações. Entretanto, antes foi necessária a submissão e aprovação do projeto (sob CAAE: 35247214.5.0000.5544.) pelo comitê de ética. No apêndice A, são encontrados os documentos: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e o parecer com a aprovação pelo Conselho de Ética.

Por fim, a sexta etapa foi monitorar o funcionamento do modelo, durante a captura dos dados gerados pela movimentação do indivíduo. Nesta etapa, também foi possível investigar alternativas de baixa potência para comunicação *wireless*, sem a utilização da placa arduino, e com autonomia de energia através de baterias.

O enfoque desse trabalho tem uma abordagem quali-quantitativo, pois tem o interesse de criar um modelo capaz de realizar um monitoramento do comportamento de pessoas que moram em domicílios unipessoais de forma remota e não intrusiva, com auxílio de dispositivos eletrônicos de baixo custo.

1.9 Organização da Dissertação de Mestrado:

- **Capítulo 1 - Introdução:** Nesse capítulo é possível visualizar a contextualização no qual a pesquisa proposta está inserida. Apresenta,

portanto, a definição do problema, objetivos e justificativas da pesquisa, ou seja, como essa dissertação de mestrado está estruturada;

- **Capítulo 2 – Fundamentação Teórica:** Detalha os fundamentos teóricos relevantes desse trabalho: Redes de Sensores Sem Fio e Tecnologia *Zigbee*;
- **Capítulo 3 – Modelo Proposto:** Apresenta o modelo proposto, detalhando sua arquitetura e funcionamento dos dispositivos eletrônicos;
- **Capítulo 4 – Experimentos com o Modelo:** Descreve os experimentos realizados com o sistema no ambiente real e em laboratório;
- **Capítulo 5 – Considerações Finais:** Apresenta as conclusões, contribuições e algumas sugestões de atividades de pesquisa a serem desenvolvidas no futuro.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Introdução

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos que nortearam este trabalho, organizados no seguinte formato: no primeiro momento são apresentados os conceitos da computação pervasiva, bem como as suas características, e em seguida sistemas embarcados. Posteriormente, são apresentados os tipos de sensores utilizados no projeto, como o sensor de movimentação e o sensor de temperatura ambiente, rede de comunicação sem fio e a importância do consumo de energia, o padrão de protocolo de comunicação *bluetooth*, *ANT+* e *zigbee*, e por fim, os softwares utilitários *XCTU*, *processing* e *teamviewer*.

2.2 Computação Pervasiva

A computação pervasiva trata do acesso à computação de qualquer lugar (“*anywhere*”), a qualquer momento (“*anytime*”) e de qualquer dispositivo (“*any device*”), de forma transparente ao usuário. Assim, os dispositivos que cercam as pessoas têm a capacidade de trocar informações entre si para prover serviços computacional, de forma invisível (WEISER, 1991; NOGUEIRA et al., 2012). Logo, o computador assume o papel de obter informações do ambiente e utilizá-la dinamicamente para controlar, configurar e ajustar a aplicação para melhor atender às necessidades do dispositivo e/ou usuário.

Para Coutaz (2008), Juan Ye, et al. (2011) e Nogueira et al., (2012), é importante que a tecnologia utilizada nesse ambiente tenha a possibilidade de detectar outros dispositivos que venham a fazer parte da mesma estrutura. Com

essa interação, é possível os computadores agirem de forma “inteligente” nos espaços que os usuários se movem, sendo definido como uma estrutura povoada por sensores, provendo serviços úteis aos usuários de forma transparente, sem a interferência direta do indivíduo, proporcionando também, um ambiente computacional com grande variedade de dispositivos de diversos tipos, móveis ou fixos aplicações e serviços interconectados.

2.3 Sistemas Embarcados

Adicionar capacidade computacional dentro de um circuito integrado, equipamento ou sistema, é uma definição para sistemas embarcados. Contudo, é possível entender que sistema embarcado é um sistema completo e independente, mas desenvolvido para realizar uma determinada tarefa (BALL, 2005).

De acordo com a perspectiva de Ball (2005), o sistema pode ser considerado embarcado, quando este é dedicado a uma única tarefa e interage continuamente com o ambiente a sua volta por meio de sensores e atuadores. Por existir uma interação contínua com o ambiente, este tipo de sistema requer do desenvolvedor um conhecimento em programação, sistemas digitais, noções de controle de processos, sistemas de tempo real, tecnologias de aquisição de dados (conversão analógico/digital e sensores) e de atuadores (conversão digital/analógico, acionamento eletromecânico).

Para Jobstraibizer (2010) a palavra embarcado está relacionada ao fato de ser uma parte funcional de um sistema como um todo, ou seja, um *software* embarcado é responsável por uma determinada função em um sistema maior de maneira contínua e na maioria das vezes sem travamentos. Diferente dos computadores pessoais, um sistema embarcado executa instruções com fins específicos.

2.4 Sensores

Segundo Ruiz et al., (2004), sensores são dispositivos que recebem e respondem a sinais ou estímulos. Os nós sensores são compostos por unidade de comunicação, unidade de energia, unidade de sensoriamento e unidade de computação. Os nós sensores tendem a ser projetados com pequenas dimensões e

esta limitação de tamanho acaba impondo limitações nos recursos dos nós, tais como capacidade da fonte de energia, processador e transceptor.

Fraden (2010) apresenta a sua análise e conceito trazendo a definição que sensor é um dispositivo que recebe um estímulo e responde com um sinal elétrico. Já Soussa (2015) define estímulo como uma quantidade, propriedade ou condição que é percebida e convertida em um sinal elétrico.

Os sensores podem ser classificados de várias formas, dependendo do propósito. Eles podem, por exemplo, ser classificados de acordo com o material, podendo ser inorgânicos ou orgânicos e suas subcategorias; de acordo com a forma de detecção, que pode ser biológica, química, elétrica, magnética, dentre outras; de acordo com o estímulo, que pode ser acústico, ótico, elétrico, mecânico, dentre outros (FRADEN, 2010).

Sensor é um termo empregado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica ou cinética, relacionando informações sobre uma grandeza que precisa ser medida, como: temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, et al. Essas grandezas são chamadas de variáveis (THOMAZINI, 2011).

Segundo Jobstraibizer (2010), os sensores estão se tornando cada vez menores, com custo baixo, não intrusivos, com a capacidade de se comunicarem por interfaces sem fio, sem assistência humana direta, e estão atuando de modo colaborativo. São características responsáveis pelo aumento significativo desses dispositivos em importantes projetos de monitoramento.

Entre os mais variados tipos de sensores de ambientes existentes com características não intrusiva e com custo baixo, foram escolhidos para atender a proposta desse trabalho, os sensores de movimentação e temperatura ambiente.

A escolha pelo uso dos sensores citados anteriormente é justificada pela necessidade apresentada nesse projeto, que é de capturar a frequente movimentação do indivíduo, que permite confirmar que a pessoa está viva no ambiente. O que levou a decisão pelo uso de sensor de temperatura ambiente, foi a à sua capacidade de identificar temperaturas que podem oferecer riscos à saúde da pessoa monitorada.

A seguir, serão apresentados detalhes dos sensores supracitados.

2.4.1 Sensor de Movimento

O dispositivo eletrônico utilizado nesse projeto para capturar as frequentes movimentações do indivíduo por entre os cômodos da residência unipessoal, foi o *Passive Infrared* – PIR, um tipo de sensor eletrônico infravermelho que funciona basicamente com a detecção da diferença de temperatura entre a superfície do objeto em movimento e do ambiente monitorado conforme (REPAS, 2013) e (FRADEN, 2010). Todo objeto emite uma radiação térmica, que não é visível ao olho humano, mas é perceptível pelas células piroelétricas no núcleo do sensor PIR. Esses sensores são configurados para trabalhar no modo diferencial, de modo que possam detectar apenas a radiação emitida por um corpo em movimento e possam descontar o impacto da radiação emitida pelas fontes de calor existentes no ambiente. Além disso, filtros infravermelhos que deixam passar apenas temperaturas na faixa emitida pelo corpo humano (8-14 μ m), são colocados na frente do elemento piroelétrico.

2.4.2 Sensor de Temperatura

O sensor DHT11 foi o dispositivo utilizado nesse projeto para a medição da temperatura do ambiente unipessoal. É um sensor resistivo (*termistor*, NTC) com coeficiente de temperatura negativo integrado com um circuito de leitura digital. Suas principais características são adequadas ao monitoramento de temperatura de uma residência: baixo custo, faixa de operação entre 0-50°C, resolução de 1°C e tempo de resposta entre 6-30s (D-Robotics, 2010).

2.5 Redes de Sensores Sem Fio

Ao longo dos últimos anos, as Redes de Sensores sem Fio (RSSF) estão cada vez mais presentes em diferentes ambientes e é a tendência em automação, principalmente residencial (DUCATEL, K. et al., 2010). É também o primeiro exemplo no mundo real de computação ubíqua (NOGUEIRA et al. 2012), computação que envolve a presença direta e constante da informática e tecnologia na vida dos indivíduos.

As Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs), como o próprio nome diz, consistem numa coleção de dispositivos com capacidade computacional, de sensoriamento e comunicação sem fio. As RSSFs normalmente possuem um grande número de dispositivos distribuídos em um ambiente, possuem restrições de energia, e devem possuir mecanismos para autoconfiguração e adaptação, devido a problemas como falhas de comunicação e perda de nós, características opostas da rede de computadores tradicionais (KARL, 2004).

Para Akhtar et al., (2015), uma rede de Sensores Sem Fio (RSSF) é constituída por dispositivos eletrônicos pequenos, de baixo custo e de baixa potência, que são implantados em uma região para monitorar diferentes aspectos do ambiente.

Conforme Akhtar et al., (2015), os quatro componentes básicos do nó sensor são: uma unidade de detecção utilizada para a aquisição de dados a partir do meio ambiente e convertendo-a em dados digitais, uma unidade de processamento para processar os dados e armazenar os resultados, e uma unidade de emissor-receptor para o intercâmbio de dados com outros nós ou o usuário final. Enfim, há uma unidade de alimentação que consiste de um dissipador de energia (bateria, condensador ou ambos) e de gestão de energia que controla as rotas de energia para todo o nó.

2.5.1 Comunicação

Nas Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs), os sensores recolhem os dados a partir do ambiente onde são processados e transmitidos para um dispositivo central de monitoramento. Esse dispositivo central não tem restrições de recursos e é responsável pela coleta de informações sobre a rede (ESTRIN et al., 1999; POTTIE e KAISER, 2000).

As Redes de Sensores sem Fio (RSSFs) podem operar por períodos de tempo, variando de semana a anos de forma autônoma, sem a necessidade de intervenções físicas. Isso depende fundamentalmente da quantidade de energia disponível para cada sensor na rede (GUIDONI, 2012).

2.5.2 Consumo de Energia

As Redes de Sensores Sem Fio diferem das redes tradicionais *ad hoc* e sem fio (*WiFi* e *WiMax*) por diversos fatores: limitação de energia, localização dinâmica, não requer uma topologia previamente definida, podem ser extremamente densas e podem trabalhar de forma colaborativa, uma vez que um nó sensor pode encaminhar as informações para outro nó sensor até que essa informação chegue ao destino (MINI e LOUREIRO, 2008).

O gerenciamento da energia é um dos fatores mais importantes em uma RSSF. As operações que mais consomem energia em uma RSSF são a transmissão e recepção dos dados (MINI e LOUREIRO, 2008). Em geral, a ocorrência de uma transmissão consome mais energia do que o processamento de dados (ARAUJO; VILLAS; BOUKERCHE, 2007). Entende-se que, por este motivo, é possível encontrar trabalhos em desenvolvimento com o objetivo de reduzir o consumo dos nós sensores (ARAUJO; VILLAS; BOUKERCHE, 2007, GUIDONI, 2012, DEMENTYEV, et al., 2013, RAULT, et al., 2014 e AKHTAR et al., 2015).

Conforme Akhtar et al., (2015), a maneira de prolongar o tempo de vida da rede de sensores seria a de substituir periodicamente as pilhas de todos ou alguns dos nós sensores implantados, porém, essa tarefa de substituição frequente de baterias será uma ação cansativa e até pode não ser possível em ambientes com acesso limitado, como em reserva florestal, oceanos e/ou vulcões, localidades onde precisam obter o máximo de autonomia possível. Além disso, a falha de um dispositivo eletrônico pode ter um impacto significativo por semanas, meses e anos sobre o desempenho de toda rede de sensores sem fio.

Varias estratégias foram desenvolvidas para lidar com o consumo de energia em rede de sensores. A concepção de Akhtar et al., (2015), é na captação de energia provenientes de fontes renováveis, bem como recursos energéticos tradicionais em sensor sustentáveis em redes sem fio. Ilavarasan. S et al., (2015), utilizam uma abordagem híbrida com períodos de “dormir” e priorização, agregação e agendamento da transmissão de dados. A integração cuidadosa das funcionalidades, com o objetivo de alcançar a máxima eficiência, em relação ao consumo de gestão de energia é abordada por Guidoni et al. (2012).

A necessidade de reduzir o consumo de energia das RSSF levou ao desenvolvimento de novos padrões de protocolos de baixo consumo de energia na

última década (DEMENTYEV, et al., 2013 e RAULT, et al., 2014). Entre eles, destacam-se: *ANT*, *Bluetooth Low Energy* e *Zigbee*, que estão descritos a seguir.

2.5.3 Bluetooth

A tecnologia *bluetooth* foi desenvolvida em 1994. Logo após, um grupo de empresas começou a usá-la e criou um grupo de interesse especial (SIG), com o objetivo de manter e melhorar essa tecnologia que se tornava, naquele momento, uma tendência de mercado (MAHMOOD, et al., 2015).

Para Peterson e Davie (2003), a tecnologia *bluetooth* é considerada uma tecnologia de curto alcance, via processo de comunicação digital, que propicia conexão sem fio para terminais móveis. O padrão *bluetooth* opera em 2,4 GHz (gigahertz), utiliza o *Frequency Hopping Spread Spectrum* - FHSS e modulação *Gaussian Frequency Shift Keying* - GFSK, resultando em uma velocidade de link bruto de 1 Mbps e um máximo de 721 Kbps para a taxa de dados do usuário na ligação assimétrica. A largura de banda de canal de voz é de 64 Kbps. O intervalo nominal de ligação é de 10 cm a 10 m, mas pode ser estendida para 100 m, aumentando a potência de transmissão. (BLU, 2004) e (KUORILEHTO, et al., 2008).

A tecnologia *bluetooth* é composta por várias camadas de protocolos que vão desde a camada física até a camada de serviços. A comunicação entre os dispositivos do mesmo padrão de protocolo pode ser ponto-a-ponto ou ponto-a-multiponto, e unidades podem permanecer sincronizadas com a rede enquanto está em um modo de economia de energia (KUORILEHTO, et al., 2008).

Para Somani et al., (2012), a tecnologia *bluetooth* vem sendo utilizada amplamente nos projetos de comunicação sem fio, onde a área geograficamente em pequena escala é relevante. Mas, essa tecnologia apresenta uma série de desvantagens, como: a complexidade, a dissipação de energia grande e cobertura em curta distância.

É possível compreender, nas abordagens realizadas nesse trabalho, que o alto consumo de energia da tecnologia *bluetooth* requer maior atenção por parte dos desenvolvedores. Desta forma, em 2010, foi introduzida, como parte do núcleo *Bluetooth 4.0*, a especificação *Bluetooth Low Energy* – BLE, com o objetivo de permitir que produtos desta tecnologia apresentassem um menor consumo de energia, complexidade e menor custo em relação ao *bluetooth* clássico

(MIKHAYLOV, et al., 2013; SIEKKINEN, et al., 2012). Atualmente, esse padrão de comunicação se encontra na versão 4.1, trazendo melhorias quanto à redução de interferências com a última geração de tecnologia de celulares *Long Term Evolution* – LTE, além de correções no intervalo de tempo entre uma conexão e uma reconexão dos dispositivos.

Zhang, et al., Masuch, et al., Wong, et al. (2012) fazem uma discussão referente a implementação dos componentes BLE, nos seus projetos, disponibilizam sugestões de como implementar recursos BLE e apresenta um novo chip transceptor de baixa potência que suporta três protocolos diferentes, incluindo BLE respectivamente.

2.5.4 ANT

Conforme ANT+ Alliance (2015), se trata de um padrão de protocolo de comunicação sem fio de baixa potência, que permite o seu funcionamento na faixa de banda de 2,4 GHz, como os padrões *Wi-Fi* e *Bluetooth*. De acordo com ANT+ Alliance (2015), esse padrão de protocolo fornece conectividade entre dispositivos, incluindo: Frequência Cardíaca, Monitoração da Pressão Arterial, Sensores de Oxigênio Muscular, Equipamentos de Ginástica, et al.

Para ANT+ Alliance (2015), as características como: tamanho e flexibilidade, possibilitam a criação de inúmeras topologias de redes sem fio, como a compatibilidade com centenas de dispositivos para transmissão de um número infinito de receptores, o baixo consumo de energia e uma menor interferência, fizeram desse protocolo uma tendência no mercado internacional em relação ao padrão *Bluetooth*.

2.5.5 Zigbee

Segundo Farahani (2008), *zigbee* é um padrão que define um conjunto de protocolos de comunicação para baixa taxa de dados, direcionado principalmente para aplicações alimentadas por bateria de longa duração e se destaca nos projetos de monitoramento, com as suas arquiteturas de redes, baixo consumo de energia, simplicidade e interoperabilidade com uma variedade de produtos, além da capacidade de auto ajuste.

A tecnologia *zigbee* foi concebida e desenvolvida para redes de sensores e controles baseados em um padrão e é otimizado para atender a essas exigências e funcionar de forma confiável. A estrutura de uma rede de monitoramento deve ser confiável, tolerar problemas como interferências e a falha individual de um componente, baixo custo, pouco consumo de energia, fácil instalação e funcionamento (ZIGBEE ALLIANCE, 2011).

Enfim, as características desta tecnologia, que são apresentadas a seguir, foram fatores que justificaram diretamente na escolha para esse projeto, pois, esse padrão de comunicação *wireless zigbee* foi desenvolvido para satisfazer a demanda de dissipação de baixa potência e baixa velocidade entre os dispositivos de comunicação sem fio (SOMANI et al., 2012).

2.5.5.1 Histórico

Para Kleinschmidt (2008), a tecnologia *zigbee*, inicialmente, foi desenvolvida pela *philips* e, logo após, gerenciada pelo grupo de empresas denominado ZigBee™ Alliance. Dentre estas empresas, podem ser mencionadas: Agere Systems; AMI Semiconductor; Atmel; Eaton; ENQ Semiconductor; Integration Associates; Microchip; Technology; Mitsubshi Electronic Industrial; Motorola; e Philips Semiconductors.

A identificação *zigbee* foi definida a partir da analogia entre o modo operacional de uma rede em malha, e o modo como as abelhas trabalham e se locomovem. As abelhas que vivem em colmeia voam em *zig-zag*, e, dessa forma, durante um voo a trabalho, em busca de néctar, trocam informações com outros membros da colônia sobre distância, direção e localização, de onde encontrar alimentos (ZIGBEE ALLIANCE, 2011).

O padrão de comunicação *zigbee* com o conceito de rede, economia de energia e segurança, está cada vez sendo utilizado nos mais diversos projetos de monitoramento remoto com inúmeros dispositivos eletrônicos. O *zigbee* é um pacote de especificações abertas (não-proprietárias) para comunicação sem fio, projetadas pelo consórcio Zigbee Alliance, de modo a permitir a compatibilidade e a comunicação entre aparelhos sem fio de diferentes fabricantes (ZIGBEE ALLIANCE, 2011).

2.5.5.2 Descrição Geral

A proposta do padrão *zigbee* foi se tornar uma alternativa de comunicação em redes sem fio que não necessitem de soluções complexas para seu controle, barateando assim os custos com a aquisição, instalação de equipamentos, manutenção e mão de obra. Essa tecnologia é relativamente simples, utiliza um padrão de pacotes de dados com características específicas, sendo projetado para oferecer maior flexibilidade (ZIGBEE ALLIANCE, 2011).

Para Zigbee Alliance (2011), o Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos - IEEE ficou responsável pela criação das duas camadas mais baixas da tecnologia *zigbee*, enquanto que a Zigbee Alliance trabalhava nas camadas superiores conforme pode ser visto na Figura 2.

APLICAÇÃO		ZIGBEE ALLIANCE
IEEE 802.15.4 LLC		
IEEE 802.15.4 - MAC		
IEEE 802.15.4 868/915 MHZ PHY	IEEE 802.15.4 2.400 MHZ PHY	IEEE 802.15.4

Figura 32: Pilha de Protocolo IEEE 802.15.4 Fonte: Autor.

De acordo com Farahani (2011) o padrão de protocolo IEEE 802.15.4 foi homologado em maio de 2003 com a seguinte estrutura: a camada física (PHY) responsável por permitir a transmissão das PDUs (*Protocol Data Units*), unidades de dados, através de ondas de rádio e a camada de acesso ao meio (MAC) responsável pelo processo do encapsulamento dos dados vindo das camadas superiores preparando-os para serem transmitidos.

Na Figura 3 é possível visualizar o formato da PDU após a manipulação da camada física composto basicamente por um sinal de sincronismo (SHR), um bloco de informação (PHR) e um bloco de *payload* que representa a PDU vinda da camada superior de enlace.

Bytes	4	1	1	n
Camada Física	Sequência de Preâmbulo	Delimitador de início de quadro	Comprimento do quadro	MAC PDU
	SHR		PHR	
	6+n			
	PHY PDU			

Figura 43: Formato da PDU 802.15.4. Fonte: IEEE (2003)

Segundo Bolzani (2010), esse padrão disponibiliza interfaces com velocidades de conexão de 250 Kbps, e com um raio de transmissão entre 10m e 3000m, dependendo de fatores como a potência dos equipamentos e de características ambientais (obstáculos físicos, interferência eletromagnética, et al.).

Para Bolzani (2010), a definição do padrão *zigbee* varia desde o *hardware* a ser utilizado na comunicação (o rádio IEEE 802.15.4, de baixa potência), até o protocolo para comandar a execução das ações próprias de cada tipo de aparelho, baseado no paradigma cliente/servidor. As características técnicas dos módulos *zigbee* e a existência de protocolos que permitem a interoperabilidade entre aparelhos de diferentes fabricantes, são fatores que fazem dessa tecnologia um padrão muito promissor para automação residencial.

Todos os dispositivos eletrônicos de uma rede *zigbee* utilizam o rádio digital IEEE 802.15.4, padrão específico para rádios de redes sem fio de banda estreita de transmissão.

Para Kleinschmidt (2008) e Bolzani (2010), o padrão *zigbee* opera em três bandas, a saber: 2,4GHz, mundialmente utilizada; 868 MHz, muito utilizada na Europa; e 902 a 928 MHz, mais utilizada nos Estados Unidos da América – EUA. A taxa de transmissão do padrão é de até 250 kbps. Na Tabela 1 é possível visualizar as principais diferenças das tecnologias *wireless* mais utilizadas e eficiência do padrão IEEE 802.15.4 em relação ao padrão IEE 802.15.1, mesmo fornecendo menores taxas de transmissão de dados.

Tabela 1: Diferenças entre as principais tecnologias Wireless.
 Fonte: Adaptado de BOLZANI, (2010) e DEMENTYEV, Artem et al. (2013).

TECNOLOGIAS	BLUETOOTH	Bluetooth Low Energy – BLE 4.0	WIFI	ANT +	ZIGBEE
ESPECIFICAÇÕES	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.1	IEEE 802.11	ANT	IEEE 802.15.4
ALCANCE	9 m	61 m	100 m	30m	10 m a 3 Km
TAXA DE TRANSMISSÃO RF	1 Mbps	1 a 54 Mbps	54 Mbps	1 Mbps	250 Kbps
NUM NÓS	8	8	+ 100	65533	+ 65000
CONSUMO	65 a 170 mA	15 mA	350 mA	22mA	30 mA
FREQUÊNCIAS	2.4 GHZ	2.4 GHZ	2.4 a 5 GHz	2.4 GHZ	2.4 GHz, 868 MHz, 902 a 928 MHz

Uma característica importante do IEEE 802.15.4 é a possibilidade da formação de uma topologia física de rede tipo malha, em que dois rádios distantes entre si se comunicam utilizando rádios intermediários como retransmissores. Assim, o servidor de aplicação pode monitorar todos os dispositivos *zigbee* remotamente, mesmo que estes não estejam ao seu alcance direto (Bolzani, 2010). Permitir que os dispositivos *zigbee* entrem ou saiam da rede quando requisitados, define as especificações *zigbee* como uma rede dinâmica e ativa, que atende a proposta desse trabalho.

A topologia *zigbee* dispõe de rotas ou caminhos alternativos possíveis entre cada nó da rede para a passagem da informação. Assim, é possível eliminar falhas se um nó estiver inoperante, simplesmente mudando o percurso da informação.

Segundo Zigbee Alliance (2011) foi definido pela IEEE dois tipos de configuração para os dispositivos em uma rede *zigbee* com relação as topologias:

- ❖ *Full Function Device – FFD* que permite funcionar na topologia do padrão 802.15.4, desempenhando a função de coordenador e tem comunicação com os outros dispositivos da mesma rede;
- ❖ *Reduced Function Device – RFD* considerada limitada em configuração com a topologia estrela, não permitindo atuar como um coordenador da rede.

Enfim, na topologia física estrela, uma rede de comunicação *zigbee* é necessário a presença de um dispositivo *FFD* definido como coordenador da rede e os demais dispositivos como *RFD*. Para as topologias *peer-to-peer* e em árvore, todos os dispositivos devem ser definidos como *FFD*.

O grupo de empresas que participam da Zigbee Alliance disponibilizam no mercado comercial módulos baseados no protocolo *zigbee*, com destaque para módulos UBee Max; XBee; e XBee Pro. Esses módulos apresentam algumas diferenças, tais como, potência na transmissão; alcance; consumo de corrente na transmissão; consumo de corrente na recepção (DIGI INTERNACIONAL, 2012 e UBEE MAX, 2012). Na Tabela 2 é possível visualizar as principais características e diferenças entre os módulos.

Tabela 2: Principais diferenças entre os módulos XBee, XBee Pro e UBee Max.
Fonte: Adaptado de DIGI INTERNACIONAL, (2012) e UBEE MAX, (2012).

MÓDULOS	XBee	XBee Pro	UBee MAX
POTÊNCIA DE TRANSMISSÃO	2,0 mW	50 mW	150 mW
ALCANCE	120 m	3,2 Km	1,3 Km
CORRENTE DE TRANSMISSÃO	40 mA	295 mA	33 mA
CORRENTE DE RECEPÇÃO	40 mA	45 mA	28 mA
CORRENTE COM RECEPTOR DESLIGADO	15 mA	15 mA	-
CORRENTE PARA XBEE DESLIGADO	<1 μ A	3.5 μ A	50 μ A

2.5.5.3 Modo de Operação

Segundo Ferraz, David et al., (2010), os módulos XBee e XBee Pro apresentam modo de operação *Application Programming Interface* - API e modo de operação transparente - AT. No modo de operação transparente, o dispositivo atua simplesmente como um substituto da linha de comunicação serial. Assim, todos os dados que são recebidos via interface serial RS232 no pino de entrada (DIN), são transmitidos via Rádio Frequência (RF) para o módulo de destino. Da mesma maneira, os dados que chegam por meio da antena RF são direcionados ao pino de saída (DOUT) (DIGI, 2012).

Neste modo de operação, os comandos de configuração só podem ser recebidos localmente, por intermédio da interface serial RS232, o que impossibilita a

configuração e a utilização à distância dos periféricos contidos no *xbee* (entradas e saídas digitais, conversores AD, et al). Também não é possível identificar o endereço de origem de dados recebidos, ou receber mensagens de *status* indicando o sucesso ou a natureza de uma falha na transmissão (FERRAZ, DAVID et al., 2010).

No modo de operação *Application Programming Interface* - API o funcionamento é semelhante, porém, são baseados em quadros, em que definem as operações ou eventos a serem realizados pelo dispositivo. Este modo tem a vantagem de enviar quadros para vários dispositivos, como também verificar o status do recebimento dos dados e identificar a origem de cada pacote (DIGI, 2012).

Nesse trabalho, optou-se em utilizar o modo API, pois, identificar os pacotes enviados por cada rádio é uma necessidade durante a análise dos dados coletados na rede.

2.5.5.4 Tipos de Dispositivos

Na tecnologia *zigbee* existem três tipos de dispositivos no que se refere à montagem e operação da rede (ZIGBEE ALLIANCE, 2011) e (SOMANI et al., 2012):

- ❖ Coordenador (*coordinator*);
- ❖ Roteador (*router*);
- ❖ Dispositivo final (*end device*).

O coordenador é um dispositivo que opera na função FFD, enquanto que o dispositivo roteador e/ou dispositivo final são RFD como descritos na sessão 2.5.5.2.

O dispositivo coordenador é aquele responsável em iniciar a rede, organizar e endereçar os *end points*, definindo um número identificador de rede e o canal (frequência específica) a ser utilizado para a comunicação, esperando que outros dispositivos se conectem a ele, podendo enviar ou receber dados dos mesmos (MAXSTREAM, 2007), (DIGI, 2012) e (SOMANI et al., 2012).

O dispositivo roteador pode atuar semelhante ao coordenador, monitorando e controlando, com a finalidade de aumentar fisicamente o tamanho da rede. Esse dispositivo permite se conectar com quaisquer outros dispositivos, de modo a servir de rota para dados transmitidos entre dispositivos fisicamente distantes na rede,

levando em consideração as entradas registradas na tabela de roteamento que tem finalidade de reduzir o tempo e custo da comunicação (MAXSTREAM, 2007), (DIGI, 2012) e (SOMANI et al., 2012).

O dispositivo final pode se conectar a somente um roteador ou coordenador, não podendo, assim, retransmitir dados vindos de outros dispositivos, mas apenas receber e enviar dados ao roteador a que está conectado. Esse dispositivo semelhante ao coordenador não possui tabela de roteamento (MAXSTREAM, 2007), (DIGI, 2012) e (SOMANI et al., 2012).

Para Pinheiro (2009), a tecnologia *zigbee* surge como uma alternativa viável que possibilita a utilização dos sistemas de controle sem fio em dispositivos mais simples. É possível notar no mercado tecnológico o crescente número de aplicações que utilizam essa tecnologia.

A proposta da construção da arquitetura da rede nesse projeto foi apresentar a viabilidade técnica e financeira de se monitorar movimentos de pessoas em ambientes unipessoais, com custo baixo de forma não intrusiva. Pelas razões apresentadas, as especificações *zigbee* foram escolhidas para serem implementadas no ambiente propostos neste trabalho.

2.5.5.5 Modo de Consumo de Energia

De acordo com Akhtar et al., (2015), quanto ao problema de alimentação nas redes de sensores sem fio, os dispositivos eletrônicos podem ser alimentados até mesmo por baterias (pilhas) comuns, sendo que sua vida útil está relacionada diretamente com a capacidade da bateria e a aplicação a que se destina. Nesse aspecto, o padrão *zigbee* foi projetado para suportar aplicações com o mínimo de consumo, que segundo Caprile (2009), a corrente de operação está por volta de 40mA, tanto para transmissão quanto para recepção a tensão de operação é de 3 a 3,3Vcc. Uma referência alta para o consumo de energia dos dispositivos eletrônicos utilizados nesse projeto, porém, o que é considerado relevante nesse trabalho é o valor do estado inativo.

Dementyev, Artem et al. (2013), criaram um cenário envolvendo as tecnologias *Bluetooth Low Energy*, *ZigBee* e *ANT*, com objetivo de analisar o consumo de energia no estado inativo em diferentes intervalos desses protocolos. Os autores afirmam através dos resultados obtidos no seu trabalho que o protocolo

BLE apresentou menor consumo de corrente do que os protocolos *ANT* e *ZigBee* para todos os intervalos inativos. Foi possível também visualizar que o protocolo *zigbee* mostrou um menor consumo de energia do que o *ANT* para todos os períodos dos experimentos, enfim, o consumo de energia global da tecnologia *zigbee* foi menor em relação aos outros protocolos utilizados na experiência. Para Dementyev, Artem et al. (2013), a corrente ativa para o protocolo *zigbee* foi de 9,3 mA e a inativa foi de 4,18 mA. Os valores apresentados, justifica a decisão em utilizar nesse projeto, o protocolo *zigbee* como rede de comunicação.

A configuração do modo de consumo de energia é outra abordagem utilizada neste trabalho para economizar energia dos dispositivos que compõe a rede de sensores sem fio, um aspecto relevante, que consiste em desligar o rádio nos momentos que o nó estiver em estado inativo.

Segundo DIGI (2012), é possível contar com cinco modos de operação do rádio *XBee*: *Idle*, *Transmit*, *Receive*, *Command* e *Sleep*. Por padrão, o rádio permanece no modo *Idle* quando não está em operação de envio e recebimento de dados. A partir desse modo, ele poderá mudar para os modos *Transmit*, quando necessitar transmitir dados; *Receive*, quando um pacote de dados válido for recebido pela antena; *Command*, quando está em modo para receber instruções de controle e configuração do rádio e *sleep*, quando o rádio fica em estado de dormência, ou seja, permite que o dispositivo entre em estado de baixo consumo de energia quando não estiver em uso.

Para Digi (2012), é possível configurar dois modos de repouso quando o *firmware* do rádio for definido como dispositivo final (*End Device*) que são:

- ✓ *Pin Sleep*
- ✓ *Cyclic Sleep*

O *pin sleep* entra do modo de dormência após receber um nível alto de tensão no pino 9 do rádio. O tempo necessário para mudar do modo de dormência para o modo ativo (*wake-up*) é de 13,2 ms. É o modo com maior economia de energia. O rádio pode, então, ser controlado externamente por um evento ou por um microcontrolador ligado ao pino 9. Esse modo tem um consumo de energia menor do que 10 μ A quando é utilizado no estado de dormência. Nesse modo, quando é aplicado um nível de tensão *CMOS* de 3,3 volts, o rádio entra no estado de dormência e quando esse nível de tensão é retirado, ele volta à sua condição normal

de operação. O rádio, no entanto, só volta ao nível de dormência após todos os dados em seu *buffer* sejam transmitidos, (DIGI, 2012).

O *cyclic sleep* possui o mesmo nível de economia de energia, porém, entra em estado de dormência após um determinado tempo ocioso, configurado pelo parâmetro *SP* e acorda durante um período, especificado pelo parâmetro *ST* (DIGI, 2012).

Os rádios definidos no seu *firmware* como coordenador (*coordinator*) ou roteador (*router*) podem exigir algumas configurações antes da sua real operação. Os valores a serem configurados dependem do tempo de sono utilizado nos dispositivos finais (*end devices*), ou seja, para o correto funcionamento é importante que os valores tanto para o coordenador quanto para os rádios sejam iguais (DIGI, 2012).

O resultado da hibernação temporária é, sem dúvida, bastante expressivo quando o assunto é consumo de energia, porém, alguns cuidados devem ser tomados, principalmente com relação ao custo de reativação e o tempo de hibernação do sistema (CAPRILE, 2009).

Castilho (2009) faz uma abordagem às características não lineares das baterias, em que a taxa constante de descarga de uma bateria diminui consideravelmente o tempo de vida do nó sensor. Castilho criou um protocolo ciente das características não lineares, permitindo o desligamento do nó de tempos em tempos para que a bateria pudesse reordenar os íons (efeito de recarga), provendo um aumento do tempo de atividade da rede. Isto afirma a necessidade de se desligar ou, pelo menos, hibernar todos os componentes da rede por um determinado período.

Ao se ter uma alta taxa de consumo de energia, o fato de cessar, ou pelo menos diminuir esse consumo por um determinado período, pode aumentar o tempo de vida do nó sensor.

2.6 Utilitário XCTU

O *XCTU* é um *software* que disponibiliza ferramentas necessárias que um desenvolvedor precisa para obter rapidamente instalado e funcionando os dispositivos eletrônicos *xbee*. Características ideal para esse projeto e de fácil entendimento, como visão de rede gráfica, o que representa graficamente a rede

xbee, juntamente com a força do sinal de cada conexão, e o construtor quadro API *xbee*, que intuitivamente ajuda a construir e interpretar quadros API para *xbee* sendo usado no modo API, combinam-se para tornar o desenvolvimento na plataforma *xbee* interativa (DIGI, 2012).

Para Muthulakshmi et al., (2015), o *xctu* é uma aplicação projetada para interagir com os arquivos de *firmware* encontrados em produtos de rádio frequência da Digi Internacional e proporcionar uma utilização com interface gráfica simples. O *XCTU* também foi projetado para funcionar com todos os computadores baseados em diversas plataformas de sistemas operacionais, como *Windows* e *MAC OS*.

Segundo Digi (2012), a configuração dos módulos *zigbee* para utilização da porta serial pode ser realizada mediante comandos básicos AT, comandos utilizados para alterar as configurações de modem e que são enviados por meio de um programa de emulação de terminal. Entretanto, por esta modalidade de configuração ser lenta e complexa, nesse trabalho foi definido o uso de comandos API através do *software XCTU* disponível na *Digi Internacional*.

De acordo com as informações abordadas anteriormente, este aplicativo apresenta um ambiente de configuração com interface gráfica amigável, de maneira que facilmente permite se alterar todas as opções para configuração do dispositivo e multi-plataforma livre compatível com *Windows* e *Mac OS*.

2.7 Processing

Processing é uma linguagem de programação, um ambiente de desenvolvimento e comunidade on-line. Foi criado, inicialmente, para ensinar os fundamentos da programação de computador, dentro de um contexto visual (PROCESSING.ORG, 2013).

Nesse trabalho, a aplicação foi utilizada para incluir a programação ou códigos desenvolvidos para monitorar os movimentos, em tempo real, do idoso. Decidiu-se pelo *Processing*, devido ao resultado eficiente ser caracterizado como uma linguagem de programação de código aberto e ambiente de desenvolvimento integrado – IDE de fácil manuseio.

2.8 Acesso Remoto

Para acessar remotamente o servidor e capturar os dados registrados referente a movimentação do indivíduo foi utilizado o *TeamViewer*, um pacote de *software* proprietário direcionado para acesso remoto, compartilhamento da área de trabalho, conferência online e transferência de arquivos entre computadores.

Segundo Hubalovsky (2015), o *teamviewer* é uma aplicação simples, rápida e segura, que permite realizar o controle remoto em computador pessoal e trabalho em grupo.

O *software* livre *teamviewer* é considerado uma ferramenta especial, requisitada em projetos na área de saúde, para discussão na modalidade à distância, de conteúdo no contexto de um caso clínico (SCHULTSZ et al., 2014).

Essa aplicação requer, como pré-requisito básico, um computador com uma configuração de *hardware* capaz de operar um dos seguintes sistemas operacionais: *Microsoft Windows*, *OS X*, *Linux*, *IOS*, *Android*, *Windows RT* e *Windows Phone* (TEAMVIEWER.COM, 2015).

O *teamviewer* pode ser instalado de acordo com o procedimento de instalação disponível no site www.teamviewer.com, no entanto, há disponível uma versão Suporte Rápido que pode ser executado sem a instalação.

Uma observação importante é que, para estabelecer uma conexão com outro computador, é necessário que o *teamviewer* esteja em execução nas duas máquinas; caso contrário, não terá êxito com a conexão (TEAMVIEWER.COM, 2015).

Com relação à segurança, o *teamviewer* usa sessões de encriptação RSA privada/troca de chaves públicas (1024-bit) e AES (256-bit), na configuração padrão (TEAMVIEWER.COM, 2015).

O *teamviewer* usa um dos servidores do teamviewer.com para iniciar a conexão e o roteamento de tráfego entre o cliente local e a máquina host remota. O *software* determina como estabelecer a conexão. Em 70% dos casos, depois do *handshake*, uma conexão direta via protocolo de comunicação *UDP* ou *TCP* é estabelecida, as outras conexões são roteadas via rede de roteamento *teamviewer* por *TCP* ou Tunelamento *HTTP* (TEAMVIEWER.COM, 2015).

CAPÍTULO III

3. SISTEMA PROPOSTO

Este capítulo apresenta o sistema proposto, detalhando a sua arquitetura, topologia física, seu funcionamento e principais componentes.

3.1 Visão Geral

O objetivo do sistema proposto é realizar um monitoramento remoto e não intrusivo de um indivíduo que vive em uma residência unipessoal, utilizando uma rede de sensores sem fio, distribuída pelos cômodos da residência e transmitir esses dados para um servidor remoto onde serão identificadas possíveis situações de risco à saúde do indivíduo conforme pode ser visto na Figura 4.

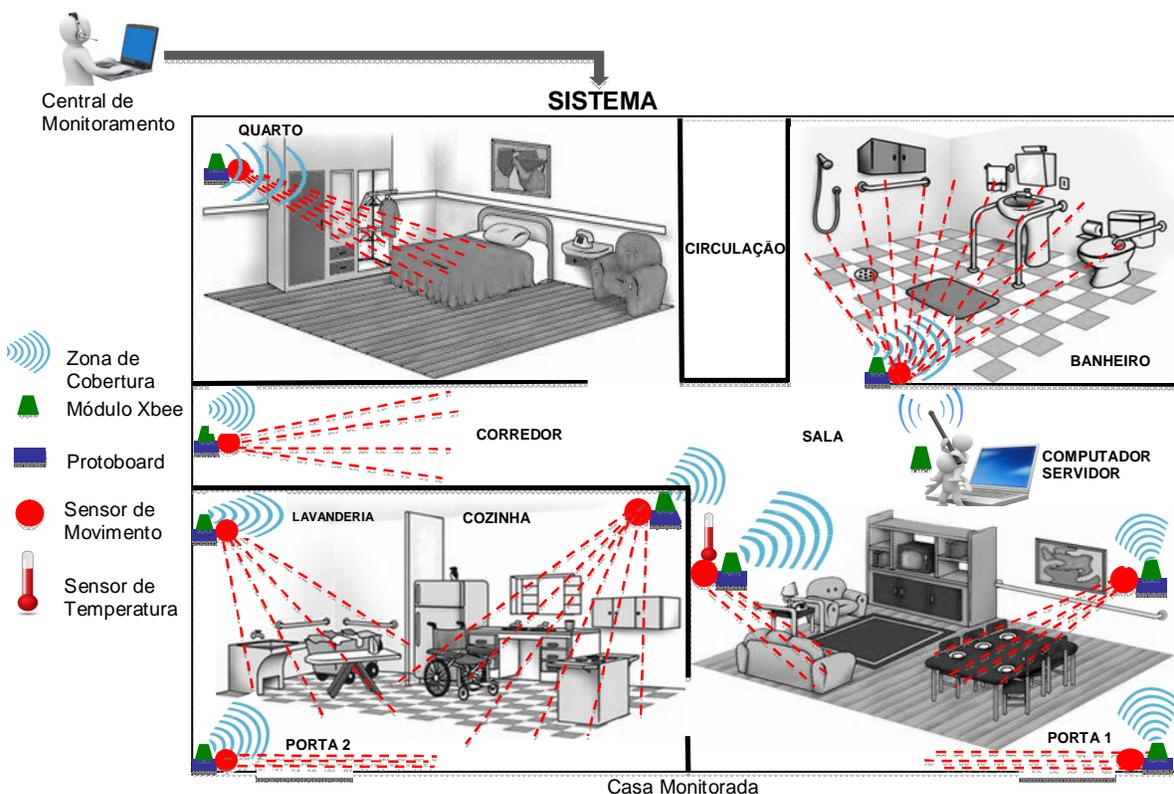


Figura 54: Visão geral do funcionamento do sistema e distribuição dos dispositivos no ambiente unipessoal. Fonte: Autor

Na Figura 4 é possível notar que em cada cômodo do ambiente foram instalados sensores de presença, posicionados e configurados de tal forma que possibilitem a cobertura da maior parte da área de movimentação do indivíduo. A comunicação dos sensores com o servidor é feita através de módulos *Xbee* presentes nos nós sensores. O servidor também utiliza um módulo *Xbee* operando no modo controlador para comunicação com os nós sensores.

Na Figura 5 é apresentado uma representação da rede de comunicação *zigbee* utilizada neste projeto, com a topologia física de estrela, composta por quatro dispositivos do padrão IEEE 802.15.4 descrito na Seção 2.5.5.2, um definido como *FFD* atuando como coordenador da rede e três como dispositivo final operando no modo RFD. É possível também visualizar a presença de um servidor responsável em capturar os dados da rede e nele manter armazenado as informações. A topologia em estrela foi escolhida por permitir que o rádio *zigbee* dos nós sensores permaneçam por longos períodos de tempo no estado de dormiência (*sleep*).

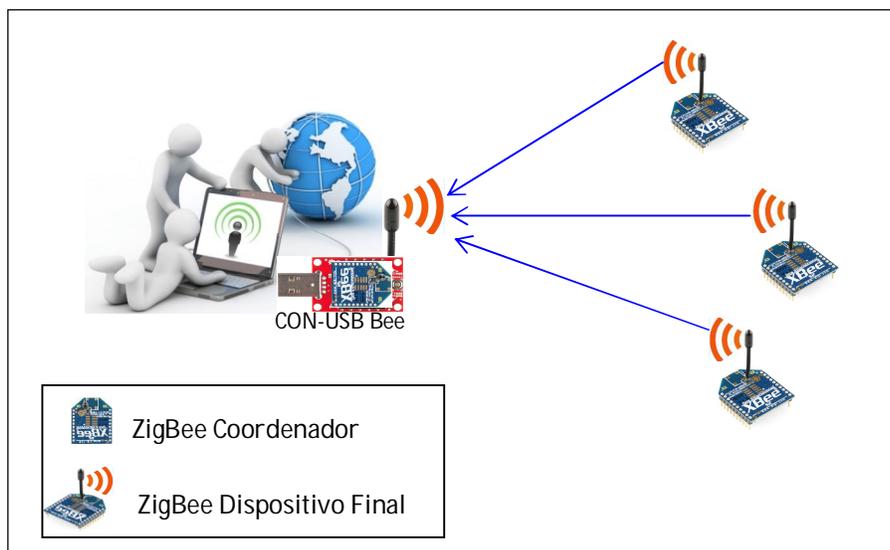


Figura 65: Rede de Comunicação sem fio com os Xbee configurados como Coordenador e Dispositivo Final. Fonte: Autor.

3.2 Variáveis de Estado e Escalas

O sistema proposto é formado por um conjunto de entidades de baixo nível interligadas, que contribuem diretamente para o correto funcionamento do sistema e que podem ser vistos na Figura 6.

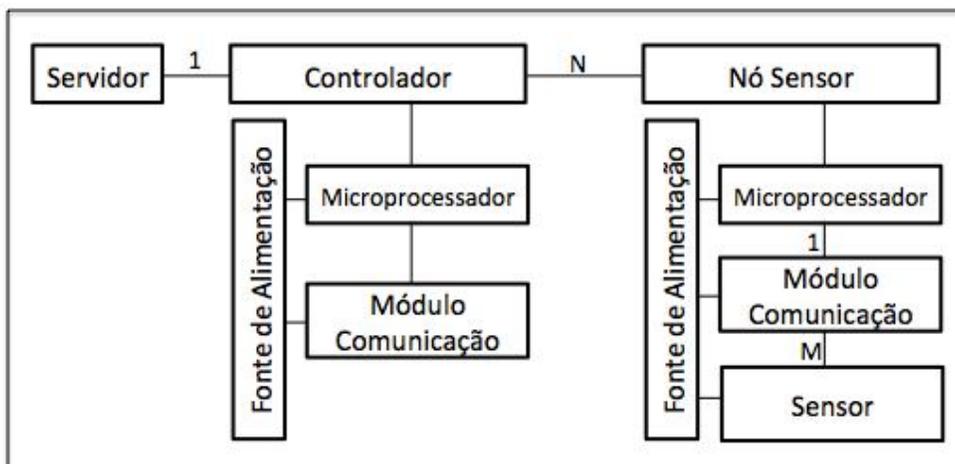


Figura 76: Relação entre as entidades do sistema. Fonte: Autor

No diagrama representado pela Figura 6 é possível perceber que em cada residência foi utilizado apenas um servidor. Nele existe a quantidade de 1 controlador, conectado a um microprocessador (opcional), um módulo de comunicação e ligado a uma fonte de alimentação. Esse grupo está diretamente conectado através de uma rede de comunicação sem fio a um conjunto (N) de nós sensores, conectados a um microprocessador (opcional), um módulo de comunicação e (M) sensores que fazem parte do cenário do sistema.

A Tabela 3 apresenta uma breve descrição dos dispositivos utilizados nesse sistema.

Tabela 3: Descrição dos dispositivos eletrônicos utilizados no ambiente do projeto. Fonte: Autor

Tipo do Dispositivo	Descrição
Sensor de Presença	Módulo sensor <i>PIR – Passive InfraRed</i> . Alcance de 7 m e ângulo de detecção de 120°. Saída digital. Dimensões: 32 mm x 24 mm x 25 mm. Peso: aproximadamente 6 gramas.
Sensor de Temperatura	Sensor Dht11 - Faixa de Temperatura: 0 até 50°C. Alimentação: 5V. Dimensões: 0,7cm x 1,7cm x 2,8cm.
Placa Arduino Pro Mini	Microcontrolador baseado no ATmega328p que roda a 16Mhz e 5v com 14 saídas/entradas digitais, 8 entradas analógicas e botão reset.
XBee 2mW Wire Antenna - Series 2 (ZigBee Mesh)	Módulo de comunicação wireless com taxa de dados 250.000 bps. Tensão de alimentação 3.0 – 3.4 volts. Dimensões 0.960 x 1.297 (2.438cm x 3.294cm). Topologia de redes ponto-a-ponto, ponto-a-multiponto e malha.
XBee Explorer Regulated	Regulação 3.3V. Condicionamento de sinal. Indicador de atividade básica (alimentação, potência do sinal medido)

	em porcentagem (Received Signal Strength Indication - RSSI e DIN / DOUT LEDs de atividade).
XBee Explorer USB	Conversor FT231X USB-to-Serial. Traduz os dados entre o computador e o XBee. Botão de reset. Regulador de tensão para abastecer o XBee com muita potência. Quatro LEDs que ajuda depurar o XBee: RX, TX, RSSI (indicador de intensidade do sinal), e com indicador de alimentação.
Switching Adapter	Fonte de Alimentação com entrada 110 – 240 VAC e saída 5.2 VDC
Regulador de Tensão	Regulador de tensão 7805 na forma de circuito integrado de três terminais. Série 7800 que pode fornecer tensões de 5 a 24 volts tipicamente com corrente de 1 ampère.
Sensor Ultrassônico	Módulo HC – SR04. Alcance varia de 2 cm à 4 m e a angulação varia de 15° a 30°. Saída digital. Dimensões: 45mm x 20mm x 15mm.

A Figura 7 mostra os principais processos e seus sub-processos para instalação e operação do sistema: A) Configuração dos Dispositivos, B) Instalação Física, C) Ativação, D) Operação E) Transmissão dos dados, F) Análise de Dados e G) Emissão de alarmes. Os itens E, F e G mostrados na Figura 7, são tratados no trabalho de SOUSSA (2015).

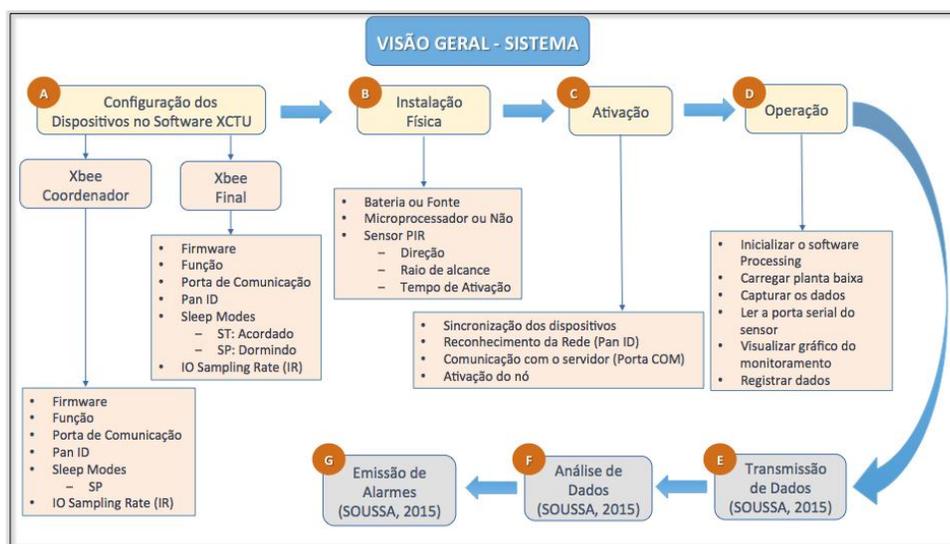


Figura 87: Visão geral do sistema proposto. Fonte: Autor

Antes do sistema ser instalado fisicamente, o modo de operação dos dispositivos precisa ser configurado no ambiente do aplicativo *Xctu*. Após essa instalação, o sistema é ativado e só então, a operação de monitoramento pode ser realizada.

3.3 Visão Detalhada

Com objetivo de obter um melhor entendimento do propósito desse projeto e conhecer os detalhes dos itens importantes que permite o correto funcionamento desse sistema, é apresentado a seguir cada parte que compõem a Figura 7.

A. Configuração dos Dispositivos

Na Figura 8 é possível visualizar os processos de configuração considerados necessários para contribuir com o reconhecimento dos dispositivos no sistema.

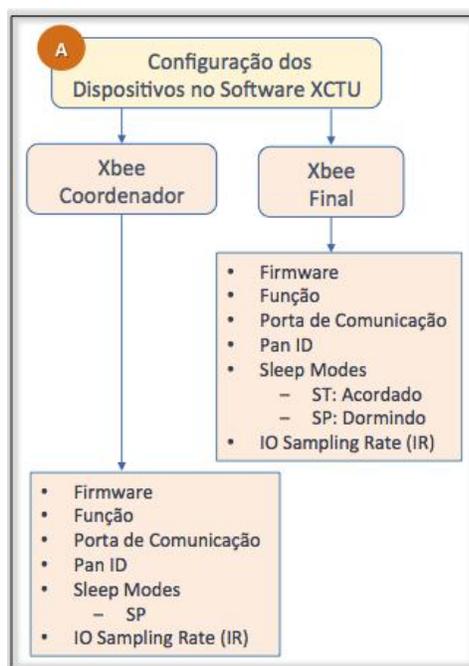


Figura 98: Processo de Configuração dos Dispositivos. Fonte: Autor

Para o correto funcionamento da rede de comunicação de dados e sincronização dos dispositivos eletrônicos nesse projeto, é importante ter o máximo de atenção com a definição das variáveis de estado descritas na Tabela 4. Erro nessa configuração pode resultar em não reconhecimento do nó sensor pelo controlador.

Tabela 4: Variáveis de Estado do Sistema. Fonte: Autor

Entidade/Variável	Descrição	Tipo
ZigBee - Controlador – XB24B - API		
PAN ID	Identificação da Rede	Hexadecimal
SP	Período de Sono Cíclico	Inteiro
IR	Taxa de Amostragem de Entrada e Saída	Hexadecimal
Rádio ZigBee – Dispositivo Final - AT		
PAN ID	Identificação da Rede	Hexadecimal
ST	Tempo Antes de Dormir	Hexadecimal
SP	Período de Sono Cíclico	Inteiro
D0	Habilita Porta Digital	Comando
IR	Taxa de Amostragem de Entrada e Saída	Hexadecimal

No dispositivo instalado em um servidor, o *firmware* deverá ser atualizado para a função *zigbee – controlador – API* versão 22A7 e o *pan ID* configurado com endereço escolhido, comum aos demais dispositivos eletrônicos, com objetivo de permitir a comunicação desses em uma mesma rede. Em seguida, deve-se configurar o parâmetro SP do *sleep mode* atribuindo o mesmo valor, no formato hexadecimal, da configuração dos dispositivos finais que estarão utilizando o modo de *sleep*. Isso é necessário para que o coordenador saiba quanto tempo ele deve esperar pela resposta dos dispositivos finais, que podem estar dormindo quando o coordenador tenta se comunicar com eles. Quando isso não é feito, corre-se o risco de se perder a sincronização e o coordenador assumir que o dispositivo final em questão não faz mais parte da rede. Além disso, o parâmetro IR da entrada I/O *Sampling* também deve ser o mesmo no coordenador e dispositivos finais da rede.

Para os dispositivos eletrônicos considerados escravos e/ou clientes inicialmente deve ser atualizado o *firmware* para a função *zigbee end device – AT* versão 28A7, em seguida, entrar com a mesma descrição ou valor do *PAN ID*

definido no controlador, configurar o tempo antes de dormir – ST e período de sono cíclico – SP de acordo com a necessidade, habilitar uma porta digital para comunicação dos dados a exemplo D0 (porta habilitada fisicamente nesse projeto) e para finalizar, configurar a taxa de amostragem de entrada e saída - IR.

A configuração dos dispositivos é realizada no ambiente do aplicativo *XCTU* e cada dispositivo eletrônico do padrão 802.15.4 deverá ser configurado em seu *firmware* como dispositivo coordenador, roteador ou final. A Figura 9 apresenta a tela do aplicativo *XCTU* com o módulo de comunicação que foi reconhecido e as opções de configuração do seu firmware detalhadamente. É nesse ambiente que é permitido entrar com as informações apresentadas na Tabela 4.

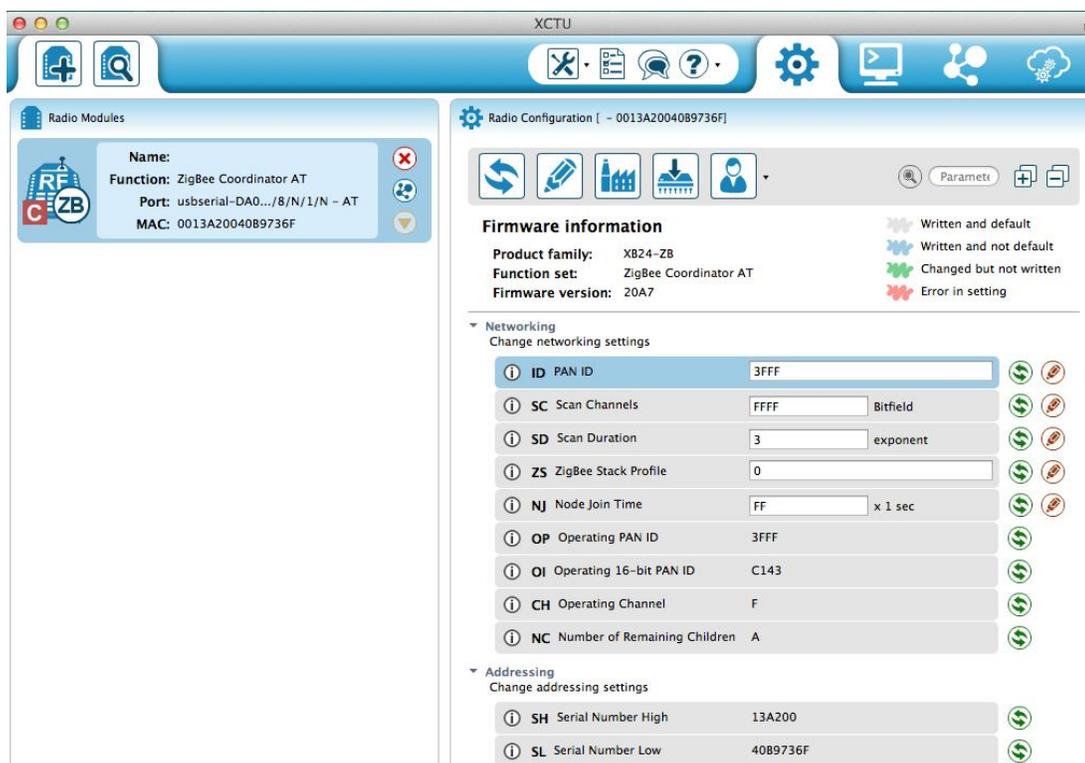


Figura 109: Tela de Configuração dos Dispositivos no aplicativo XCTU. Fonte: Autor

B. Instalação Física

Na Figura 10 são destacados os componentes e cuidados necessários que tem participação direta para o funcionamento do sistema.

O componente responsável pela autonomia de energia do sistema pode ser baterias do tipo alcalina ou fonte de alimentação com saída de 5 a 9 volts. Utilizamos duas versões de nó sensor, uma com uso de microprocessador e do padrão Arduino e outra sem. Para a instalação dos sensores como pode ser visto ainda na Figura 10, é necessário definir, de acordo com o tamanho do ambiente, a melhor distribuição dos componentes, levando em consideração a direção que possa capturar a movimentação do indivíduo, o raio de alcance e o tempo de ativação.

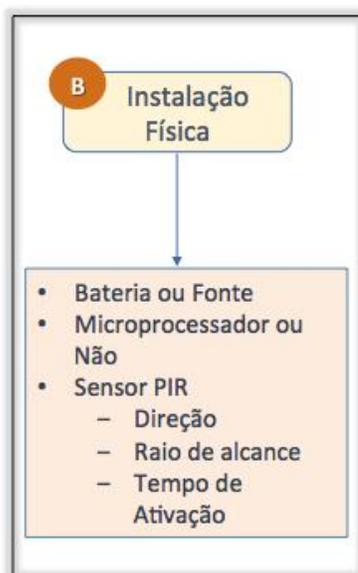


Figura 1140: Instalação Física dos Componentes do Sistema. Fonte: Autor

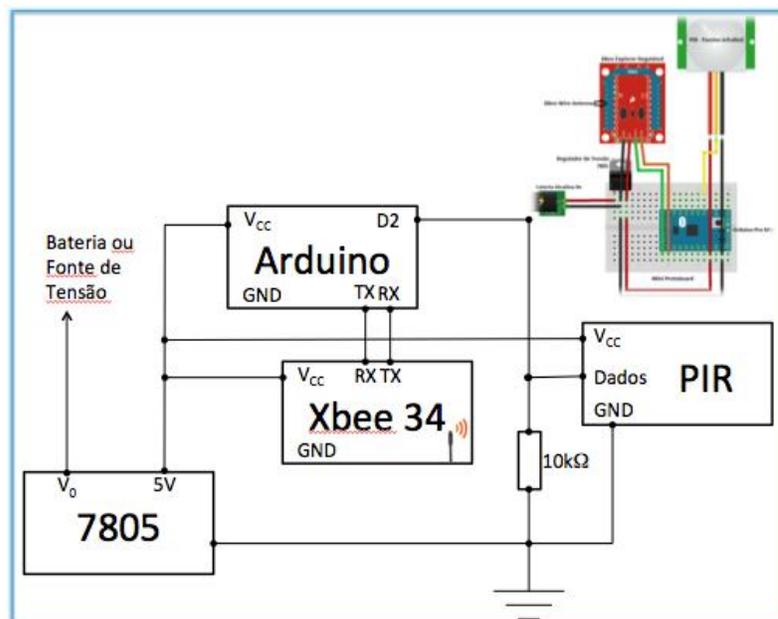
Para o funcionamento do sistema a instalação física dos componentes segue o seguinte padrão:

1. Instalação de um módulo *wifi xbee explorer USB*, com função de coordenador, localizado em um dos cômodos da residência do indivíduo,

com objetivo de capturar os dados enviados pelos outros módulos *wifi xbee* e repassar para um computador central;

2. Conexão dos sensores de presença *PIR* e/ou o de temperatura a uma *protoboard* como opção e uma placa de comunicação arduino ou *zigbee*, como pode ser visto na Figura 11;
3. Configuração da angulação de cada sensor *PIR* para minimizar sobreposição de cobertura quando necessário, através da introdução de uma barreira física, assim como a duração do sinal de saída do sensor através de um resistor ajustável presente no dispositivo. Para o sensor de temperatura, foi necessário configurar o intervalo de tempo de envio do sinal;

No diagrama elétrico apresentado na Figura 11, é possível visualizar como os sensores inicialmente foram conectados a um *protoboard*, uma placa arduino, que gerenciava a captura dos sinais dos cômodos supracitados, conectada a um módulo *WI-FI zigbee* para comunicação com o servidor. O regulador de tensão 7805 foi utilizado para permitir flexibilidade no uso de baterias e ou fontes de alimentação externa. Os diversos dispositivos compartilham a mesma fonte de tensão. Foi utilizado também um resistor de $10k\Omega$ entre a saída de dados do *PIR* e o terra para eliminar oscilações.



| Figura 1244: Diagrama elétrico dos nós sensores com a presença do microprocessador Arduino Pro Mini. Fonte: Autor

Com o objetivo de reduzir o custo do projeto e o consumo de energia dos dispositivos, investigamos também a possibilidade de remover o microprocessador Arduino, como pode ser visualizado no diagrama elétrico dos dispositivos apresentado na Figura 12. Neste caso uma porta de entrada digital do módulo *zigbee* é ativada durante a configuração do dispositivo, para receber os dados do sensor PIR.

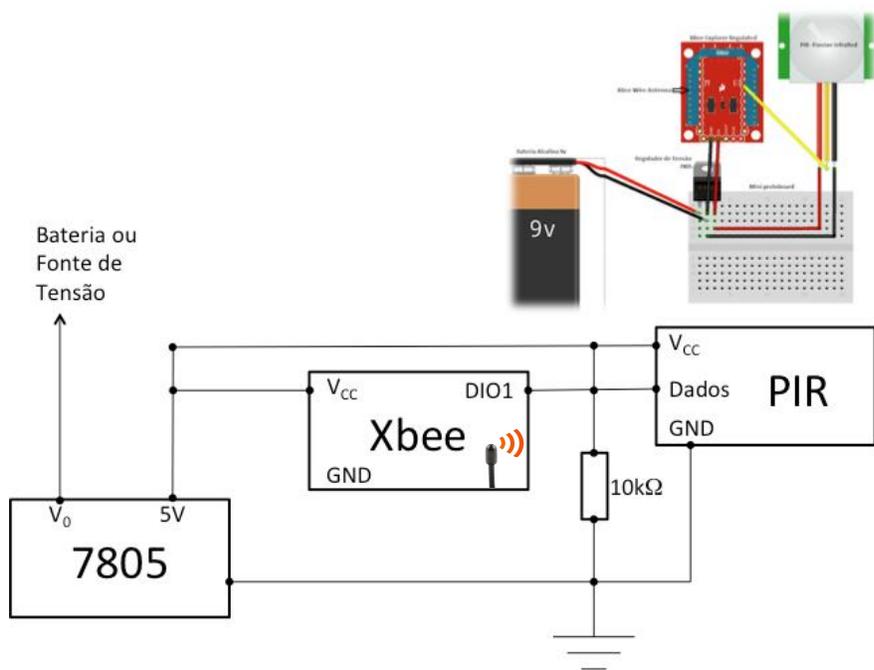


Figura 1342: Diagrama elétrico dos nós sensores sem a presença do microprocessador Arduino Pro Mini. Fonte: Autor

C. Ativação

A Figura 13 apresenta os processos necessários para a inicialização do sistema. Nela, o item sincronização é visto como o processo inicial e ocorre automaticamente após a configuração e instalação física dos dispositivos. Esse processo irá possibilitar a comunicação do dispositivo configurado como controlador da rede instalado no servidor local, com os demais dispositivos configurados como roteador ou final. Caso essa sincronização não seja estabelecida, os dispositivos por sua vez, não poderão se comunicar.

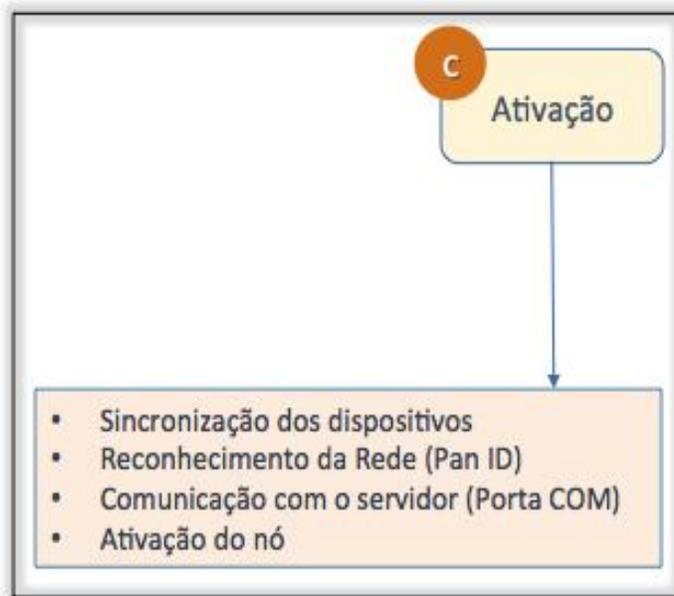


Figura 1443: Processos da Ativação do Sistema. Fonte: Autor

A Figura 13 mostra mais dois itens importantes que são envolvidos na comunicação dos dispositivos eletrônicos no sistema, uma é a identificação da rede que deve ser definida a mesma, através do *Pan ID* para os nós sensores e a segunda é a porta de comunicação do controlador da rede com o servidor que é feito por uma porta serial (USB) através do dispositivo eletrônico *xbee explorer USB*.

O aplicativo *XCTU* pode ser utilizado para visualizar os dispositivos eletrônicos encontrados e/ou reconhecidos na rede e confirmar as configurações na tela principal do programa de acordo com a Figura 14. É possível identificar, também através desse processo, o dispositivo inoperante na rede por alguma anomalia.

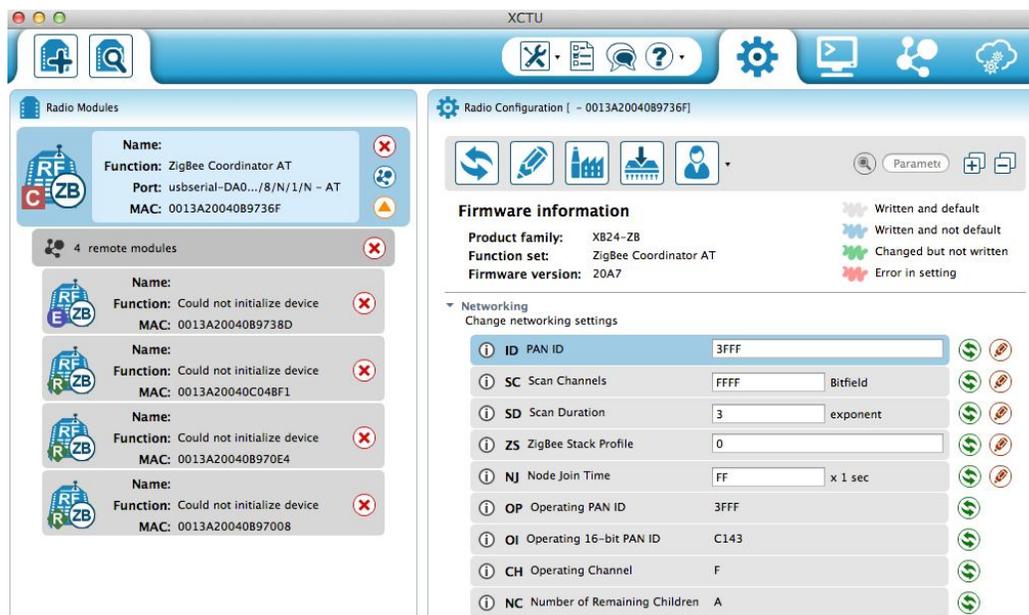


Figura 1544: Tela de Reconhecimento dos Dispositivos após Configuração - XCTU. Fonte: Autor

Na Figura 14 é possível notar o reconhecimento de 5 dispositivos eletrônicos em um determinado cenário: um controlador da rede definido como *zigbee Coordinator* – AT, o segundo dispositivo definido como final e três dispositivos configurados como roteadores.

D. Operação

Na Figura 15 são citados os processos da operação do sistema que irão concretizar a captura dos dados gerados pela movimentação do indivíduo no ambiente unipessoal e manter as informações armazenadas no servidor local para consultas e análise através do trabalho de Soussa (2015).



Figura 1645: Processos da Operação do Sistema. Fonte: Autor

Para obter êxito com os processos da operação do sistema, apresentados na Figura 15, é necessário inicializar o aplicativo *processing* e executar a programação disponível no apêndice B. Nessa programação é possível encontrar os códigos para carregar a planta baixa de um determinado ambiente unipessoal, ler a porta serial do servidor, permitir visualizar o gráfico com a movimentação do indivíduo na tela de monitoramento e registrar os movimentos.

Na Figura 16 é apresentado o gráfico de monitoramento com a presença do indivíduo em um dos cômodos do ambiente unipessoal, de acordo com a planta baixa definida na programação e informa a temperatura desse ambiente.

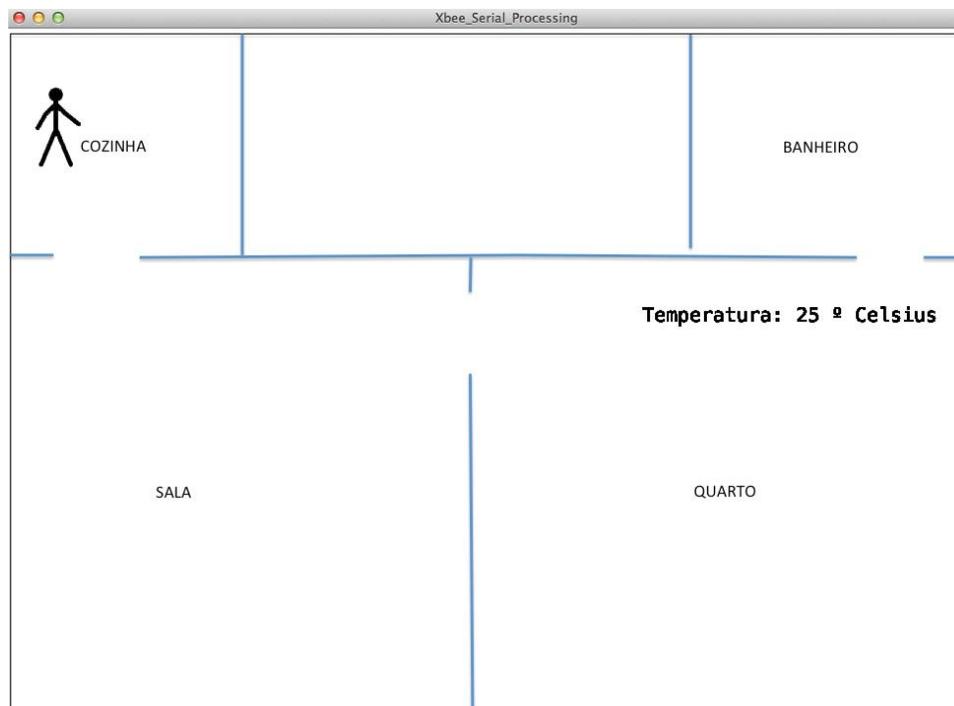


Figura 1746: Tela de Monitoramento do Indivíduo e Apresentação da temperatura Ambiente através do aplicativo Processing. Fonte: Autor

Todos os dispositivos remotos distribuídos no ambiente transmitem informações para um módulo *zigbee* que está conectado a um computador central, com a função de capturar e registrar os dados relacionados a movimentação do indivíduo. Nesse computador foi utilizada a programação desenvolvida na plataforma *processing* disponível no apêndice B, para projetar na tela o acionamento dos sensores correspondentes à movimentação da pessoa, como é apresentado na Figura 16 e armazenar em um arquivo texto.

Quando a pessoa se move dentro do raio de alcance de um sensor de movimento, esse transmite um sinal, composto pelo endereço físico do rádio que está conectado o sensor ativado e o momento exato da movimentação do indivíduo como pode ser visto na figura 16. Com relação ao sensor de temperatura, ele transmite em períodos de tempo regulares a temperatura do ambiente.

A cada movimentação do indivíduo por entre os cômodos, o sinal é capturado e armazenado em disco no servidor local, num arquivo de texto (*.txt) em formato

CSV (*comma separated value* – valores separados por vírgula), contendo as seguintes informações: identificação do cômodo/objeto, identificação do dispositivo eletrônico acionado e data/hora do acionamento.

A comunicação com o servidor remoto é inicializada pelo servidor remoto através do programa *teamview*. A análise dos dados, trabalho de doutorado de Sousa (2015), permite identificar falhas no funcionamento do sistema e situações consideradas críticas, que possam impactar diretamente na saúde da pessoa monitorada, assim como a emissão de alarmes quando necessário.

CAPÍTULO IV

4. EXPERIMENTOS COM O SISTEMA

4.1 Introdução

Este capítulo tem como objetivo apresentar alguns experimentos realizados com o sistema. A princípio, é realizada uma breve descrição dos primeiros testes de bancada, em seguida, são detalhados os experimentos realizados na casa de dois idosos que vivem sozinhos e, posteriormente, são realizados testes no laboratório com a finalidade de encontrar a melhor configuração do estado de dormência. A figura 17 resume os experimentos realizados e suas principais conclusões.

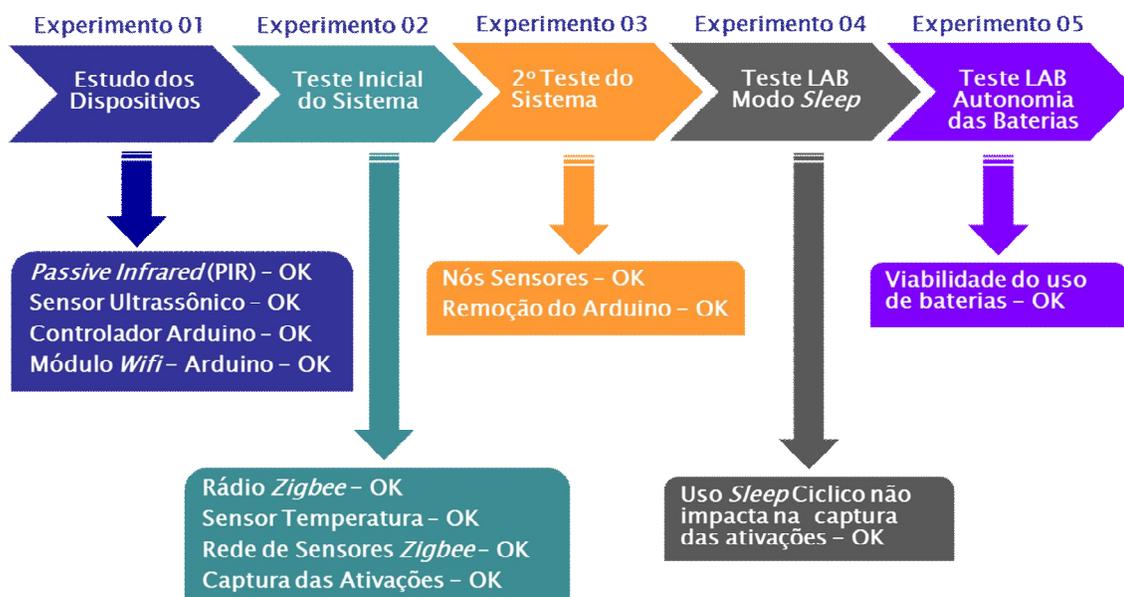


Figura 1817: Resumo dos experimentos realizados e principais conclusões. Fonte: autor

4.2 Experimento 1

No início do projeto ficou decidido utilizar um cenário como teste de bancada dos componentes eletrônicos. O objetivo desse cenário foi observar o funcionamento dos dispositivos como: sensores de presença, temperatura e ultrassônico, além de

identificar situações que poderiam ser tratadas no decorrer do desenvolvimento desse trabalho.

Foi possível implantar um conjunto integrado de equipamentos eletrônicos, composto de sensores e uma rede de comunicação sem fio em um ambiente piloto, e os dados gerados permitiram inferir alguns aspectos da movimentação das pessoas no referido ambiente.

O ambiente para definição desse cenário foi um espaço fechado e coberto em um Centro Universitário na cidade de Salvador – Ba, possuindo uma área de aproximadamente 80 m² e dividido em oito salas com as seguintes especificações:

- Setor 1 – Recepção;
- Setor 2 – Coordenação de Extensão e Iniciação Científica;
- Setor 3 – Coordenação de Curso A;
- Setor 4 – Coordenação de curso B;
- Setor 5 e 6 – Cômodos não monitorados no projeto;
- Setor 7 – Banheiro feminino;
- Setor 8 – Banheiro masculino.

Na Figura 18 é possível visualizar a distribuição dos setores que foram monitorados. Lembro que os setores 5 e 6 constam na figura, porém, não foram monitorados no projeto.

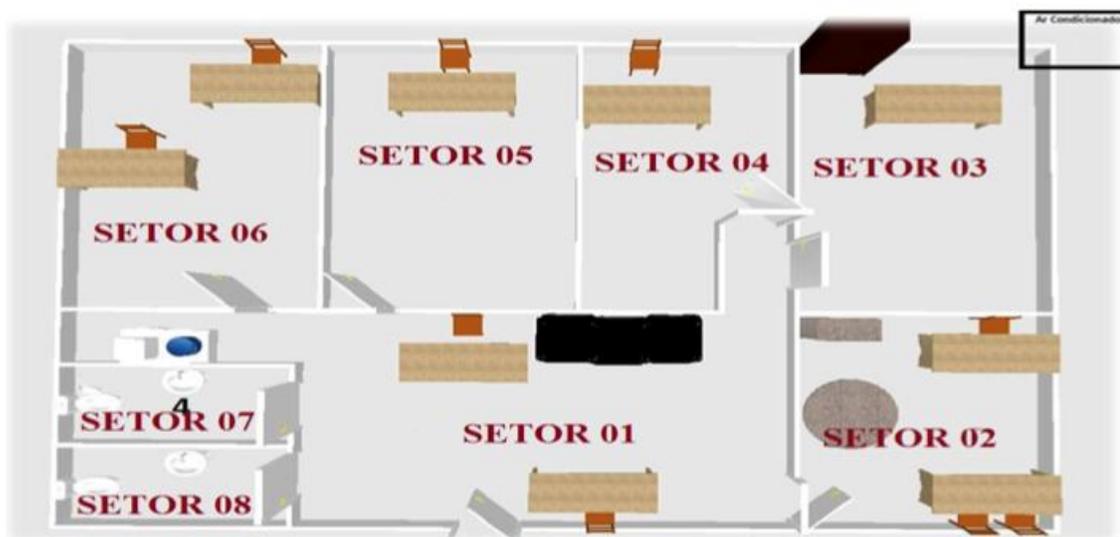


Figura 1948: Ambiente piloto do projeto. Fonte: Brunelli et al. (2014)

Para capturar os dados gerados no ambiente em virtude da movimentação dos indivíduos no local, decidiu-se o uso de sensor de presença, pois, o mesmo oferece características relevantes para o sensoriamento como: baixo custo, fácil utilização, bom alcance e angulação.

Para o controle de acesso das pessoas no ambiente proposto, ficou decidido inicialmente, utilizar sensores ultrassônicos na porta de entrada. Porém, encontramos dificuldades na sua instalação e funcionamento como: o indivíduo teria que passar lentamente para os sensores detectarem seu movimento, os sensores detectavam movimentos internos e não apenas a passagem dos indivíduos pela porta de entrada, foi necessário utilizar dois sensores sincronizados para detectar o movimento, enfim, o funcionamento foi intermitente sem uma causa identificada. Essas dificuldades com os sensores ultrassônicos nos levaram a decisão de utilizar sensores de presença do tipo PIR para o controle de acesso local e movimentação dos indivíduos por entre os cômodos do ambiente.

Dentre as plataformas de programação, decidiu-se pelo uso de placas Arduino para gerenciar a captura dos sinais gerados pelos sensores e comunicação *wi-fi* para transmitir os dados a serem armazenados em um computador central conforme pode ser visualizado na Figura 19.



Figura 2049: Dispositivos instalados no local para o sensoriamento do ambiente. Fonte: Autor

Em suma, nesse projeto, o cenário foi constituído através dos dispositivos eletrônicos a seguir e cujas descrições são apresentadas na Tabela 3, da seção 3.2 e Figura 19:

- 6 sensores PIR – *Passive InfraRed*;
- 2 sensores ultrassônicos;
- 3 placas arduino;
- 3 módulos *WiFi*.

Como resultado foram coletados dados em 12 dias de ativação dos sensores PIR e através do uso de um método de estimação de função densidade sobre os dados capturados de cada sensor, foi possível compreender quais os momentos de maior e menor movimentação de pessoas em cada sala do ambiente.

As Figuras 20 e 21 apresentam os padrões de acionamento dos sensores de presença instalados em dois setores, respectivamente. Nelas é possível perceber os momentos do dia onde costumava haver uma maior movimentação de pessoas nos dois ambientes monitorados (BRUNELLI et al., 2014).

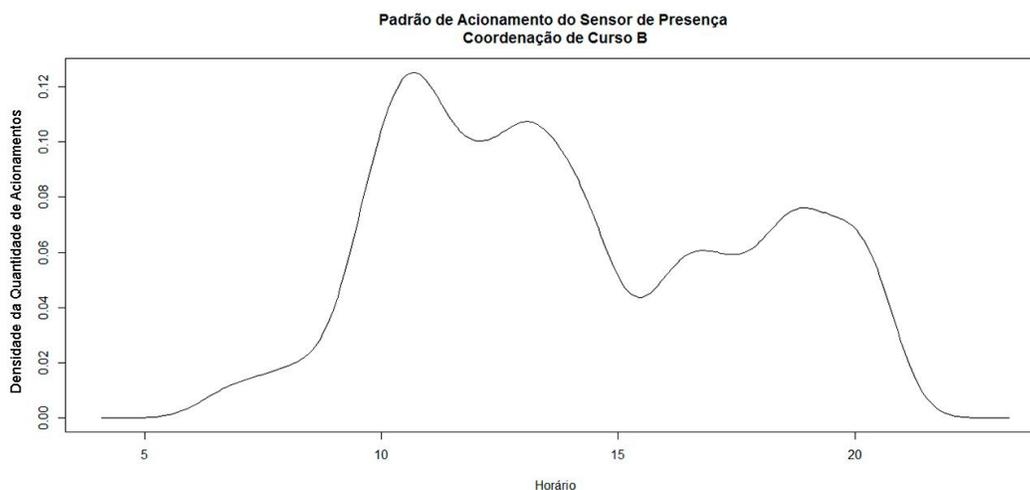
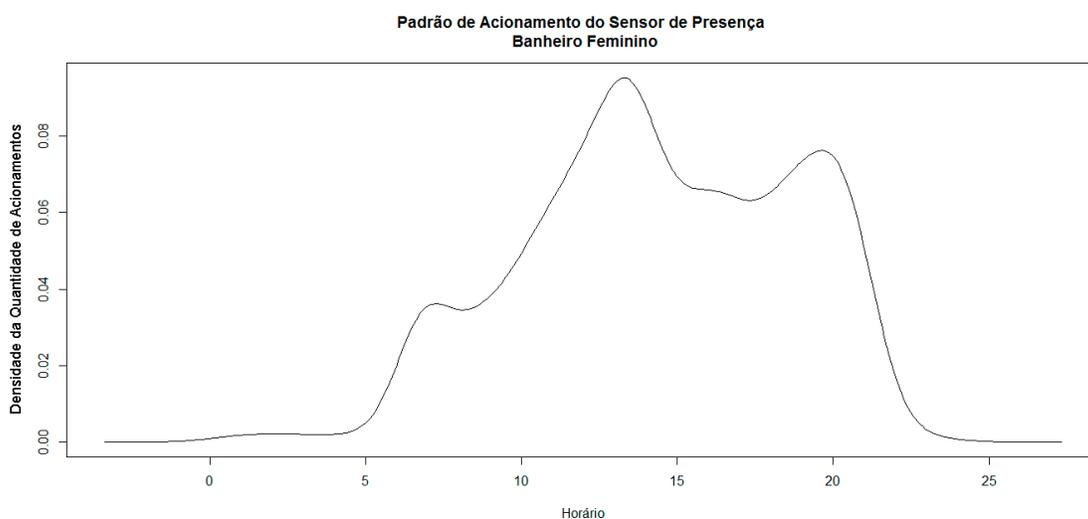


Figura 2120: Padrão de acionamento do sensor de presença na sala da coordenação do curso B.
Fonte: Brunelli et al. (2014)

De acordo com Brunelli et al. (2014), na Figura 20 percebe-se nitidamente uma constante ativação do sensor ao longo de todo o dia, começando no início da manhã e intensificando-se no final da manhã e início da tarde. No meio da tarde há uma pequena redução no acionamento do sensor e voltando a intensificar-se

durante a noite. O que talvez justifique o constante acionamento ao longo de todo o dia é o fato desse setor representar uma coordenação de curso que oferece turmas nos turnos matutino e noturno.

A Figura 21 apresenta o padrão de acionamento no banheiro feminino e é possível perceber claramente dois picos na densidade de ativações nos períodos imediatamente antes ou após o intervalo de almoço. Contudo, há ativação do sensor ao longo de todo o dia, inclusive com fortes ativações à noite. Isto talvez se justifique pelo fato de haver uma presença constante de funcionários do sexo feminino ao longo de todo o dia, nos ambientes monitorados (BRUNELLI et al., 2014).



| Figura 2224: Padrão de acionamento do sensor de presença no banheiro feminino. Fonte: Brunelli et al. (2014)

Esse experimento confirma através dos resultados a possibilidade de compreender o funcionamento dos dispositivos eletrônicos como: os sensores de temperatura e presença (ultrassônicos e PIR), placa arduino e o sistema de comunicação sem fio. Afirma também que é possível capturar dados gerados pela movimentação de indivíduos em um determinado ambiente real.

Esse trabalho foi submetido no IV Workshop de Pesquisa Tecnologia e Inovação – Senai/Ba e o intuito do artigo publicado era propor uma arquitetura para monitorar remotamente o fluxo de movimentação de pessoas em um ambiente coberto, com o propósito de compreender, em certa medida, o comportamento geral de pessoas em um determinado ambiente (BRUNELLI et al., 2014).

4.3 Experimento 2

Com objetivo de analisar o funcionamento do sistema, capturar os dados gerados pela movimentação de um indivíduo no ambiente real e proporcionar os dados necessários ao desenvolvimento e teste do modelo para análise de comportamento e identificação de riscos a saúde de idosos vivendo em ambientes unipessoais, foco do trabalho de doutorado de Soussa (2015), o cenário proposto para ser utilizado como piloto no projeto foi um domicílio unipessoal. Assim, foram instalados os dispositivos em um apartamento na cidade de Salvador/Bahia, habitado por um idoso com 67 anos, que morava sozinho, apresentando uma perda irreversível de 90% da visão.

A residência desse idoso consiste em um apartamento de 1 quarto com uma área de aproximadamente 40 m², dividido em quatro cômodos, de acordo com a seguinte especificação:

- a) Sala,
- b) Cozinha,
- c) Quarto,
- d) Banheiro.

Os dispositivos eletrônicos utilizados nesse ambiente unipessoal foram os mesmos do experimento 01, descritos na Tabela 3 da seção 3.2, conforme podem ser vistos na Figura 22. No item a) é possível visualizar que foram instalados no lustre principal da sala quatro sensores *PIR*, um módulo *zigbee* do padrão 802.15.4 e um microprocessador arduino, todos alimentados pela rede elétrica. Nos itens b), c) e d), um sensor *PIR*, um módulo *zigbee* e o microprocessador arduino foram posicionados acima da porta de acesso aos cômodos do banheiro, quarto e cozinha para monitoramento desses ambientes. Um sensor de temperatura também foi instalado no nó sensor do quarto.

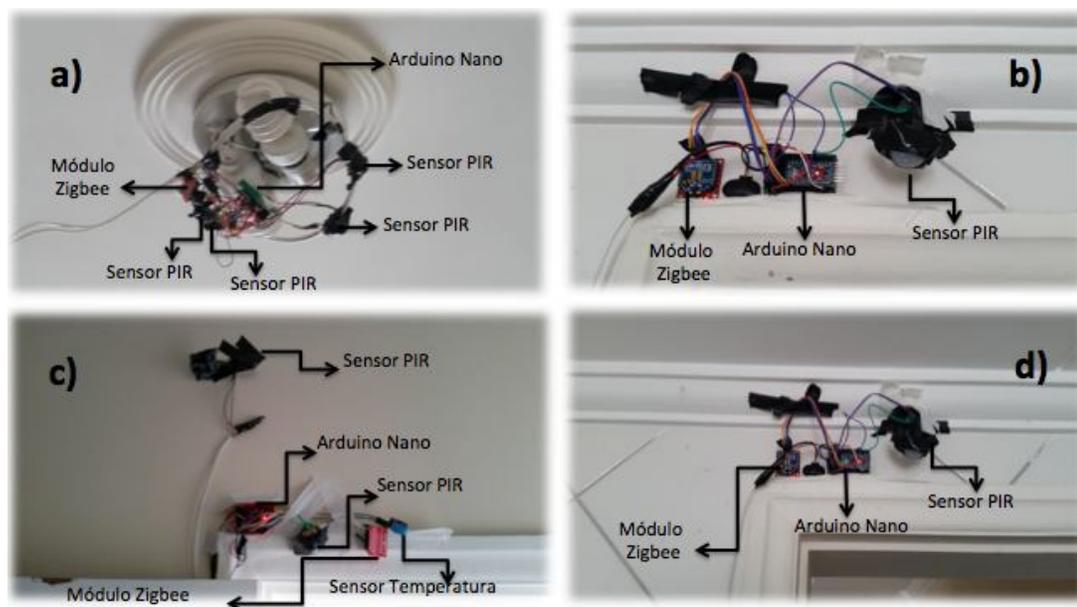


Figura 232: Foto dos dispositivos instalados num apartamento unidomiciliar de $\sim 40\text{m}^2$. a) Nó sensor para monitoramento da sala instalado na luminária central com 4 sensores PIR, 1 placa Arduino e 1 módulo radio Zigbee; b) Nó sensor do banheiro, instalado acima da porta de entrada, com 1 sensor PIR, 1 placa Arduino e um rádio Zigbee; c) Nó sensor do quarto instalado acima da porta de entrada, com 1 sensor PIR, 1 sensor de temperatura, 1 placa Arduino, 1 módulo rádio Zigbee; d) Nó sensor da cozinha, instalado acima da porta de entrada, com 1 sensor PIR, 1 placa Arduino e um rádio Zigbee; Fonte: Autor

Na Figura 23, é possível visualizar cada cômodo da residência do idoso 1 e como os dispositivos foram distribuídos por entre os cômodos.

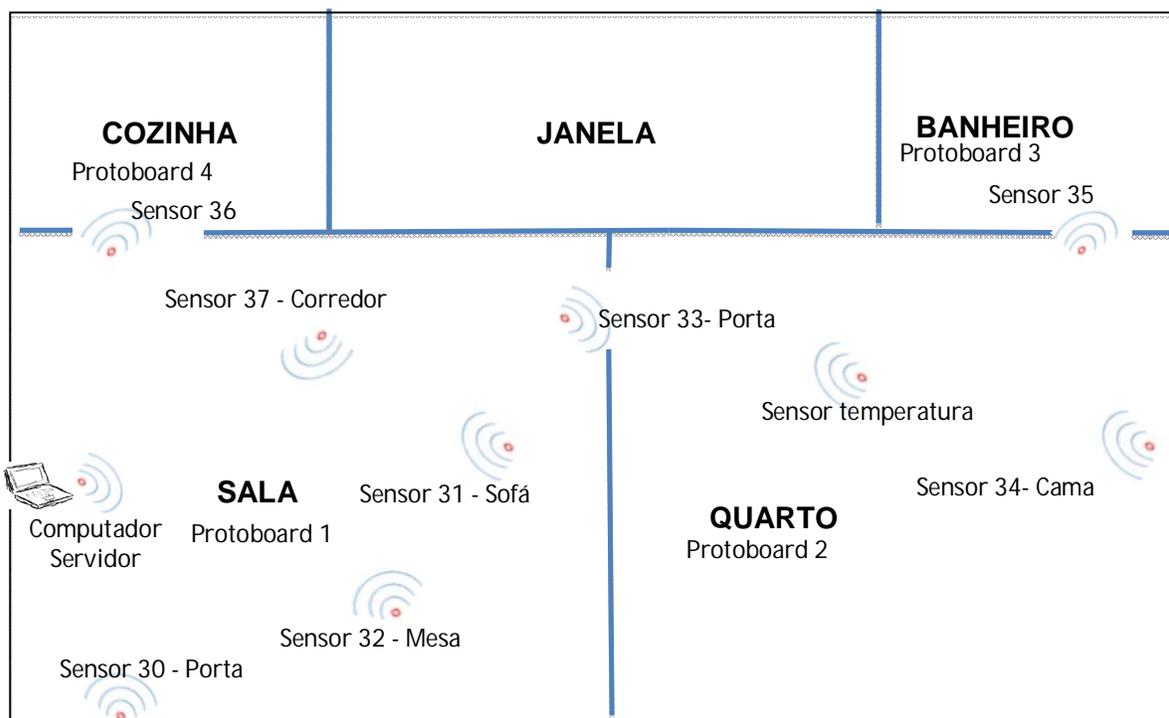


Figura 2423 Residência do Idoso1 - piloto do projeto. Fonte: Autor

De acordo com Sousa (2015), através desse modelo foi possível capturar 43.233 de sinais gerados pelas movimentações do idoso e 21.070 sinais referente a temperatura do ambiente no período de 25 dias de monitoramento.

Sousa (2015) consegue, através da Figura 24, apresentar para cada hora do dia, a quantidade de ativações dos sensores de movimentação em cada cômodo e móvel monitorado, representando assim, o padrão de movimentação do indivíduo dentro da residência. Portanto, foi possível confirmar a eficiência desse modelo ao capturar os dados no ambiente unipessoal utilizando a rede de comunicação sem fio e os dispositivos eletrônicos de baixo custo não intrusivo.

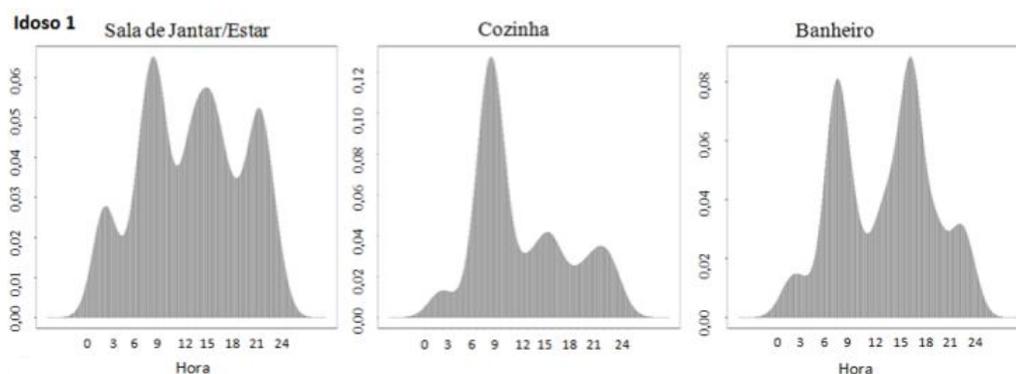


Figura 2524: Densidade de ativações dos sensores instalados na sala, cozinha e banheiro – Idoso 1. Fonte: Sousa (2015).

Nesse cenário, foi possível identificar circunstâncias que impactaram diretamente com o resultado esperado, porém, serviram como motivação ao longo do desenvolvimento do trabalho para serem investigadas. Uma das situações foi o padrão de comportamento do idoso que não era regular conforme descrição no questionário aplicado *in loco*. Em vários itens, o idoso afirmava um padrão de comportamento e durante o aprendizado era registrado o contrário, a exemplo: o idoso informava que costumava dormir em determinado horário e na prática ele costumava sair de casa. Durante o aprendizado do comportamento do indivíduo, foi possível perceber, nos dados coletados, alarmes falsos que, em muitos momentos, houve a necessidade da intervenção física para ter a certeza de que os dispositivos estavam funcionando corretamente.

Outra situação importante foi a identificação, no primeiro momento, do alto consumo de energia dos dispositivos. Essa foi a responsável pela busca de

informações através de pesquisas, com o objetivo de encontrar uma solução para esse problema.

As baterias tiveram uma autonomia entre 12hs e 20hs, no máximo, com a definição do estado de dormência dos rádios configurados como *"no sleep"*, provocando a parada da estrutura por uma semana e contribuindo com a perda dos dados. Assim, foi necessário utilizar quatro fontes de alimentação para retornar o funcionamento da estrutura através da rede elétrica e continuar a captura dos dados no ambiente monitorado.

Inicialmente os sensores *PIR* foram instalados nos ambientes com abertura ou angulação padrão de 120^o graus. Essa ação apresentou problema de sobreposições dos sensores durante o funcionamento dos dispositivos, tendo que ser descartados os dados registrados no servidor local por inconsistência. Para eliminar esse problema de sobreposições em intervalos de tempo curto, fechamos a angulação do sensor posicionado no ambiente monitorado, utilizando fita isolante, assim, os dados registrados se tornaram consistentes e foram aproveitados no trabalho de SOUSSA (2015).

Esse experimento teve uma contribuição significativa no ajuste do modelo e/ou calibragem dos dispositivos eletrônicos a serem utilizados em um determinado ambiente residencial.

Com a implementação do modelo e captura dos dados, é possível confirmar a real possibilidade de monitorar um indivíduo em sua residência de forma não intrusiva e responder positivamente o questionamento apresentado no início desse trabalho no item 1.1 que descreve a definição do problema.

4.4 Experimento 3

Analisar o funcionamento do sistema proposto em um espaço maior, observar o comportamento dos dispositivos eletrônicos e encontrar uma possível solução para o alto consumo de energia dos dispositivos eletrônicos foram os objetivos com esse experimento. Desta forma, com cautela, ficou decidido pelo segundo ambiente, também domiciliar unipessoal. Assim, foram instalados os dispositivos em uma casa habitada por uma idosa com 71 anos, que mora sozinha, na cidade de Camaçari/Bahia.

A montagem desse cenário, nessa residência, foi um desafio, por ter uma área de aproximadamente 120 m², dividido em cinco cômodos, de acordo com a seguinte descrição:

- a) Sala,
- b) Cozinha,
- c) Área de Serviço,
- d) Quarto,
- e) Banheiro.

Na Figura 25, é possível visualizar os cômodos e a distribuição dos dispositivos eletrônicos na residência do Idoso 2.

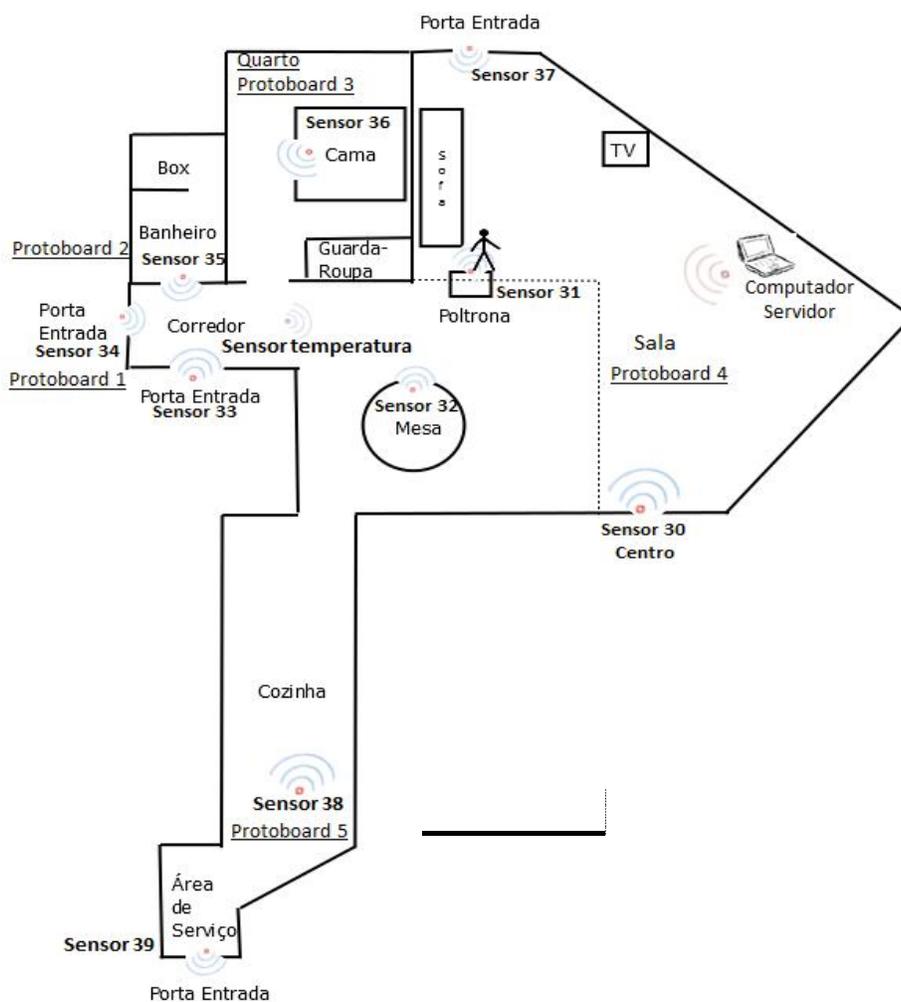


Figura 25: Distribuição dos sensores ao longo da residência do Idoso 2. Fonte: Adaptado de Sousa, (2015).

Para não descaracterizar o sistema proposto, foi levado em consideração os mesmos aspectos do ambiente 01, como as distâncias entre os cômodos do ambiente monitorado, facilidade de instalação, funcionamento dos dispositivos e necessidade em preservar a estética do ambiente. Assim, foi decidido pelo uso de comunicação *WI-FI* com a tecnologia *zigbee* entre os sensores e o computador central, esse último responsável pelo armazenamento dos sinais.

Em resumo, o modelo definido como arquitetura para o experimento 3 no projeto, consistiu dos dispositivos eletrônicos e equipamentos citados a seguir, cujas descrições foram apresentadas na Tabela 3, da seção 3.2.

- ❖ 10 sensores PIR – Passive InfraRed,
- ❖ 01 sensor de temperatura,
- ❖ 05 módulos Xbee,
- ❖ 06 adaptadores XBee Explorer,
- ❖ 01 XBee Explorer USB,
- ❖ 05 Resistores 10 K Ohms,
- ❖ 04 Fontes de alimentação,
- ❖ 04 Baterias Alcalinas 9v,
- ❖ 05 Reguladores de tensão,
- ❖ 05 Protoboard.

Na Figura 25, os sensores posicionados na cozinha e área de serviço foram conectados a uma *protoboard* e sempre conectados com o servidor através do módulo *wifi zigbee*.

Na sala foi instalada outra *protoboard*, conectada a um módulo *wifi zigbee*, com a função de gerenciar e capturar os sinais gerados pela pessoa que transita no local. A estrutura do quarto é a mesma dos demais cômodos.

Os dispositivos eletrônicos empregados neste trabalho podem ser alimentados por baterias alcalinas ou recarregáveis, desde que forneçam tensão de 3,3V a 5V. Nos testes validados neste experimento foram utilizadas baterias alcalinas típica de 9V, com capacidade média de 600mA/h, conforme dados da Energizer Battery Manufacturing (2012).

Durante o aprendizado do comportamento da idosa, através dos dados coletados, foi confirmado a regularidade descrita no questionário aplicado *in loco*,

fator que contribuiu para uma análise apurada, sem perda de dados e alarmes falsos.

Nesse cenário, a intervenção física foi importante para ajustar e/ou calibrar os dispositivos eletrônicos, diferente do ambiente do idoso 1 que, além dessa calibragem, houve a necessidade também da intervenção física em função da irregularidade do padrão de comportamento do indivíduo.

Na residência do Idoso 2, a plataforma de programação em uso inicialmente foi da placa Arduino Pro Mini para gerenciar a captura dos sinais gerados pelos sensores e, também, para gerenciar o armazenamento dos sinais em um computador central, da mesma forma aplicada na residência do idoso 1. Essa determinação de manter a mesma estrutura foi relevante para observar situações encontradas no ambiente 01 e observar o comportamento dos dispositivos em uma área maior.

Esse experimento foi fundamental para uma análise comparativa dos ambientes, padrão de comportamento dos idosos, distribuição dos dispositivos, captura dos dados através do arduino ou módulo *zigbee*. Cada casa foi monitorada com a presença do microprocessador arduino no sistema, sem o estado de dormência nos dispositivos configurados e foi possível, na casa do idoso 1, gerar 43.233 registros de movimentação e 21.070 de temperatura e na casa do idoso 2, 86.765 registros de movimentação e 20.880 de temperatura durante os 25 dias de monitoramento.

Na Figura 26 nota-se que todos os cômodos das duas casas foram monitorados através dos dispositivos eletrônicos.

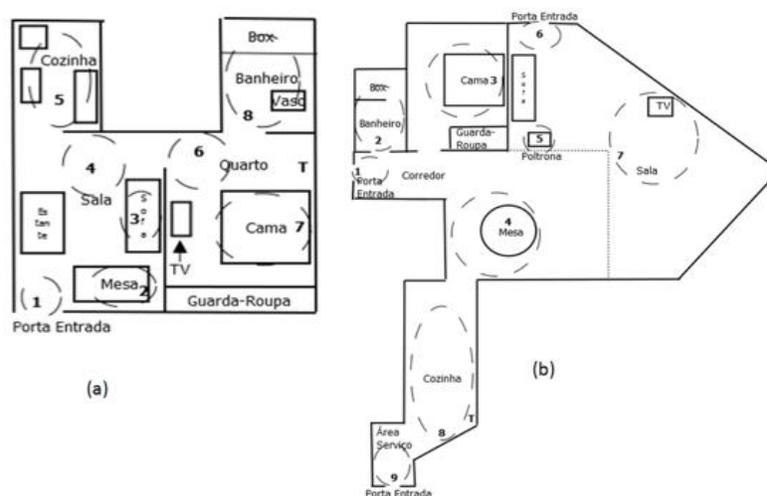


Figura 26: Residências monitoradas: (a) - Idoso 1 e (b) - Idoso 2. Fonte: Soussa (2015)

Através de experiências realizadas em laboratório, foi possível ajustar o sistema, definindo o estado de dormência para o modo *Cyclic Sleep Remote* – 4 e removendo o dispositivo eletrônico arduino pro mini, passando a utilizar, como plataforma de programação, o dispositivo *zigbee*. Essa ação tornou a estrutura mais eficiente, com menor custo e com a vantagem de aumentar a autonomia das baterias.

Com objetivo de verificar o impacto da remoção do arduino nos nós sensores e fazer a captura dos dados através do dispositivo *zigbee*, o sistema na casa do idoso 2 foi modificado e o modelo de monitoramento foi implementado por mais 14 dias na residência. Os rádios utilizados nesse cenário foram configurados da seguinte maneira: no dispositivo instalado como servidor, o *firmware* foi atualizado para a função *zigbee – controlador – API* versão 22A7 e o *pan ID* 17. Em seguida, foi configurado o parâmetro SP do *sleep mode* para 1,5 segundo e o parâmetro IR da entrada I/O *Sampling* para 1 segundo. Nos dispositivos considerados escravos e/ou clientes atualizamos o *firmware* para a função *zigbee end device – AT* versão 28A7, logo após, foi definido o *PAN ID* para o valor 17, o mesmo do controlador, configuramos o tempo acordado – ST para 3 segundos, período de sono cíclico – SP para 1,5 segundos e para finalizar, configuramos a taxa de amostragem de entrada e saída – IR para 1 segundo.

Percebe-se nos dados apresentados das configurações anterior, que definimos de forma equivocada o tempo acordado, pois, ficou muito grande e, portanto, não houve redução significativa no consumo de energia. No entanto, este experimento verifica o impacto da eliminação do microcontrolador arduino.

A densidade de ativações para a cozinha, poltrona, acordar e dormir (quarto) com e sem o Arduino são mostradas nas Figuras 27 e 28.

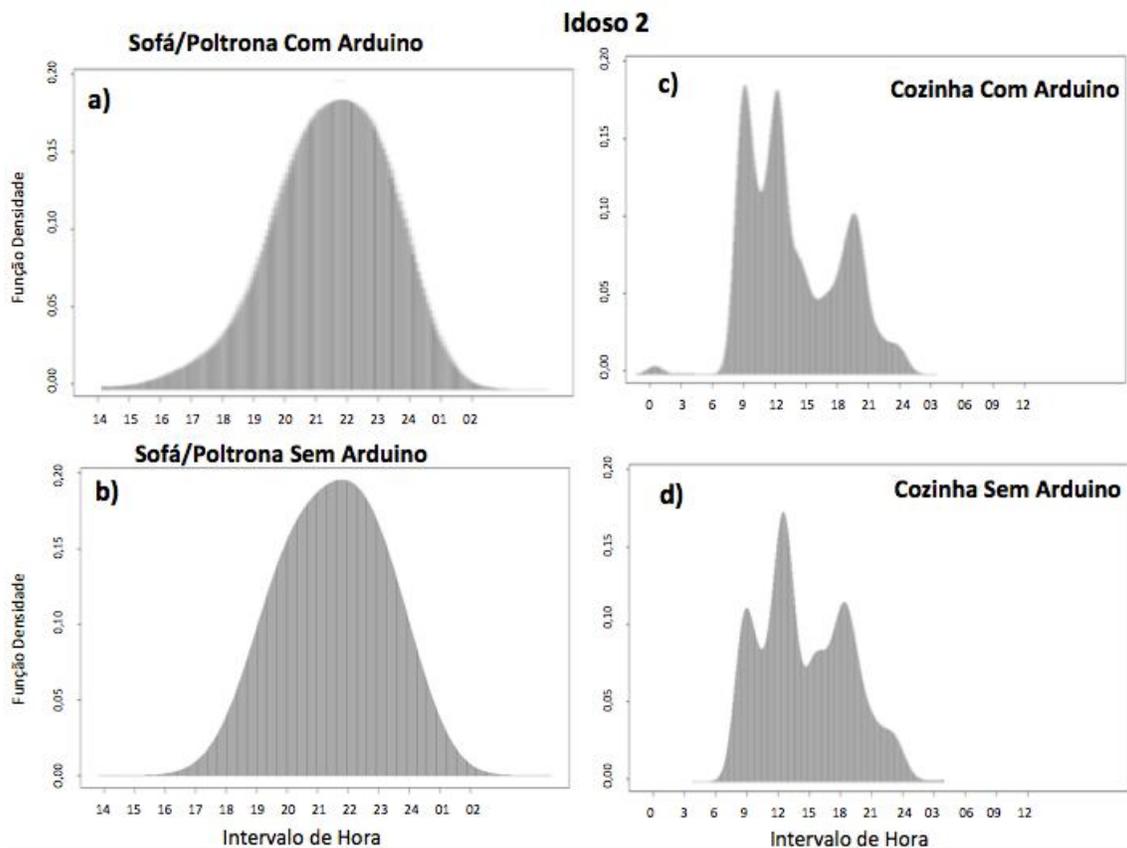


Figura 27: Densidade de ativações dos sensores instalados no sofá/poltrona e cozinha. (a) e (c) Com Arduino e (b) e (d) Sem Arduino – Idoso 2. Fonte Adaptado de Sousa (2015).

Na Figura 27, comparamos os dados apresentados por Sousa (2015) obtido com o uso de arduino nos nós sensores (a) e (c) com as obtidas posteriormente no mesmo ambiente sem o arduino (b) e (d). Vemos que a densidade de ativações tem aproximadamente a mesma forma (valor máximo e largura a meia altura) nos dois casos para a poltrona e cozinha.

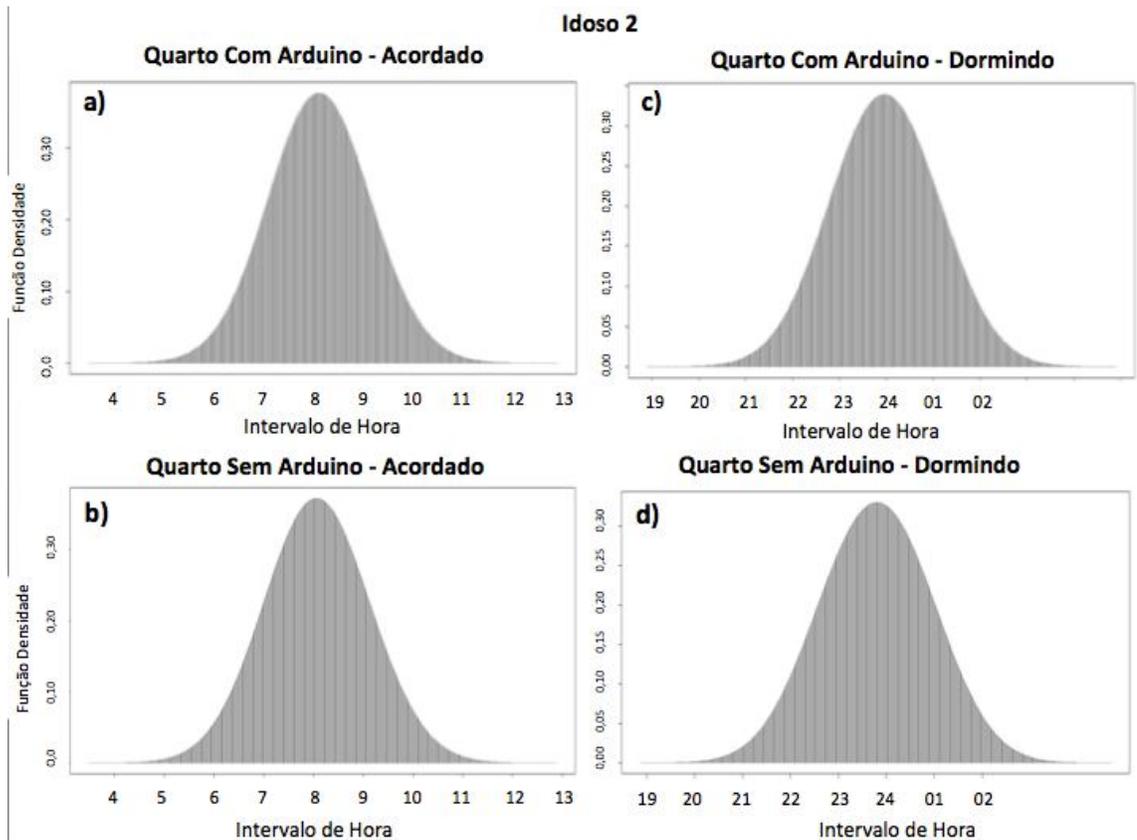


Figura 28: Densidade de ativações dos sensores instalados no quarto acordado e dormindo. (a) e (c) Com Arduino - (b) e (d) Sem Arduino – Idoso 2. Fonte: Sousa (2015).

A comparação realizada nos itens (a) e (b) do estado acordado, com e sem a presença do arduino, Sousa (2015), através da sua análise, afirma que o resultado foi muito próximo. Levando em consideração que o horário médio identificado na sua tese foi registrado 7:52, enquanto que na segunda análise sem a presença do arduino foi 8:04.

No item c) da Figura 28 com a presença do microprocessador arduino, Sousa (2015) identificou a atividade de dormir em 22 dos 25 dias monitorados. Dos 3 dias finais, afirma que em 2 deles, a pessoa não dormiu em casa. Já no item d) sem a presença do microcontrolador arduino, em 13 das 14 noites, o modelo identificou a presença dela no momento de dormir, com exceção de um dia (17/06/2015). Neste dia houve relato por parte da idosa que ela não dormiu em casa. É possível observar que as leituras dos resultados são bem próximos e a captura

dos dados ocorre no horário médio de 23:47 sem a presença do arduino e com a presença do arduino o horário médio identificado na tese é de 23:58.

4.5 Experimento 4

O uso de baterias é desejável para evitar a necessidade de passagem de fios pelo domicílio do indivíduo, o que pode afetar negativamente a estética do ambiente ou requerer obra civil para embutir este cabeamento. Assim sendo, é desejável a utilização de baterias com uma autonomia de pelo menos 3 meses ou mais. Dessa forma, escolhemos a estratégia de utilizar módulos *zigbee* no modo de “*sleep*” para reduzir o consumo de energia nos nós sensores. Para avaliar a eficácia desta estratégia, efetuamos experimentos para avaliar o consumo de energia e possível perda de dados durante o período de “*sleep*” que será descrito a seguir.

Para verificar se o sensor de movimento deixa de capturar dados quando o estado de dormência do rádio é diferente do estado acordado, fizemos uma comparação entre os dados capturados num ambiente de teste com dois nós remotos utilizando dois módulos *xbee* conectados a um mesmo sensor de movimento PIR. Os nós sensores se comunicam com um terceiro *xbee*, configurado como coordenador (servidor) conforme mostrado na Figura 29. Dessa forma, asseguramos que os dois *xbee* estão recebendo o mesmo número de ativações e no mesmo instante.

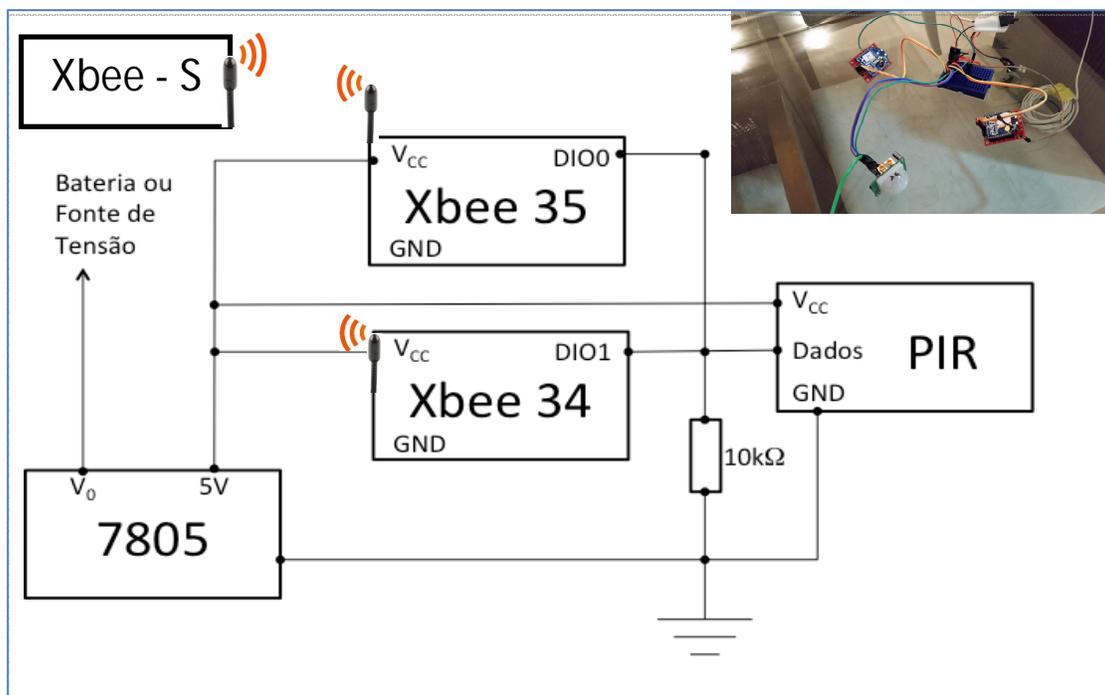


Figura 29: Esquema do experimento para avaliação de possível perda de dados quando o dispositivo Xbee está configurado no modo sleep. Fonte: Autor

O *xbee 35* está configurado como dispositivo roteador no modo “*no sleep*” e será utilizado como referência. A configuração do *xbee 34* foi modificada para cada medição, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5: Configurações testadas no experimento. Fonte: Autor

Experimento 5	Dispositivo		Sleep - SM	ST (x1ms)	SP (x10ms)	IR	Relação - ST/SP	Ativações Xbee 35 - Referência	Ativações Xbee 34	Diferença Percentual
Referência	Xbee 35	Router	Não	-	-	BB8 (3s)		458		
Configuração 1	Xbee 34	Router	Não	-	-	BB8 (3s)			434	5,20%
	Coordenador	Controlador								
Referência	Xbee 35	Router	Não	-	-	BB8 (3s)		354		
Configuração 2	Xbee 34	End Device	Cíclico - 4	5DC (1,5 seg)	96 (1,5 seg)	BB8 (3s)	1		359	-1,40%
	Coordenador	Controlador								
Referência	Xbee 35	Router	Não	-	-	BB8 (3s)		187		
Configuração 3	Xbee 34	End Device	Cíclico - 4	12C (0,3 seg)	12C (3 seg)	BB8 (3s)	0,1		172	8,00%
	Coordenador	Controlador			12C (3 seg)	BB8 (3s)				
Referência	Xbee 35	Router	Não	-	-	BB8 (3s)		172		
Configuração 4	Xbee 34	End Device	Cíclico - 4	12C (0,3 seg)	12C (3 seg)	BB8 (3s)	0,1		150	12,00%
	Coordenador	Controlador			12C (3 seg)	BB8 (3s)				
Referência	Xbee 35	Router	Não	-	-	BB8 (3s)		229		
Configuração 5	Xbee 34	End Device	Cíclico - 4	1E (30ms)	12C (3 seg)	BB8 (3s)	0,01		215	6,10%
	Coordenador	Controlador			12C (3 seg)	BB8 (3s)				
Referência	Xbee 35	Router	Não	-	-	BB8 (3s)		109		
Configuração 6	Xbee 34	End Device	Cíclico - 4	3 (3ms)	12C (3 seg)	BB8 (3s)	0,001		98	10,10%
	Coordenador	Controlador			12C (3 seg)	BB8 (3s)				

Cada ativação do sensor PIR era transmitida simultaneamente pelos dois dispositivos *xbee*, que por sua vez, transmitiam a ativação para o dispositivo servidor, para armazenamento dos resultados num arquivo texto. Primeiramente, os dois dispositivos *xbee* foram configurados no modo “*no sleep*” para averiguarmos qual a margem de erro na detecção das ativações. O resultado da diferença entre as ativações transmitidas pelos *Xbee* 34 e 35 estão incluídas na Tabela 5. Monitoramos as ativações transmitidas por ~2h e nesse período o nó sensor de referência, *xbee* 35, transmitiu 458 ativações. Nesse mesmo período, o *xbee* 34 transmitiu um número de ativações 434, 5,2% menor. Para entendermos essa diferença plotamos as ativações para ambos os dispositivos em dois momentos de tempo diferentes conforme Figura 30.

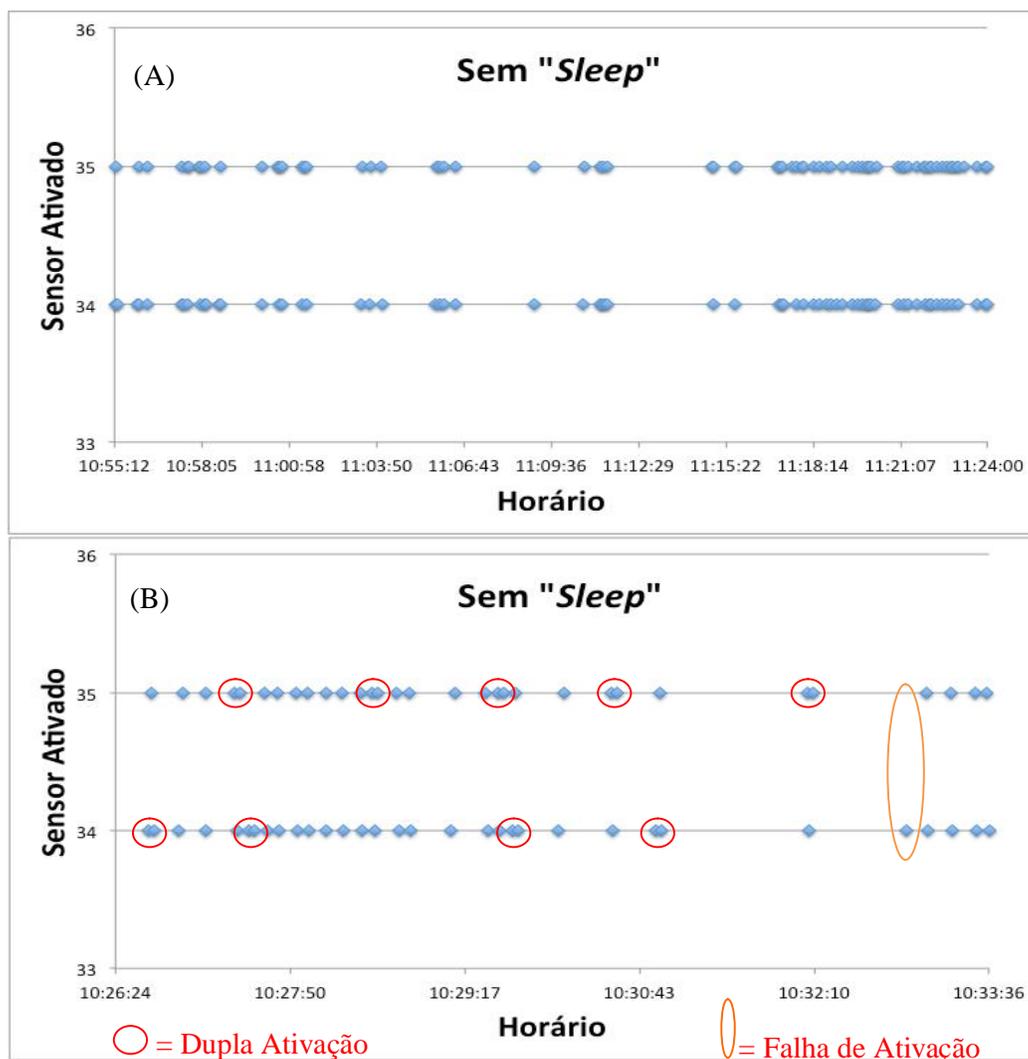


Figura 30: Amostra das ativações dos dispositivos. Nos itens A) e B), os dispositivos foram configurados da seguinte forma: Pan Id = 17, Xbee 34 e 35 foram configurados como roteador, sem sleep e IR = 3 segundos. Fonte: Autor.

No gráfico A e B da Figura 30 é perceptível que os *xbee* 34 e 35 iniciam a transmissão sincronizados e apresentam boa equivalência. Notamos que no instante ~10:33 houve uma falha de ativação pelo dispositivo 35, circulada em laranja. Além disso, em alguns intervalos de tempo um ou outro sensor apresenta dupla ativações, circuladas em vermelho no gráfico B. É possível que a diferença de ~5% deve-se as essas ativações duplas. Note que o número total de duplas ativações será maior que os 5% devido ao cancelamento de erros que existe, já que essas duplas ativações ocorrem em ambos os dispositivos.

Dando continuidade ao experimento 4, no segundo momento, os dois dispositivos *xbee* foram configurados no modo cíclico – 4, com período dormindo igual ao acordado (1,5 s) com objetivo também de identificar qual a margem de erro nas ativações. Na Tabela 5 é possível visualizar a diferença entre as ativações transmitidas pelos *xbee* 34 e 35. Monitoramos as ativações transmitidas por ~1h35min e nesse período o nó sensor de referência, *xbee* 35, registrou 354 ativações. Nesse mesmo período, o *xbee* 34 transmitiu um número de ativações 359, 1,40% maior, conforme dados apresentados na Figura 31.

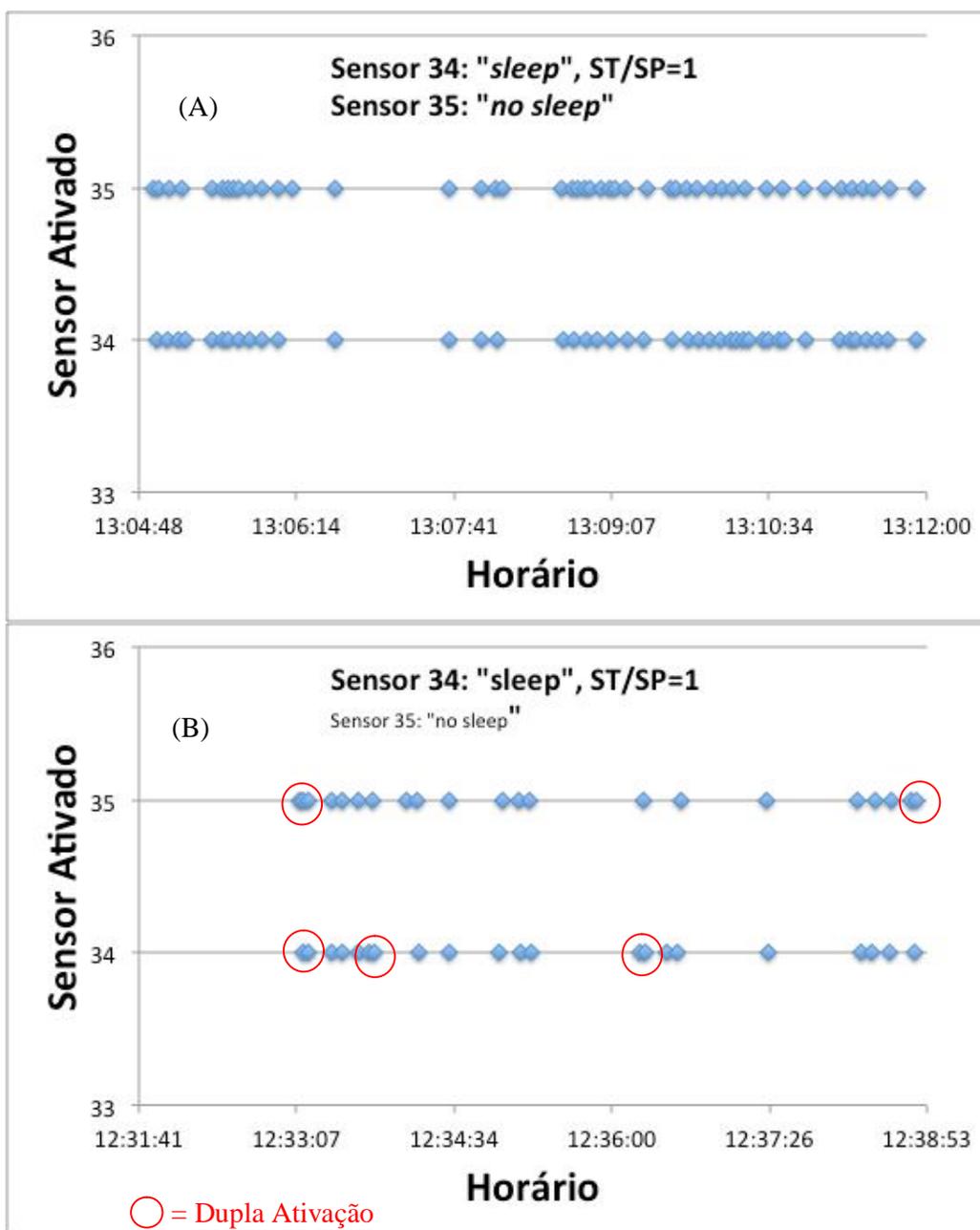


Figura 31: Amostra das ativações dos dispositivos com modo "sleep" configurado em dois períodos de tempo diferentes. Nos itens A) e B), os dispositivos tiveram as seguintes configurações: No controlador, o valor do Pan Id foi 17, o xbee 34 foi configurado como dispositivo final, modo sleep cíclico 4, estado acordado (ST) e dormindo (SP) 1,5 segundos e IR 3 segundos, enquanto que o xbee 35, foi configurado como roteador, sem sleep configurado, pois, encontra-se como referência. Fonte: Autor

No gráfico A e B da Figura 31 é possível visualizar que os dispositivos mantêm a sincronização das transmissões, mesmo quando o xbee 34 dorme por metade do tempo. É possível visualizar boa equivalência entre as ativações com alguns casos de dupla ativações em ambos os dispositivos. Nessa configuração não observamos nenhuma falha de ativação como no caso anterior. Conclui-se, que ao

configurar o modo *sleep* de um dispositivo, há também uma margem de erro das ativações que pode estar associada as ocorrências de ativações duplas.

Em seguida, diminuimos ainda mais o tempo acordado, para um décimo do tempo dormindo. Note que neste caso, assim como nos posteriores, foi necessário configurar o valor de SP para o coordenador com o mesmo valor dos dispositivos em dormência para evitar a perda da sincronização conforme explicado na seção 3.3.A. Monitoramos as ativações transmitidas por ~1h05 min e nesse período o nó sensor de referência, *xbee* 35, registrou 187 ativações. Nesse mesmo período, o *xbee* 34 transmitiu um número de ativações de 172, 8,00% menor, conforme dados apresentados na Tabela 5 e amostrados na Figura 32.

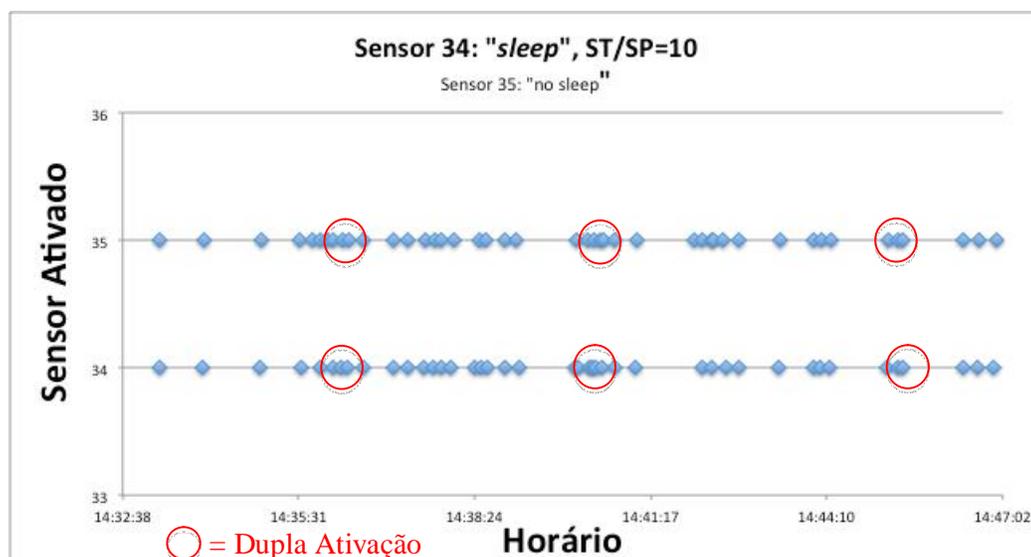


Figura 32: Amostra das ativações dos dispositivos com modo "sleep" configurado. Os dispositivos tiveram as seguintes configurações: Controlador, o valor do Pan Id foi 17, foi necessário nesse cenário configurar o estado dormindo (SP) para 3 segundos, o *xbee* 34 foi configurado como dispositivo final, modo *sleep* cíclico 4, 3 segundos para o estado acordado (ST), dormindo (SP) e IR, enquanto que o *xbee* 35, foi configurado como roteador, sem *sleep* configurado, pois, encontra-se como referência. Fonte: Autor

Novamente, vemos uma boa equivalência entre as ativações entre os módulos *xbee* 34 e 35, com erros causados por duplas ativações em um ou outro módulo. Repetimos esse experimento por um novo período de ~23 min para ver se o número de erros relativo nas ativações mudava. Encontramos uma diferença no número de ativações de 12% em vez de 8%, conforme mostrado na Tabela 5, refletindo a variabilidade do número de ativações apresentadas pelos dispositivos *zigbee*.

Continuamos reduzindo o tempo que o dispositivo ficava acordado (ST) para verificar quando haveria perda de dados e/ou sincronização. Os resultados estão resumidos na Tabela 5 e as Figuras 33 para o caso de ST/SP=100 e Figura 34 para o caso de ST/SP=1000. Para o caso de ST/SP= 100, o período acordado foi de apenas 30 ms, e a diferença no número de ativações entre o dispositivo de referência (*xbee* 35, 229 ativações) e o dispositivo em estado de dormiência (*xbee* 34, 215 ativações) foi de apenas 6,1% durante o período monitorado de ~33min. Já no caso de ST/SP=1000, o tempo acordado do dispositivo 34 foi reduzido para apenas 3 ms e a diferença entre as ativações por um período de 1:18min foi de ~10%, consistente com as diferenças encontradas nas outras situações.

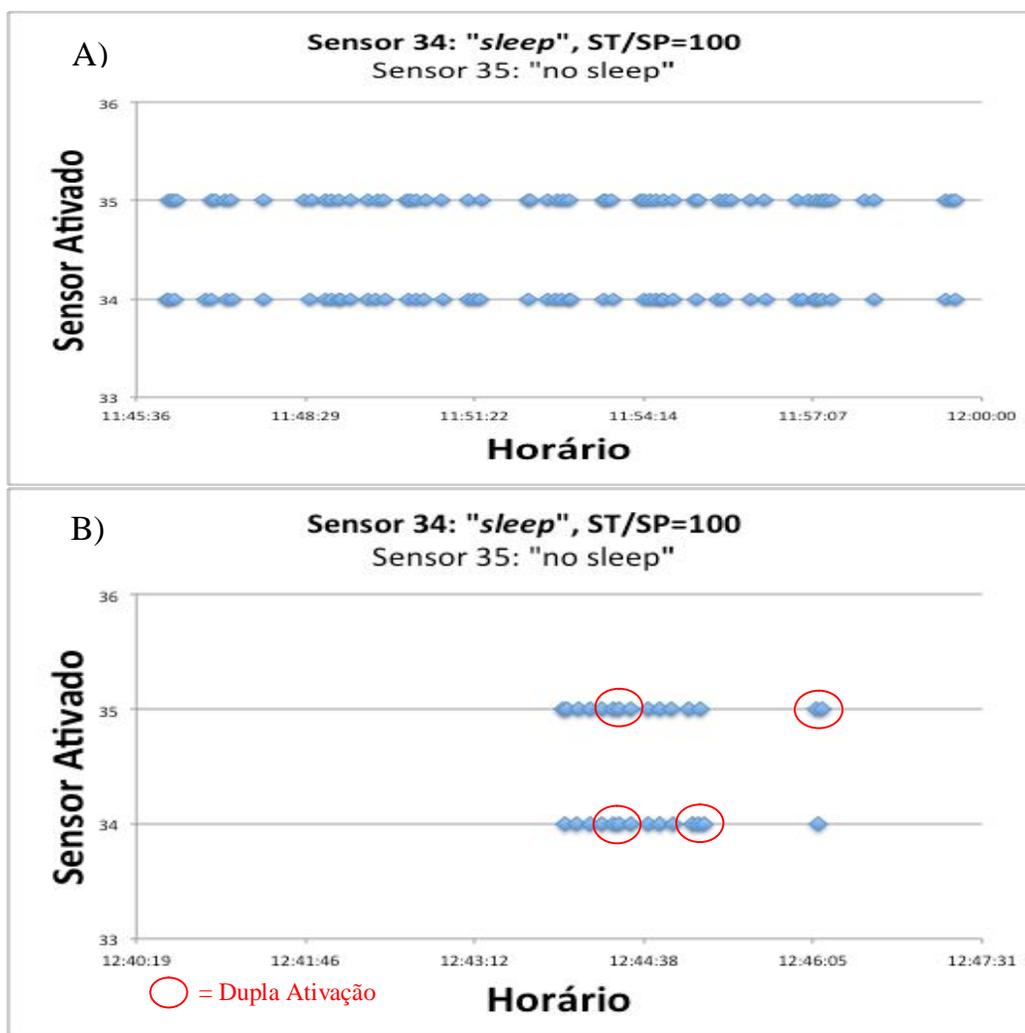


Figura 33: Amostra das ativações dos dispositivos com modo "sleep" configurado. Os dispositivos tiveram as seguintes configurações: Controlador, o valor do Pan Id foi 17, foi configurado o estado dormindo (SP) para 3 segundos, o *xbee* 34 foi configurado como dispositivo final, modo *sleep* cíclico 4, 30 ms para o estado acordado (ST), 3 segundos para o estado dormindo (SP) e IR, enquanto que o *xbee* 35, foi configurado como roteador, sem *sleep* configurado, pois, encontra-se como referência.

Fonte: Autor

Novamente, a Figura 33 mostra boa correspondência entre as ativações de ambos os dispositivos, mas com erros devido a ativações duplas, mesmo quando o tempo acordado é de apenas 30 ms.

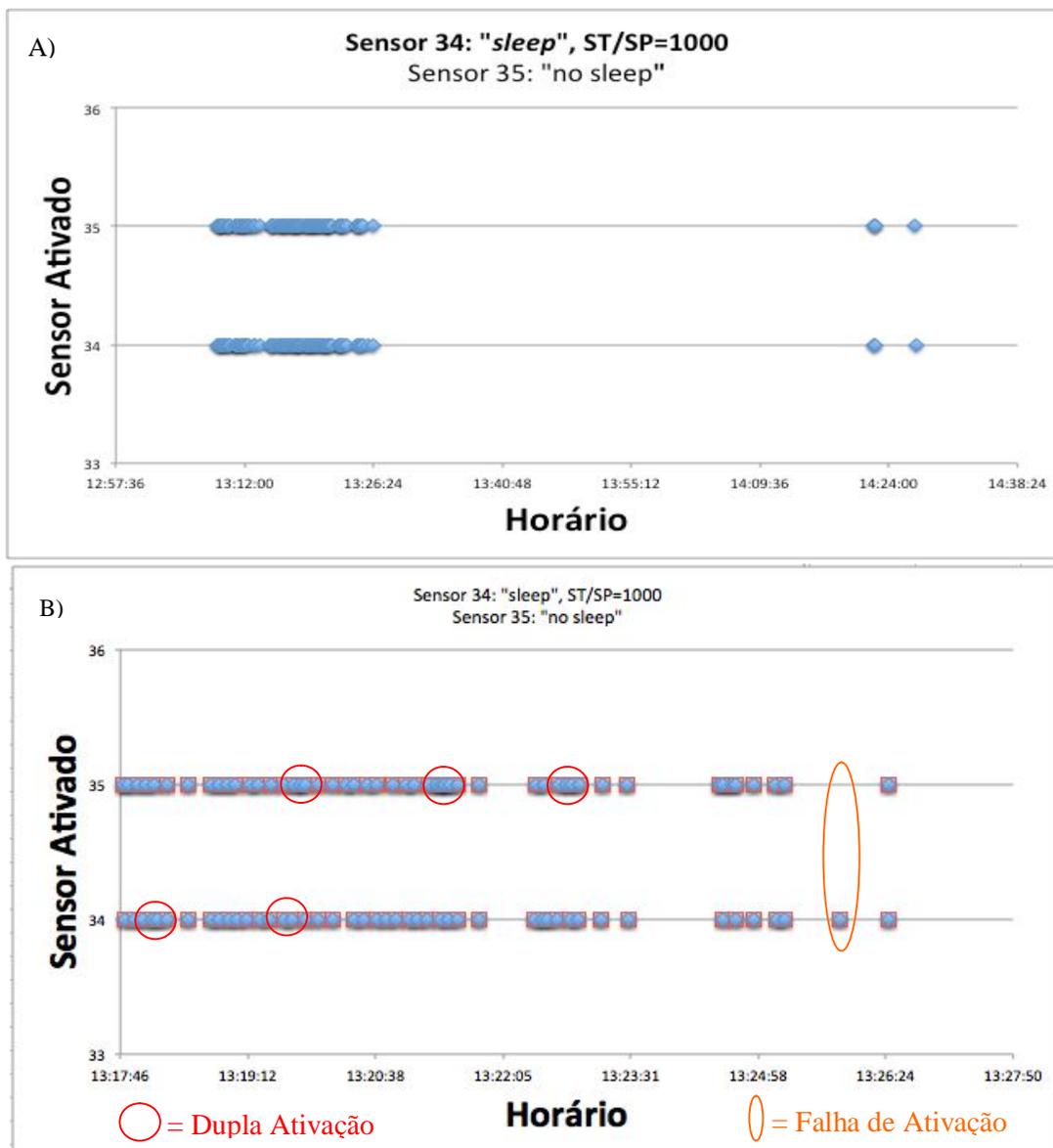


Figura 34: A e B. Amostra das ativações dos dispositivos. Nos itens A) e B), os dispositivos foram configurados da seguinte forma: Controlador, o valor do Pan Id foi 17, foi configurado o estado dormindo (SP) para 3 segundos, o xbee 34 foi configurado como dispositivo final, modo sleep cíclico 4, 3 ms para o estado acordado (ST), 3 segundos para o estado dormindo (SP) e IR, enquanto que o xbee 35, foi configurado como roteador, sem sleep configurado, pois, encontra-se como referência.

Fonte: Autor.

Como apresentado na Figura 34 e Tabela 5, a redução do tempo acordado ST para apenas 3 ms não impactou negativamente na captura das ativações. Os dispositivos mantêm boa correspondência tanto na situação de longo período sem ativação (Fig. 34A), assim como nos períodos de alta frequência de ativação (Fig. 34B), exceto pela perda de uma ativação no instante ~13:26, onde o dispositivo 35 (a referência, sem dormir) perde uma ativação.

Nota-se que os erros nas ativações ocorrem apenas quando as ativações são frequentes, com intervalo da ordem de alguns segundos. Este erro não impactaria a análise dos resultados, que visa identificar situações de risco para o idoso, caracterizada por falta de atividade (ativações) por períodos mais longos. Nota-se nas Figuras 31-34 que ambos os dispositivos são ativados sempre que o intervalo entre ativações é da ordem de minutos. Para melhor entender este comportamento plotamos o intervalo entre ativações para ambos os dispositivos 34 e 35 para o caso de $ST/SP = 100$ na Figura 35.

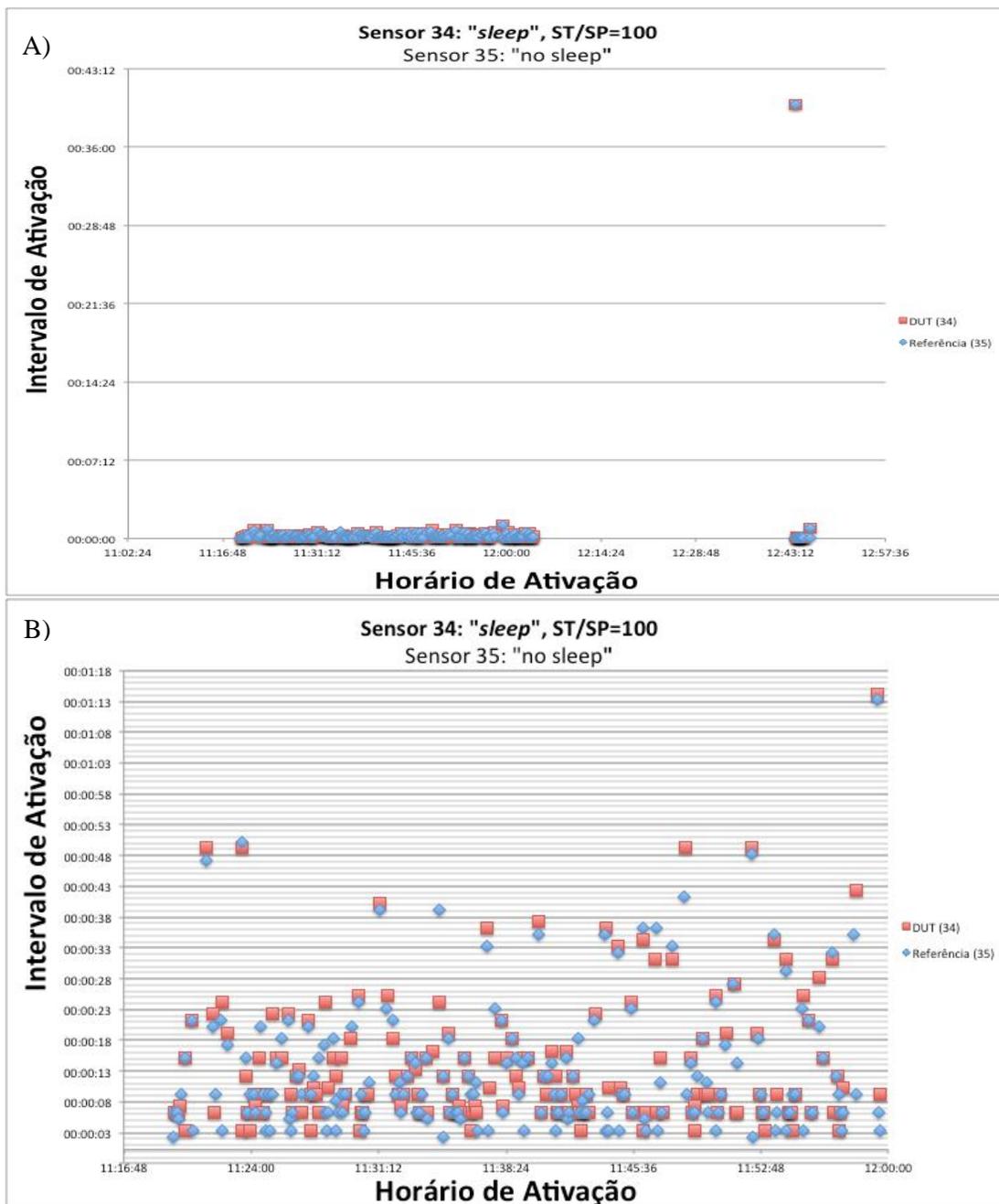


Figura 35: A e B: Amostra das ativações dos dispositivos com modo "sleep" configurado. Os dispositivos tiveram as seguintes configurações: Controlador, o valor do Pan Id foi 17, foi configurado o estado dormindo (SP) para 3 segundos, o xbee 34 foi configurado como dispositivo final, modo sleep cíclico 4, 30 ms para o estado acordado (ST), 3 segundos para o estado dormindo (SP) e IR, enquanto que o xbee 35, foi configurado como roteador, sem sleep configurado, pois, encontra-se como referência. Fonte: Autor

A Figura 35 permite visualizar que ambos os dispositivos, são ativados ao mesmo tempo para longos intervalos entre ativações de até 39 minutos. Já a Figura 35 B mostra o mesmo resultado, mas numa escala vertical expandida. Esta Figura mostra boa correspondência entre os dispositivos com um possível atraso relativo entre as ativações < 15s. Notamos também que a perda (ou excesso) de ativações ocorre quando o intervalo entre ativações é menor que 18s.

Demonstramos assim, que o estado de dormência pode ser utilizado sem perda de informação para o monitoramento de idosos para valores de ST (período acordado) tão curtos quanto 3 ms e razão entre tempo acordado e dormindo de 0,1%. As possíveis diferenças entre o número e momento de ativação que o estado de dormência possa trazer não são significativas para o monitoramento de idosos, já que elas ocorrem apenas quando o intervalo entre ativações sucessivas é pequeno, menor que 18s.

4.6 Experimento 5

Um aspecto importante desse projeto é a autonomia das baterias. Conforme discutido anteriormente, é desejável a utilização de baterias para se evitar a necessidade de cabeamento nas residências, o que poderia constituir um entrave para a adoção do sistema. Consideramos que uma autonomia de 3 meses ou mais seja necessário para que o custo e a manutenção sejam viáveis.

Esse experimento tem objetivo identificar o consumo de energia de um nó sensor para as diversas opções de configurações nos dispositivos como: estado sem dormir (*no sleep*), mesmo período de tempo acordado e dormindo (1-1), dez vezes mais tempo dormindo que acordado (1-10) e cem vezes mais tempo dormindo em relação ao estado acordado (1-100). Com a identificação do consumo de energia dos dispositivos, poderemos identificar a capacidade necessária das baterias a serem utilizadas e escolher o modelo mais adequado. As especificações de consumo dos dispositivos *xbee* deixam muito a desejar (Tabelas 1 e 2, XBEE STORE, 2011) e não permitem um cálculo exato do consumo de energia para as várias configurações empregadas. Sendo assim, elaboramos o experimento descrito nessa seção para obter uma melhor estimativa do consumo de energia assim como entender o impacto das configurações do estado de dormir.

Inicialmente, um nó sensor consistindo de um dispositivo *xbee* ligado a uma placa *explorer regulated* foi conectado juntamente com um sensor *PIR* em paralelo com uma resistência de $10k\Omega$ a uma fonte de tensão, modelo Keithley 2230-30-1 (figura 36). Essa fonte de tensão é conveniente, pois, mostra em seu *display* o valor da tensão assim como da corrente sendo fornecida. Utilizamos assim a própria fonte de tensão como instrumento de medição da corrente fornecida/consumida pelo nó sensor. O consumo de energia para várias configurações do *xbee* é mostrada na Tabela 6.

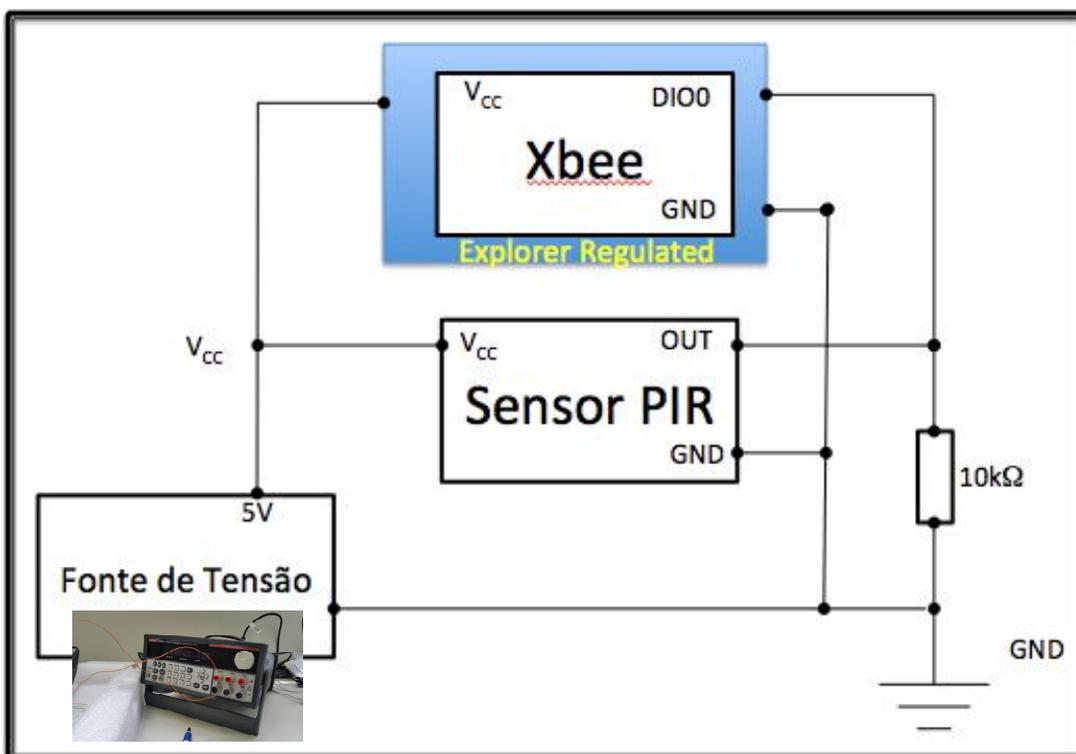


Figura 36: Esquema do experimento para medição da corrente fornecida/consumida pelo nó sensor.
Fonte: Autor

Tabela 6: Corrente consumida pelo dispositivo Zigbee para várias configurações.

DISPOSITIVO	Sleep - SM	ST	SP	Relação ST/SP	Booster Mode	Corrente Acordado	Corrente Dormindo	Corrente Média
Roteador, Dispositivo Final, Explorer ou PIR	Sim ou Não	x 1ms	x10ms		Ativado ou Desativado			
Roteador	Não	-	-	-	Ativado	-	-	42 mA
					Desativado			40 mA
Dispositivo Final	Sim	5DC (1,5 seg)	96 (1,5 seg)	1	Desativado	15 mA	2 mA	-
		12C (0,3 seg)	12C (3 seg)	0,1		15 mA	2 mA	-
		1E (30ms)	12C (3 seg)	0,01		-	-	2 mA
		3 (3ms)	12C (3 seg)	0,001		-	-	2 mA
		3 (3ms)	12C (3 seg)	0,001	Ativado	-	-	2 mA
PIR								0 mA
Explorer								2 mA

Notamos um aumento no consumo de 2 mA quando o *booster mode* é ativado. O *booster mode* aumenta a potência emitida pelo transmissor em 2 dB e permite um aumento na distância máxima entre o nó sensor e o *router* ou coordenador mais próximos. De acordo com as especificações em DIGI INTERNACIONAL (2012), o consumo de corrente para o *booster mode* ativado deve ser de 40 mA versus 38 mA (a 3,3V) para o *booster mode* desativado, consistente com a diferença de corrente fornecida que foi medida. O modo de operação com *booster mode* não é necessário para as distâncias relativamente curtas envolvidas em um ambiente domiciliar. O máximo consumo de corrente total do nó sensor foi medido em 42 mA (*booster mode* ativado). Quando removemos o dispositivo *xbee* e deixamos apenas a placa *explorer regulated* com o sensor *PIR*, obtemos um consumo de 2 mA. Já quando essa placa também é removida e apenas o sensor *PIR* e o resistor estão conectados a fonte de tensão, a corrente fornecida é menor que o valor mínimo detectado pela fonte de tensão, com *display* igual a 0mA. Ativação do sensor *PIR* não altera o valor detectado da corrente indicando que a placa *Explorer Regulated* consome 2 mA e é responsável pela diferença entre a corrente medida no modo sem “*sleep*”, 42 mA, e o valor da especificação, 40 mA. Essa placa serve para regular a tensão de 5V para 3,3V, sinalizar funcionamento do *Xbee* e condicionar os sinais, e poderá ser removida numa configuração final do nó sensor.

Quando o *xbee* é configurado no modo de “*sleep*” cíclico, vemos uma oscilação na corrente fornecida pela fonte de tensão entre o valor de 2 mA (estado de dormência) e 15 mA (estado acordado). Isto pode ser observado para os casos

de $ST=SP=1,5s$ e $ST=0,3s$ e $SP=3,0s$. Para valores de ST menores, o período acordado é muito rápido e a corrente consumida no período acordado não é mostrada no *display* da fonte de tensão. Nesses casos, a corrente fornecida mostrada pela fonte de tensão, 2 mA, é o valor médio de corrente consumida. Note que a placa *explorer regulated* consome 2 mA e portanto, o consumo de corrente do *xbee* para ST/SP igual a 0,01 e 0,001 é muito pequeno e não pode ser inferido através do valor de corrente fornecida mostrado pela fonte de tensão.

Para estimar o consumo da corrente do *xbee* nas diversas configurações, montamos o circuito mostrado na Figura 37, onde um Arduino é utilizado para registrar o valor da tensão de um banco de baterias que alimentam o *xbee* ao longo do tempo. Utilizamos três baterias LR44 de 1,5 volts cada, instaladas em série, disponibilizando 4,7 volts aproximadamente de tensão. As baterias LR44 foram escolhidas por sua pouca autonomia, tipicamente ~120 mAh, resultando numa queda de tensão num tempo de reduzido de algumas horas. Utilizamos baterias da marca MOX, disponíveis em grandes quantidades, permitindo que comprássemos um número suficiente de baterias do mesmo lote. Isso é importante para que todas as baterias tenham a mesma idade e condição de armazenamento, diminuindo assim o risco das baterias terem desempenho diferente devido a estas questões. No entanto, não encontramos especificações do fabricante com relação a capacidade das baterias e suas curvas de descarga. De qualquer forma, a curva de descarga depende da corrente de descarga e, portanto, precisaria ser medida de qualquer forma na nossa configuração.

Para simular a condição de operação do dispositivo *xbee* no modo cíclico, este foi posto em comunicação com um coordenador. Dessa forma, o transmissor e receptor do *Xbee* são ativados periodicamente como no sistema real. Isso é importante, porque o consumo de corrente pelo *Xbee* é maior nesses períodos. A placa de arduino e o *xbee* coordenador foram alimentados pela conexão USB com o computador. Já o *xbee* dispositivo final que estava sendo testado, foi alimentado pelas baterias LR44.

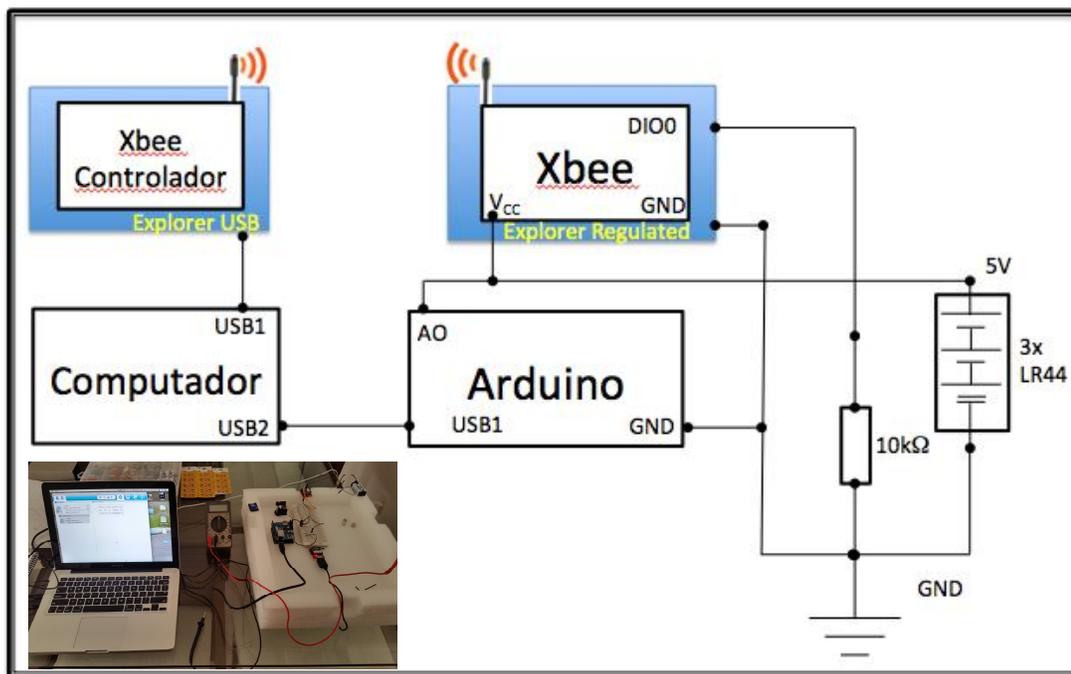


Figura 37: Esquema dos experimentos para avaliação da autonomia das baterias. Em alguns experimentos a placa Xbee Explorer Regulated foi removida. Fonte: Autor

Inicialmente foi realizado o teste com o *xbee* referência configurado como dispositivo roteador no modo “*no sleep*”, sendo alimentado diretamente pelas baterias LR44 em séries. Na Figura 38 foi plotado no gráfico a tensão das baterias no ponto inicial que é de 4,7 volts, porém, com o passar do tempo essa carga apresenta redução até o momento que o dispositivo perde conexão com o servidor e para de funcionar, isso acontece quando a bateria chega na marca de 3,2 volts aproximadamente. Note que a curva de descarga tem a forma característica da descarga de baterias alcalinas, comparando com os gráficos plotados por GONÇALVES (2016). Considerando que o *Xbee* especifica uma fonte de alimentação de 3,3 V, a autonomia das baterias LR44 utilizadas para essa tensão é de 36 minutos com a placa explorer e 44 minutos sem a placa explorer, correspondendo a uma capacidade de 25,2 mAh e 29,3 mAh respectivamente. Esses valores são muito menores (~4x) que a capacidade típica de 120 mAh para esse tipo de bateria. No entanto, as capacidades são normalmente medidas para cargas de 4 a 10 kΩ, correspondendo a correntes de apenas 0.1-0.3 mA, muito menores que a corrente consumida neste experimento. Estes resultados mostram a inviabilidade da alimentação do nó sensor por baterias no modo sem dormir, já que a operação por 3 meses requereria uma bateria com capacidade de 86.400 mAh

(40mA x 90 dias). É primordial então a viabilização da operação dos nós sensores no modo de dormir.

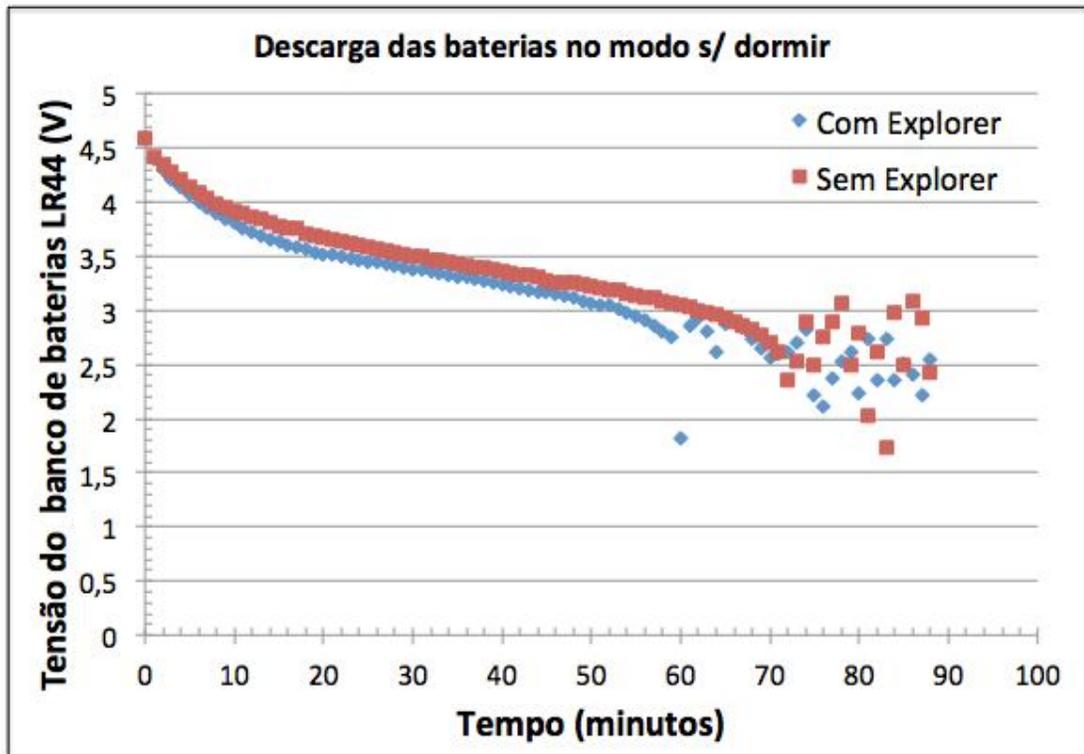


Figura 38: Curva de descarga para os casos sem dormir com e sem o Explorer Regulated.
Fonte: Autor

A Figura 39 (A) abaixo mostra os resultados obtidos para várias configurações do modo *sleep* em escala linear enquanto a Figura 39 (B) mostra os mesmos resultados em escala logarítmica para melhor visualização da descarga nos tempos iniciais. As curvas de descargas na figura 39 permitem visualizar que as baterias saem da região nominal de operação (Gonçalves, 2016) em $\sim 3,7V$. A Tabela 7 resume o tempo de vida para as voltagens de 3,3 V (especificação para alimentação do *Zigbee*) e 4,0V. Note que à medida que o tempo acordado é reduzido a capacidade da bateria aumenta, chegando a 236x mais para $V=3,7V$ e $ST/SP=0,01$ com a placa *Explorer Regulated*. Notamos também que o aumento não é linear com a redução em ST/SP . Por exemplo, as curvas para os casos de $SP/ST= 0,1$ e $0,01$ estão bem próximas. Isso se deve ao fato da contribuição do consumo da placa de *Explorer* ficar maior que a medida que o consumo do *xbee* e diminui com a redução do tempo acordado. Quando removemos a placa de *Explorer* temos um ganho significativo como pode ser visto na Figura 38 para o caso de $SP/ST=0,01$.

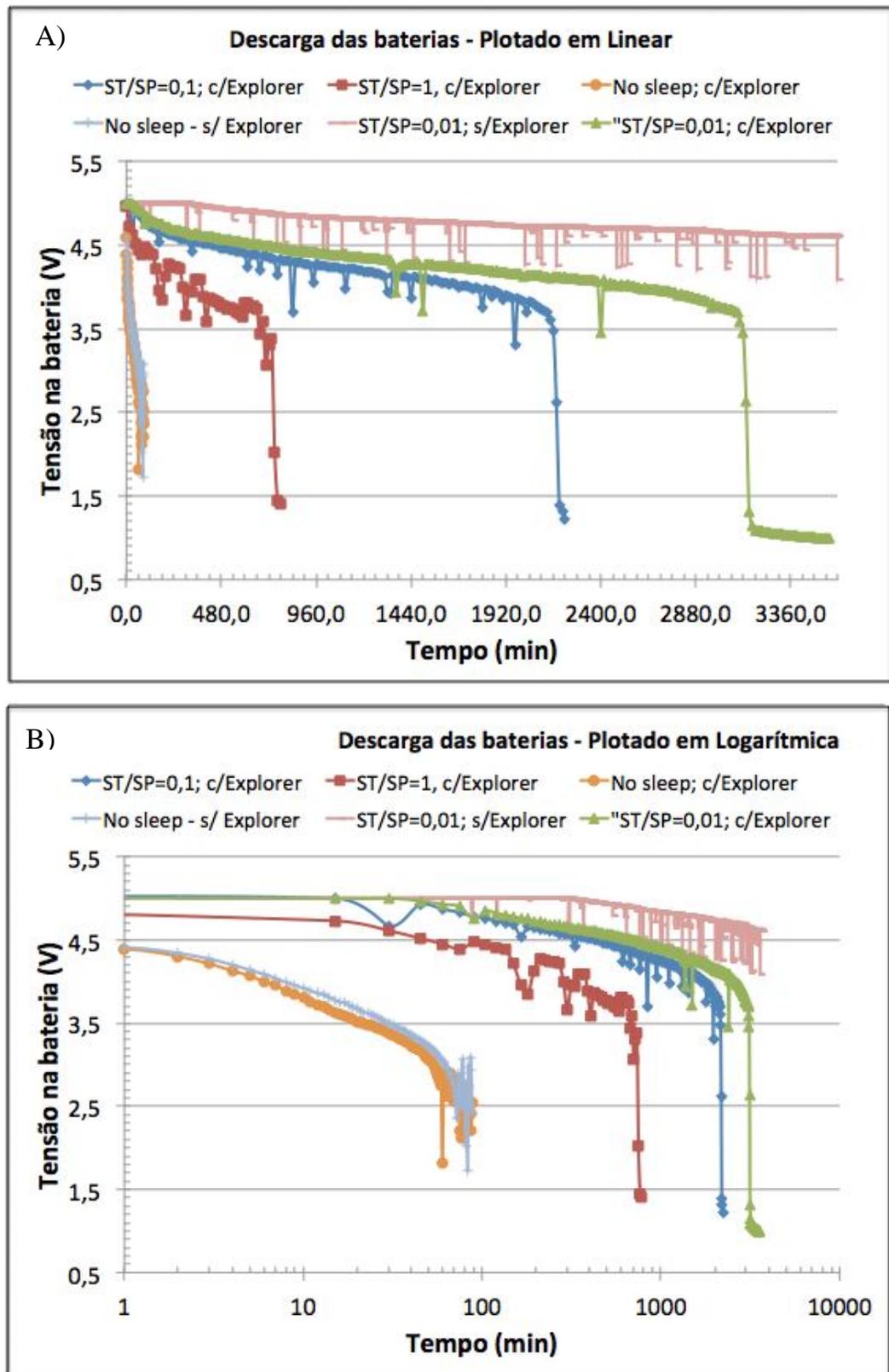


Figura 39: (A) e (B). Curva de descargas das baterias para vários estados de Dormência.
 Fonte: Autor

Tabela 7: Resumo dos Resultados – Descargas das Baterias. Fonte: Autor

CONFIGURAÇÃO	TEMPO PARA V= 3,3 V (min)	TEMPO PARA V= 3,7 V (min)	TEMPO PARA V=4,0 V (min)	Ganho com relação a sem "sleep" com Explorer		
				V=3,3V	V=3,7V	V=4,0V
Sem Sleep - Sem Explorer	44	18	8	1,2	1,4	1,3
Sem Sleep - Com Explorer	36	13	6	1,0	1,0	1,0
ST/SP = 1 - Com Explorer	720	690	285	20,0	53,1	47,5
ST/SP = 0,1 - Com Explorer	2195	2130	1680	61,0	163,8	280,0
ST/SP = 0,01 - Com Explorer	3120	3075	2595	86,7	236,5	432,5
ST/SP = 0,01 - Sem Explorer	>3591	>3591	>3591			

Note que as baterias LR44 não são as mais adequadas para alimentação de um nó sensor e baterias com capacidade muito maior podem ser facilmente obtidas como mostrada na Tabela 8. Por exemplo, se utilizarmos baterias do tipo AA, espera-se um tempo de vida 22 vezes mais que para as baterias LR44 e um bateria D permitiria um tempo de vida 100 vezes maior. Na realidade, as baterias LR44 foram escolhidas para acelerar o processo de descarga e permitir estimar o consumo de energia. Por exemplo, podemos ver pelos gráficos da figura 39 e tabela 7, que a descarga da bateria LR-44 ocorre a ~3000min para V=3,7 V para o caso de ST/SP=0,01 com a placa Explorer. Se assumirmos que a capacidade da bateria LR-44 é de ~120 mAh (ou 7200 mAmín) como mostrado na tabela 8, encontramos uma corrente média $i=7200/3000=2.4$ mA. Por outro lado, sabemos que a placa Explorer consome ~2mA. Sendo assim, subtraindo esse valor, podemos estimar a corrente média do Xbee nessa configuração em ~0,4 mA. Dessa forma, pode-se estimar uma autonomia de ~125 dias para baterias do tipo AAA ou ~281 dias para baterias AA. Pode-se então concluir que é viável a alimentação dos nós sensores com baterias alcalinas com autonomia superior a 180 dias, como estabelecido nos objetivos iniciais do projeto.

Tabela 8: Modelos de Baterias. Fonte: Autor

BATERIA	TIPO	CAPACIDADE
LR44	Alcalina	120 mAh
AAA	Alcalina	1200 mAh
AA	Alcalina	2700 mAh
C	Alcalina	8000 mAh
D	Alcalina	12000 mAh

Para melhor entender a dinâmica do consumo de corrente, fizemos novas medidas utilizando um osciloscópio, conforme esquematizado na Figura 40. Neste experimento utilizamos 3 canais de um osciloscópio Tektronix DPO4104B-L para monitorar:

- Canal 1/Traço amarelo: sinal produzido pelo sensor PIR. Alto por um período de ~3,4s quando o PIR é ativado.
- Canal 2/Traço azul: monitor de “*sleep*”. Esta saída é alta quando o Xbee está acordado e baixa quando dormindo
- Canal3/Traço rosa: corrente fornecida pela fonte de tensão, medida com a o medidor de corrente TCPA300 da Tektronix.

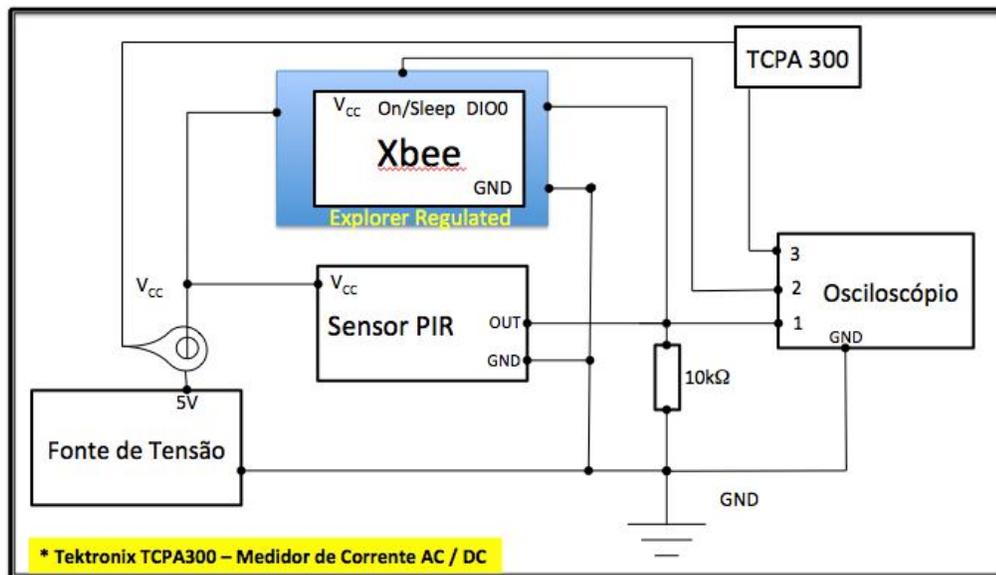


Figura 40: Esquema dos experimentos para avaliação do consumo de corrente dos dispositivos eletrônicos utilizados nesse projeto. Fonte: Autor

A Figura 41 (A) e (B), mostram as medidas para o *xbee* configurado no modo dormir com $ST=SP=1,5s$ e *booster mode* desabilitado. A saída do PIR (traço amarelo) mostra três ativações indicada pelos pulsos com tensão alta por 3,44s. O monitor de *sleep* (traço azul) mostra que o *xbee* está operando no modo cíclico indicado pelos pulsos periódicos. O valor de ST (tempo acordado) corresponde ao tempo alto (1,5s) e o valor de SP (tempo dormindo) ao tempo baixo (1,5s). A corrente fornecida pela fonte de tensão é mostrada pelo traço rosa, com uma escala correspondente a 20mA/divisão. Vemos que a corrente apresenta uma componente DC de ~2mA (meia subdivisão) correspondente a corrente consumida pela placa *Explorer Regulated*. Quando o dispositivo *zigbee* está acordado, a corrente

apresenta um pulso quadrado com sequência de pulsos sobrepostas a ele. Este pulso quadrado tem uma amplitude de $\sim 12\text{mA}$ com duração igual ao tempo acordado ST de 1,5 s. A sequência de pulsos sobrepostos tem amplitude de 40mA e deve corresponder aos momentos de ativação do rádio (transmissor e receptor) do *xbee* para comunicação com o coordenador, de acordo com a corrente consumida para transmissão e recepção da especificação (Tabela 2, DIGI INTERNATIONAL 2012). A corrente apresenta um “pré-pulso” bastante rápido e de alta intensidade ($\sim 145\text{mA}$) que aparece $\sim 1\text{ms}$ antes do início do pulso quadrado que pode ser melhor visualizado na Figura 41 B com a escala de tempo ampliada. Não sabemos exatamente o que ocorre durante esse pulso, mas pelo fato de ser periódico, deve estar associado com o processo de acordar do *xbee*.

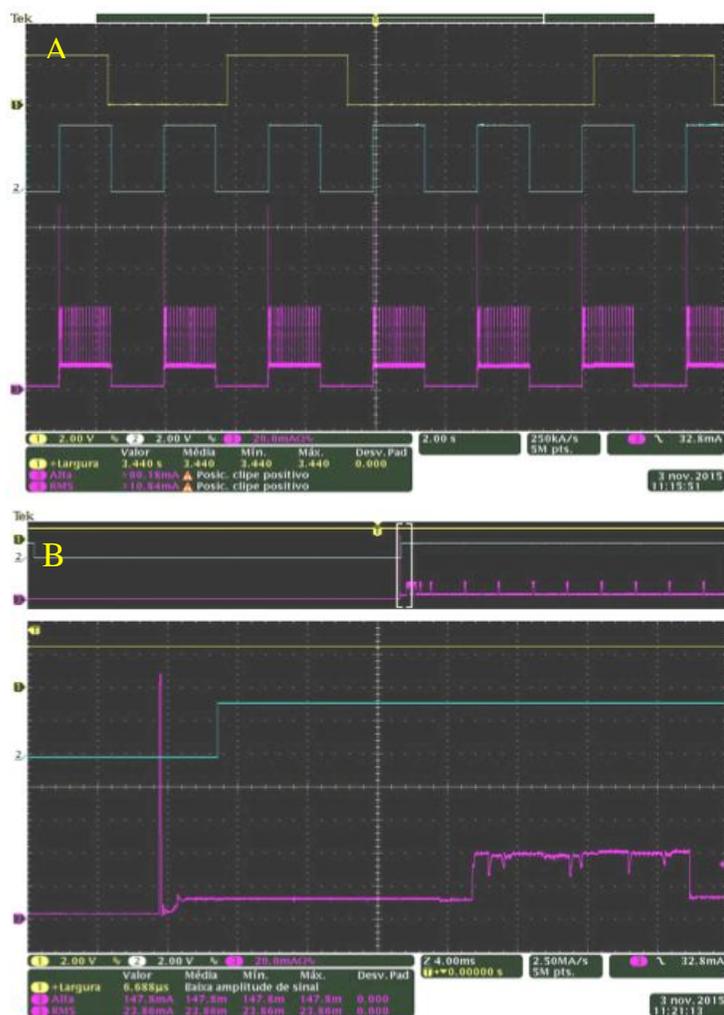


Figura 41: Imagem dos canais 1, 2 e 3 do osciloscópio do experimento descrito no esquema da Fig. 40: Saída do PIR (canal 1/traço amarelo), Monitor de “Sleep” (canal 2/traço azul), corrente fornecida pela fonte de alimentação medido com uma ponta de prova de corrente (canal 3/traço rosa). A) e B) ST/SP=1,5s; e “booster mode” desabilitado. Fonte: Autor

Na Figura 42 (A)-(F) mostramos os traços do osciloscópio para várias razões de ST/SP, com SP=3s e *booster mode* desabilitado. Vemos que a medida que o tempo acordado é reduzido, a largura do pulso do monitor de *sleep* assim como da corrente consumida reduz proporcionalmente. O pré-pulso no início da ativação da corrente não muda de forma visível nos gráficos apresentados na Figura 42 (B), (D) e (F).

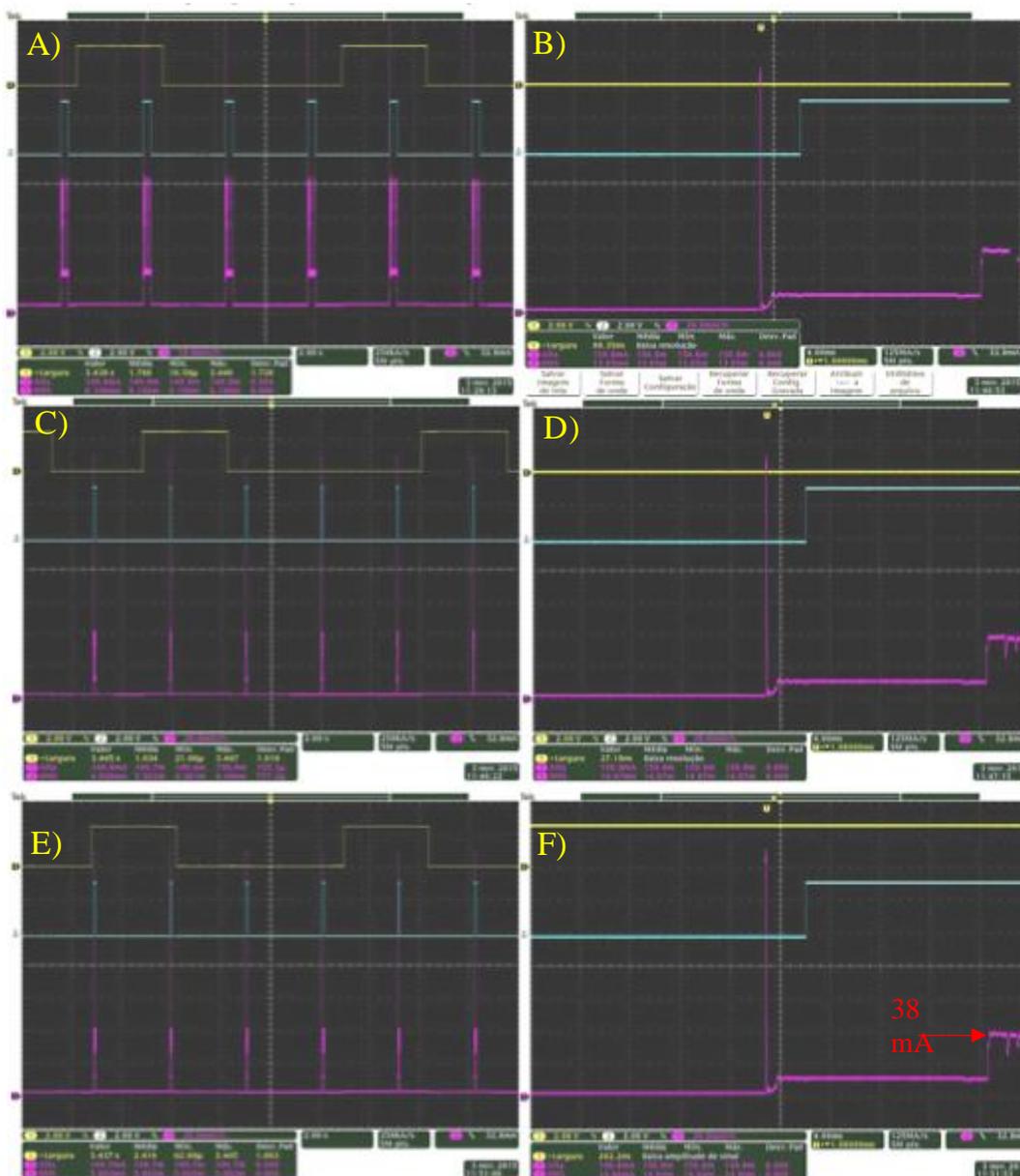


Figura 42: Imagem dos canais 1, 2 e 3 do osciloscópio do experimento descrito no esquema da Fig. 40: Saída do PIR (canal 1/traço amarelo), Monitor de “*Sleep*” (canal 2/traço azul), corrente fornecida pela fonte de alimentação medido com uma ponta de prova de corrente (canal 3/traço rosa). A) e B) ST/SP=0,1; C) e D) ST/SP=0,01; E) e F) ST/SP=0,001; SP= 3s e “*booster mode*” desabilitado.

Fonte: Autor

A Figura 43 (A) e (B) é semelhante a Figura 42 (E) e (F), exceto que agora o *booster mode* foi ativado. Neste caso, a única alteração visível é um aumento de $\sim 2\text{mA}$ na amplitude dos pulsos de corrente, consistente com o aumento de corrente de 2mA na especificação. Essa diferença aparece em todas as medidas realizadas com o *booster mode* ativado.

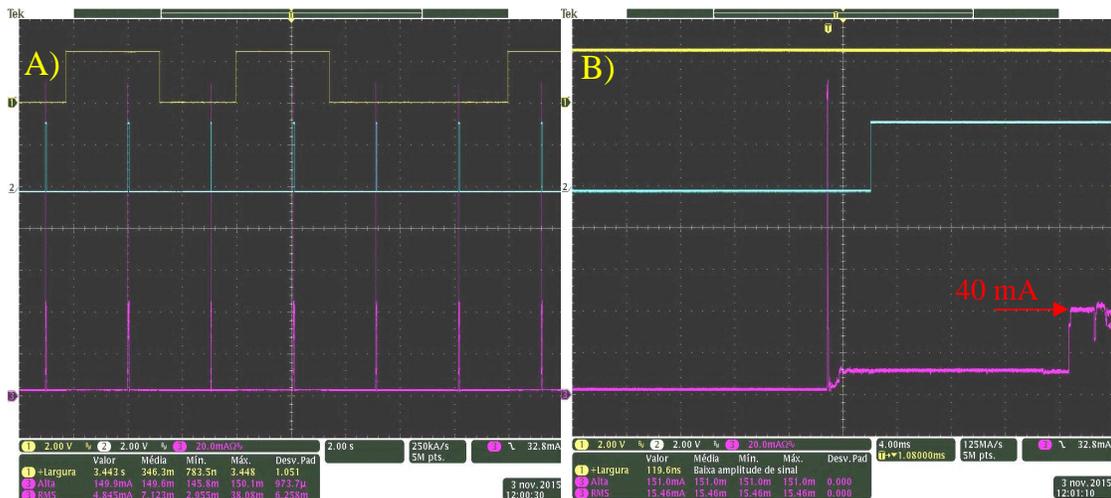


Figura 43: Imagem dos canais 1, 2 e 3 do osciloscópio do experimento descrito no esquema da Fig. 40: Saída do PIR (canal 1/traço amarelo), Monitor de “Sleep” (canal 2/traço azul), corrente fornecida pela fonte de alimentação medido com uma ponta de prova de corrente (canal 3/traço rosa). A) e B) $ST/SP=0,01$; e “*booster mode*” desabilitado. Fonte: Autor

A Figura 44 (A)-(D) mostra os traços de osciloscópio obtidos para $ST=ST=1,5\text{s}$ com *booster mode* ativado para vários locais de amostragem indicados pelas janelas nas figuras do topo. Vemos na Figura 44 (A) que há 18 pulsos em cima do pulso quadrado de corrente (traço rosa) correspondente ao tempo acordado. Os pulsos de número 4 a 18 aparecem periodicamente com um espaçamento de $\sim 98\text{ms}$ (Figura 44 (A) e (B)). Esses pulsos correspondem a interrogações que o dispositivo final faz para o servidor (“*poll request*”) a cada 100ms durante o tempo acordado sobre possíveis dados ou instruções do servidor para o dispositivo final. Esses pulsos são de pouco uso para a nossa aplicação como será visto mais adiante. A Figura 44 (C) e (D) mostram os traços medidos agora para uma região onde há transição do PIR de alto para baixo. Note que não há impacto visível durante essa transição nos traços de corrente, indicando que a ativação do PIR e estado da porta de entrada digital (DIO0 neste caso) não afeta o consumo de corrente.

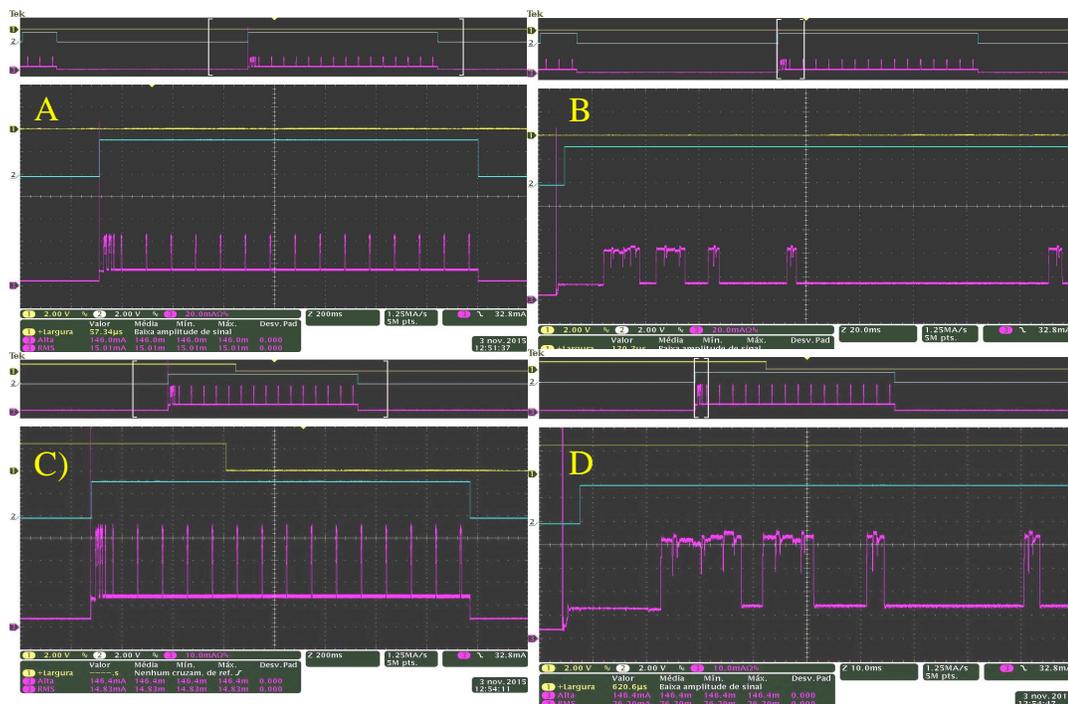


Figura 44: Imagem dos canais 1, 2 e 3 do osciloscópio do experimento descrito no esquema da Fig. 40: Saída do PIR (canal 1/traço amarelo), Monitor de “Sleep” (canal 2/traço azul), corrente fornecida pela fonte de alimentação medido com uma ponta de prova de corrente (canal 3/traço rosa). (A)-(D) $ST/SP=1,5s$ e “booster mode” ativado. Fonte: Autor

Na Figura 45 (A)-(F) mostramos os traços do osciloscópio para várias razões de ST/SP , com $SP=3s$, semelhantes a Figura 42, mas com o *booster mode* ativado e escala ajustada para visualização dos pulsos quadrados de corrente em sua totalidade. Uma comparação entre as Figuras 45 (A) e (B) com a Figura 44 mostram um comportamento semelhante. A corrente apresenta uma sequência de pulsos em cima de um pulso largo quadrado. Os três primeiros pulsos são semelhante e são seguidos por outros periódicos com espaçamento de ~ 98 ms. A principal diferença é que o número de pulsos periódicos é reduzido no caso de $ST/SP=0.1$, porque o dispositivo volta a dormir mais cedo. Quando reduzimos novamente o tempo acordado em 10x, $ST/SP=0,01$, os pulsos periódicos com espaçamento de 98 ms desaparecem, ficando apenas os 3 primeiros pulsos (Figura 45 C). A Figura 45 D é equivalente a 45 C mas durante um período com o PIR baixo. Não temos explicação para a fusão do primeiro e segundo pulso desta figura. Já a Figura 45 E e F mostramos traços obtidos para $ST/SP=0,001$. Essa nova redução em 10x no valor de ST faz com que apenas parte do primeiro sobre pulso esteja presente. Note que a duração do monitor de *sleep* não corresponde aos valores de ST especificados de 30 ms para as figuras 45 C e D e 3 ms para as Figuras 45 E e F. Note também que

no caso de $ST = 3ms$, os dois traços medidos do monitor de *sleep* apresentam valores diferentes. Por outro lado, a corrente consumida acompanha o monitor de *sleep*. Estes dados sugerem que existe um limite mínimo para o valor do tempo acordado, que pode ser diferente do valor configurado para *ST*. O manual do *Xbee* indica que o dispositivo só volta a dormir quando o *sleep timer* (*ST*) acaba e a comunicação com o servidor é finalizada. Entende-se assim, que a comunicação com o servidor é o fator limitante no tempo mínimo que o dispositivo fica acordado e consequentemente no consumo de corrente.

A Figura 46 (A)-(E) mostra os traços do monitor de *sleep* para vários valores de *ST* assim como a média dos valores medidos. A medida para $ST=3ms$ foi repetida para um segundo dispositivo com resultado semelhante, mostrando que esse comportamento não ocorreu devido a um defeito no dispositivo testado.

Esses resultados indicam que existem limites para o valor mínimo de energia consumida no caso de operação do *Xbee* no modo cíclico. Esse valor é limitado pelo valor mínimo acordado ($\sim 30ms$) e o valor máximo de dormir (*SP*) que é determinado pela duração do PIR. Um valor de *SP* maior que a duração de ativação do PIR pode resultar em perda de ativação do sensor PIR. Isso pode causar problemas em situações de pouca movimentação no ambiente e causar alarmes falsos.

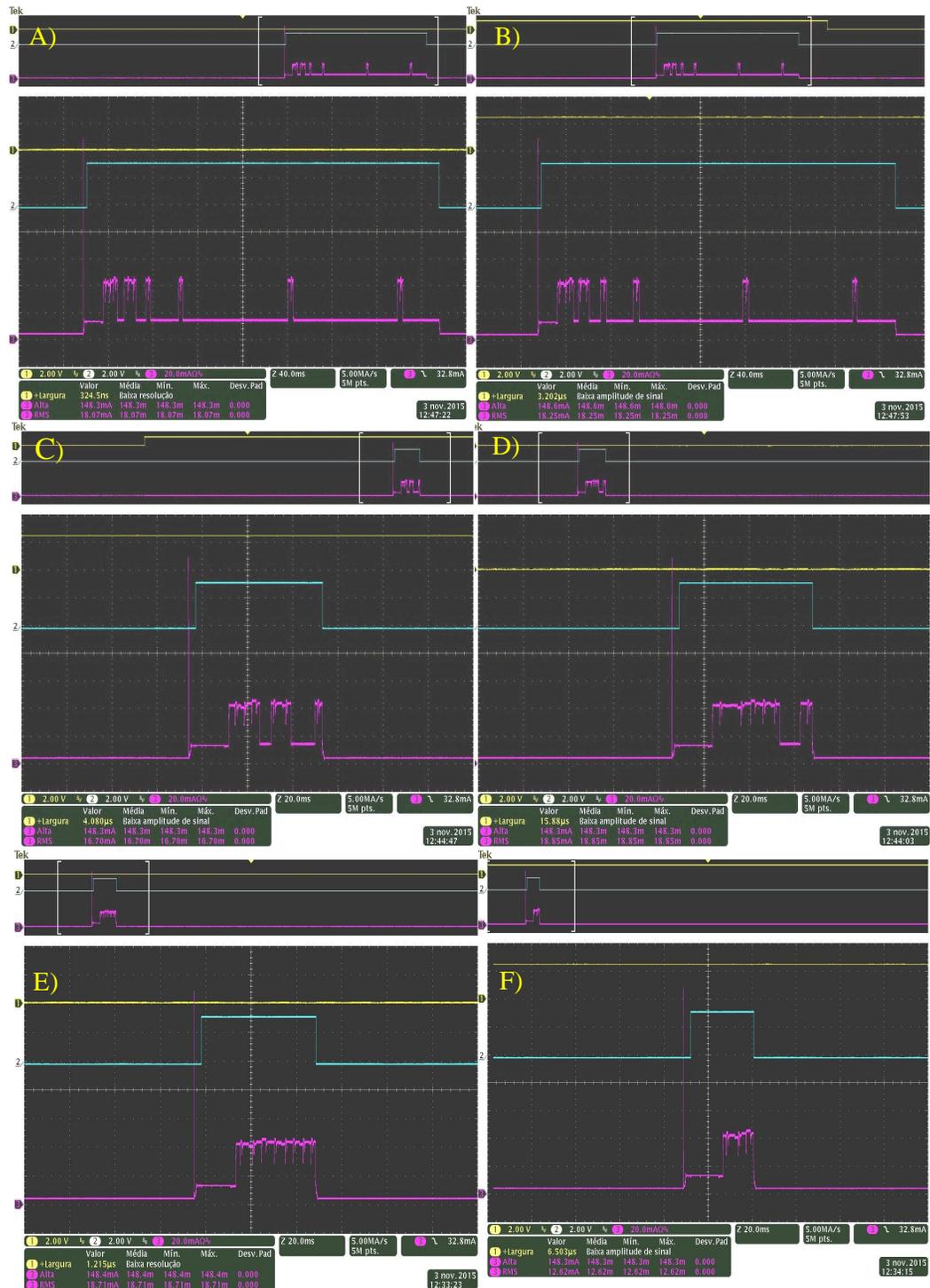


Figura 45: Imagem dos canais 1, 2 e 3 do osciloscópio do experimento descrito no esquema da Fig. 40: Saída do PIR (canal 1/traço amarelo), Monitor de “Sleep” (canal 2/traço azul), corrente fornecida pela fonte de alimentação medido com uma ponta de prova de corrente (canal 3/traço rosa). A) $ST/SP=0,1$ e PIR baixo; B) $ST/SP=0,1$ e PIR alto; C) $ST/SP=0,01$ e PIR alto; D) $ST/SP=0,01$ e PIR baixo; E) $ST/SP=0,001$ e PIR baixo; F) $ST/SP=0,001$ e PIR alto; $SP= 3s$ e “booster mode” ativado. Fonte: Autor.

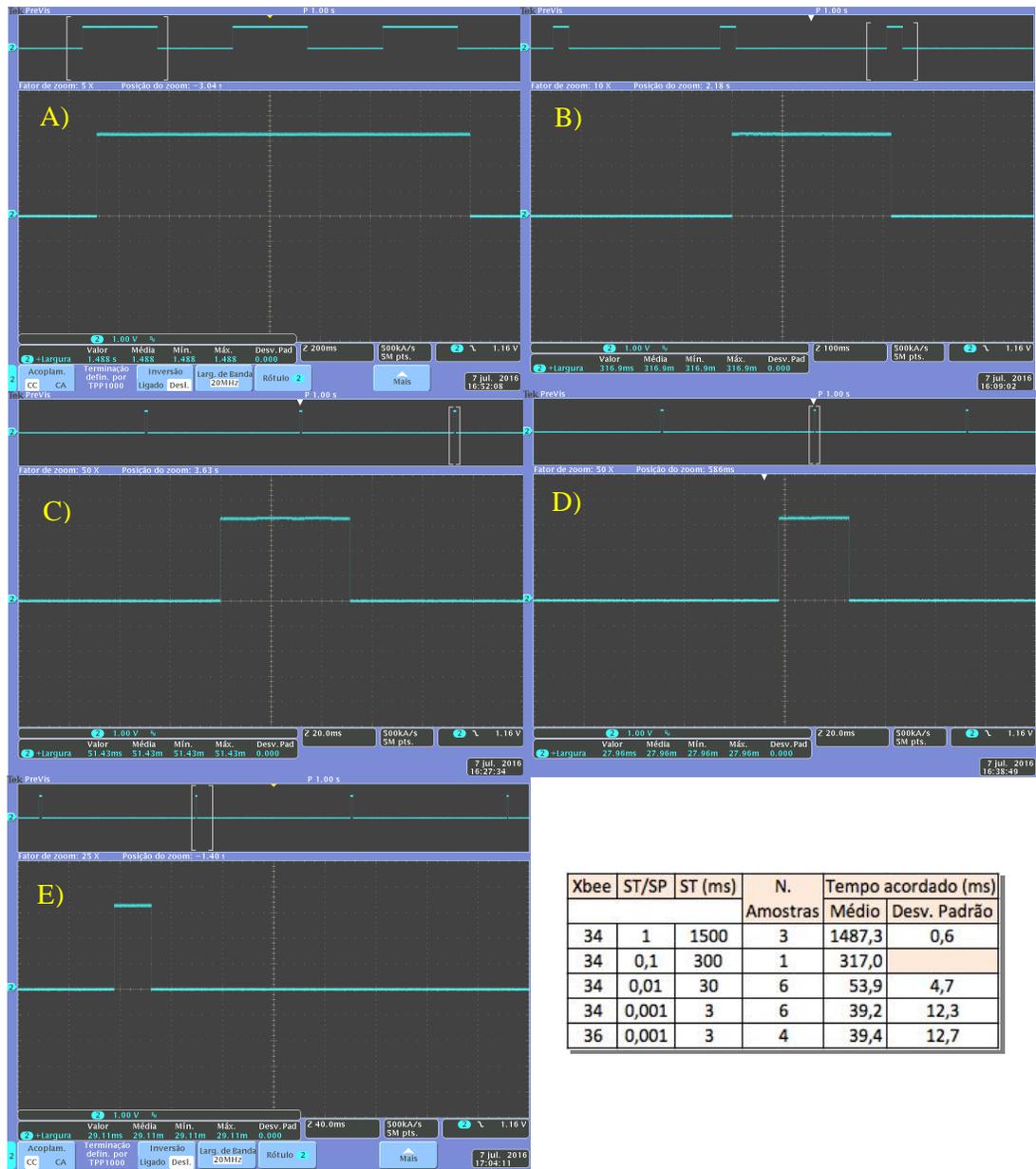


Figura 46: (A)-(E): Imagem do canal 2 do osciloscópio do experimento descrito no esquema da Fig. 40: Monitor de "Sleep" (canal 2/traço azul), corrente fornecida pela fonte de alimentação modelo Keithley 2230-30-1. A) ST/SP=0,1; B) ST/SP=0,1; C) ST/SP=0,01; D) ST/SP=0,01; E) ST/SP=0,001. Fonte: Autor

CAPÍTULO V

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

Uma rede de comunicação composta por dispositivos eletrônicos de baixo custo e não intrusivos, como os sensores de movimento (*PIR*) e de temperatura, capaz de monitorar o comportamento de indivíduos em ambientes unipessoais, foi projetada e demonstrada com auxílio das hipóteses citadas nesse trabalho.

Em resposta à Questão 1, Seção 1.7, foi possível instalar os dispositivos eletrônicos nos locais estratégicos da casa, que permitiram capturar os dados gerados pela movimentação frequente do indivíduo no ambiente unipessoal. É importante destacar que os dispositivos foram interligados através de rádios *Wireless Xbee*, com a finalidade de trocar informações entre eles.

Em resposta à Questão 2, Seção 1.7, foi demonstrado a viabilidade de comunicação sem fio entre os nós sensores com o servidor local através do uso de tecnologia *Zigbee*, e a alimentação por baterias do tipo alcalina é viável quando o modo de dormir cíclico é utilizado.

A autonomia das baterias é um fator importante para a praticidade do sistema, assim, neste trabalho, foi investigado a possibilidade de reduzir a energia consumida através do uso de um dos modos de hibernação dos rádios. Através da opção de configuração *Cyclic Sleep Remote* – 4 como estado de dormência, foi demonstrado uma redução do consumo de corrente em mais de 200x, permitindo melhor aproveitamento da autonomia das baterias e viabilizando o uso de baterias convencionais como as alcalinas. Os experimentos concluíram que não há perda de informação, mesmo para a razão entre tempo acordado e dormindo do rádio, $ST/SP < 0,01$. Importante lembrar que o tempo máximo de dormência é limitado pelo

tempo de ativação do sensor PIR enquanto o tempo mínimo acordado pelo tempo de comunicação com o servidor.

Com base no trabalho apresentado nessa dissertação, pode-se fazer as seguintes recomendações para implementação de um sistema como o descrito aqui:

1. Sensores

- Os sensores devem ser distribuídos em quantidade suficiente para evitar pontos cegos.
- A angulação dos sensores deve ser ajustada e limitada quando necessário para evitar sobreposição de cobertura dos sensores vizinhos.
- Filtros para ruído eletromagnético são recomendados para evitar ativação indesejável do sensor *PIR*.
- Um monitor de carga na bateria é recomendado para alertar a queda de tensão abaixo dos valores operacionais do módulo de rádio e do sensor *PIR* que oscila quando isso ocorre.
- O invólucro do nó sensor deve proteger a eletrônica de possível oxidação devido a maresia quando o ambiente estiver em região litorânea.

2. Módulo *Xbee*

- Todos os dispositivos *Xbee* (coordenadores como dispositivos finais) devem ter a mesma identificação de rede (PAN ID).
- O modo de dormir (*sleep*) deve ser utilizado para redução do consumo de energia e viabilização da alimentação por baterias alcalinas.
- O tempo máximo de dormir (SP) está limitado a duração do pulso de ativação produzido pelo *PIR* para evitar perda de ativação do mesmo.
- O tempo mínimo acordado (ST) está limitado pelo dispositivo *Xbee* em ~30-50ms.
- O coordenador deve estar sempre acordado, com SP configurado igual aos valores do dispositivos finais para evitar perda de sincronização.

5.2 Contribuições

Dentre as pesquisas realizadas e argumentações apresentadas no desenvolvimento desse projeto com relação a evolução tecnológica dos dispositivos eletrônicos e tendências dos indivíduos em morar sozinhos, é possível perceber o crescente número de trabalhos de monitoramento remoto e assistência de indivíduos.

Por essa razão, espera-se que o sistema proposto nesse projeto possa popularizar e contribuir direta e/ou indiretamente com o desenvolvimento de outros trabalhos, com as seguintes características: monitoramento via dispositivos eletrônicos, assistência remota, de baixo custo, não intrusivo e de fácil implementação.

Dentre as contribuições científicas deste trabalho podemos destacar a demonstração de uma rede de sensores para monitoramento do comportamento de indivíduos utilizando sensores não intrusivos e de baixo custo, sem perda de privacidade para o indivíduo. Outra contribuição importante é a demonstração da viabilidade de operação da rede de sensores com baterias convencionais e a quantificação da redução do consumo de energia no modo de dormir cíclico dos rádios *Zigbee*.

5.3 Atividades Futuras

Serão deixadas como sugestões para trabalhos futuros, a inclusão de uma interface que apresente o ambiente monitorado e seus dispositivos graficamente funcionando, podendo identificar a carga das baterias em uso, emitir alarmes para manutenção dos dispositivos inoperantes, emitir alarmes quando a casa for ocupada por mais de uma pessoa.

Importante também dar continuidade ao trabalho e realizar teste de campo com baterias em uso para investigar a autonomia proporcionada e estimar a autonomia do nó sensor para melhor avaliação financeira do sistema.

Sugere-se também explorar os outros estados de dormência disponíveis nos dispositivos *zigbee*, *Pin Hibernate* e *Cyclic Sleep Pin – Wake*, e avaliar a possibilidade de uma redução adicional no consumo de energia.

Enfim, esperamos que após a validação em campo do sistema descrito aqui, seja desenvolvido um produto comercial e/ou assistência domiciliar patenteados para idosos em residência unipessoal, tomando por princípio as pesquisas realizadas nesse projeto.

REFERÊNCIAS

ALLIANCE, ZigBee. **Zigbee specification faq**. ZigBee Alliance, [Online]. Available: <http://www.Zigbee.org/Specifications/ZigBee/FAQ.aspx>. [Acedido em 26 07 2012], 2014.

ALMEIDA, F. B. **Um modelo baseado em agentes para simulação de indivíduos em residências unipessoais**. Dissertação (Mestrado em modelagem computacional e tecnologias industriais) — SENAI - CIMATEC, Salvador, 2013.

ANT + ALLIANCE. (2015). <<http://www.thisisant.com/business/why-ant/ecosystem/>> Acessado em 06 de Julho de 2015.

ARAUJO, R. B. de; VILLAS, L.; BOUKERCHE, A. **Uma solução de QoS com processamento centrado para redes de atuadores e sensores sem fio**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS, 25, 2007, Belém. XXV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos. Belém: SBRC, 2007.

ARAUJO, Thiago Diniz; DA FONSECA, Eliana Lima. **Análise multitemporal dos Lençóis Maranhenses entre 1984 a 2014 utilizando Sensoriamento Remoto orbital**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 9, n. 1, 2016.

ATKINSON, R.; CASTRO, D. Digital Quality of Life - **Understanding the Personal and Social Benefits of the Information Technology Revolution**. 2014. URL: <http://www.itif.org/files/DQOL.pdf>. Acessado em 30-Maio-2015.

AKHTAR, Fayaz; REHMANI, Mubashir Husain. **Energy replenishment using renewable and traditional energy resources for sustainable wireless sensor networks: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 45, p. 769-784, 2015.

BALL, Stuart. – **“Embedded Microprocessor Systems: Real World Design”**, 3rd edition, Editora: MCPros, EUA, 2005.

BARSOCCHI, Paolo et al. Monitoring elderly behavior via indoor position-based stigmergy. **Pervasive and Mobile Computing**, v. 23, p. 26-42, 2015.

BBC, R. **Technologies for Long-Term Care and Home Healthcare: Global Markets**. 2013. URL: <http://www.bccresearch.com/report/download/report/hlc079b>. Acessado em 30-maio-2015.

BRAGA, CELIA CAMPOS et al. **Sazonalidade da Vegetação em Função do Regime Pluviométrico no Estado da Paraíba**. (SAZONALITY OF THE VEGETATION AS A FUNCTION OF THE RAINFALL REGIME IN THE PARAÍBA STATE). Revista Brasileira de Geografia Física, v. 7, n. 5, p. 905-914, 2015.

BRUNELLI, E.; ARAUJO, C.; SANTOS, S.; MELO, K.; SOUSSA, M. R. B.; BRAGA, P. F.; SOARES, C. L.; SENNA, V.; SILVA, V. L. **Arquitetura para o Monitoramento Remoto da Movimentação de Pessoas em Ambientes**. In: IV Workshop de Pesquisa Tecnologia e Inovação PTI, 2014, Salvador. Anuário de Trabalhos Apresentados. Salvador: Senai Cimatec, 2014.

Blu, 2004 **Specification of the Bluetooth System**.

Bluetooth SIG, Bluetooth Specification Version 4; **The Bluetooth Special Interest Group**: Kirkland, WA, USA, 2010.

BOLZANI, C.A.M. **Análise de Arquitetura e Desenvolvimento de uma Plataforma Residências Inteligentes**. 2010. 155p. Tese (Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2010.

CAPRILE, Sergio R. Equisbí: **Desarrollo de aplicaciones con comunicación remota basadas en módulos ZigBee y 802.15. 4**. Sergio R. Caprile, 2009.

CASTILHO, M. P. **Projeto de Protocolos Considerando as Características não Lineares das Baterias em Redes de Sensores Sem Fio**. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais Minas, 2009.

COUTAZ, J.; CROWLEY, J. L.; DOBSON, S.; GARLAN, D. Context is Key. In: **Communications of ACM**, n. 3, vol. 48, 2008, USA. p. 49-53.

DEMENTYEV, Artem et al. **Power consumption analysis of Bluetooth Low Energy, ZigBee and ANT sensor nodes in a cyclic sleep scenario**. In: Wireless Symposium (IWS), 2013 IEEE International. IEEE, 2013. p. 1-4.

DIGI INTERNACIONAL. (2012). **Datasheet XBee® / Xbee PRO® ZB RF Modules**, 90000976K, March 2012. Retrieved from <http://www.digi.com>

DIGI INTERNACIONAL. (2015). **X-CTU Configuration & Test Utility Software**. Retrieved March 10, 2015, from http://ftp1.digi.com/support/documentation/90001003_A.pdf

DUCATEL, K. et al. **Scenarios for Ambient Intelligence in 2010**. Disponível em <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/istagscenarios2010.pdf>. Acessado em 10 de Junho 2014.

D-ROBOTICS. (2010). Disponível em <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>. Acessado em 10 de março 2010.

ENERGIZER BATTERY MANUFACTURING. (2012). Alkaline Manganese Dioxide - Handbook and Application Manual. Energizer.

ESTRIN, Deborah et al. Next century challenges: **Scalable coordination in sensor networks**. In: Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking. ACM, 1999. p. 263-270.

EUROMONITOR. Special Report: **Rise in Single-Person Households Globally Impacts Consumer Spending Patterns.** 2012. URL: <<http://www.docstoc.com/docs/152262301/Rise-in-Single-Person-Households-Globally-Impacts-Consumer>>. Acessado em 21-janeiro-2014.

FARAHANI, Shahin. **ZigBee wireless networks and transceivers.** Newnes, 2011.

FERRAZ, David et al. **Monitorização Vital e Ambiental para Grupos de Pacientes recorrendo a Redes de Sensores.** 2010.

FRADEN, J.; **Handbook of Modern Sensors - Physics, Designs, and Applications.** Springer. New York, 2010.

FRADEN, Jacob; PINTSOV, David A. **Mobile communication device with electromagnetic radiation sensors.** U.S. Patent n. 8,825,112, 2 set. 2014.

GONÇALVES, Luís Marques. **Dimensionamento de sistemas de armazenamento de energia para cenários de contingência.** 2016.

GUIDONI, DANIEL L. **Aplicações dos Conceitos Mundo Pequeno no Projeto de Topologias para Redes de Sensores Sem Fio Heterogêneas.** Tese Doutorado - (Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais). 2012.

HAKAMADA, Rodrigo Eiji et al. **Uso do inventário florestal e da uniformidade entre árvores como ferramenta de monitoramento da qualidade silvicultural em plantios clonais de eucalipto.** Scientia Forestalis, v. 43, n. 105, p. 27-39, 2015.

HONG, S., Kim, N. E Kim, W.; **Reduction of False Alarm Signals for PIR Sensor in Realistic Outdoor Surveillance,** ETRI Journal 2013, Volume 35.

HUANG, C. - P. **Zigbee wireless network application research case study within taiwan university campus.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE LEARNING AND CYBERNETICS, 2009, Hebei. Proceedings of International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Washington: IEEE, 2009.

HUBALOVSKY, Stepan. **Remote Contact Learning as Method of Teaching of Algorithm Development and Programming in Distance Study.** Procedia-Social and Behavioral Sciences, v. 191, p. 1958-1963, 2015.

IBGE. Síntese de indicadores sociais: **Uma análise das condições de vida da população brasileira - 2012.** [Ftp://ftp.ibge.gov.br/Indicadores Sociais/Síntese de Indicadores Sociais 2012/SIS 2012.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Indicadores_Sociais/Síntese_de_Indicadores_Sociais_2012/SIS_2012.pdf). Acessado em 10-Fevereiro-2014.

IEEE Standard 802.11g. Technical report, July 2003.

IEEE Standard for Information 802.15.4, Oct 2003.

IIAVARASAN.S, Latha.P, Vijayaraj.A, **Resource Efficient Wireless Sensor Networks for Temperature and Gas Monitoring** - IJREAT International Journal of Research in Engineering & Advanced Technology, Volume 2, Issue 6, Dec-Jan, 2015

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELETRONICS ENGINEERS (IEEE). **802.11 Wireless Local Area Networks**. <<http://www.ieee802.org/11>>. Acessado em: 06 de agosto 2014.

JOBSTRAIBIZER, Flávia; **Desvendando as Redes Sem Fio**, Digerati Books, 2010.

JUAN Ye, et al. Simon Dobson e Susan McKeever (2011). **Situation identification techniques in pervasive computing**: A review, Pervasive and Mobile Computing.

KARL, H., Willig, A., Wolisz, A.; **Eye source routing protocol for wireless sensor networks**, Proceedings of the Work-in-Progress Session of the 1st European Workshop on Wireless Sensor Networks 2004, Berlim.

KIPNIS, Danil et al. The ANGEL IEEE 802.15. 4 enhancement layer: **Coupling priority queueing and service differentiation**. In: Wireless Conference, 2008. EW 2008. 14th European. IEEE, 2008. p. 1-7.

KLEINSCHMIDT, J.H. **Propostas e análise de estratégias de controle de erros para redes de sensores sem fio**. 2008. 112p. Tese (Engenheiro Elétrico) - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas.

KLINENBERG, E. I want to be alone: **the rise and rise of solo living**. 2012. URL: <<http://www.theguardian.com/lifeandstyle/2012/mar/30/the-rise-of-solo-living>>. Acessado em 20 de janeiro 2014.

KOHVAKKA, M. et al. **Performance analysis of IEEE 802.15.4 and zigbee for large-scale wireless sensor network applications**. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON PERFORMANCE EVALUATION OF WIRELESS AD HOC, SENSOR AND UBIQUITOUS NETWORKS. Proceedings of the 3rd ACM international workshop on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor and ubiquitous networks. New York: ACM, 2006. p. 48–57.

KUORILEHTO, Mauri et al. **Ultra-low energy wireless sensor networks in practice**: Theory, realization and deployment. John Wiley & Sons, 2008.

MAHMOOD, Anzar; JAVAID, Nadeem; RAZZAQ, Sohail. A review of wireless communications for smart grid. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 248-260, 2015.

MAXSTREAM, 2007 - **Xbee / XBee-PRO OEM RF Modules Data Sheet**.

MCROBERTS, M.; **Beginning Arduino**, Apress, New York, 2010.

MIKHAYLOV, Konstantin; PLEVITAKIS, Nikolaos; TERVONEN, Jouni. **Performance analysis and comparison of bluetooth low energy with ieee**

802.15. 4 and simpliciti. Journal of Sensor and Actuator Networks, v. 2, n. 3, p. 589-613, 2013.

MINI, R. A. d. F.; LOUREIRO, A. A. F. **Energy in wireless sensor networks.** In: RODRIGUES, L. E.; MIRANDA, H.; GARBINATO, B. (Ed.). Middleware for Network Eccentric and Mobile Applications. Berlin: Springer, 2008.

MONSIGNORE, F. **Sensoriamento de ambiente utilizando o padrão ZigBee.** 2007.92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia elétrica) – Universidade de São Paulo.

MORO, G.H.M. **Uma nova interface para a inclusão digital na terceira idade.** Dissertação de Mestrado. PUC/SP. Programa de tecnologia da inteligência e designer digital. 102 fl. 2010.

MUTHULAKSHMI, Mrs. D.; JANANI, Mrs. S. **Design RFID tag and implementation of RSSI based automatic toll Connection.** INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIVE RESEARCH IN ELECTRICAL, ELECTRONICS, INSTRUMENTATION AND CONTROL ENGINEERING. Vol. 3, Issue 6, June 2015.

NOGUEIRA, C., Almeida, H., Perkusich, A., **Arcabouço para o Desenvolvimento de Aplicações de Monitoramento Remoto e Auxílio de Pessoas com Doença de Alzheimer.** SBCUP - IV Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva, 2012. Curitiba –PR.

PANASONIC, **"Panasonic alkaline batteries data industrial sheet:"** <http://www.panasonic.com/industrial/battery>, 2010.

PETERSON, Larry L.; DAVIE, Bruce S., **Computer Networks: A System Approach,** USA: Morgan Kaufmann Publishers, 2003.

PIZA, Luciana Vieira et al. **Ensinando os fundamentos de redes de sensores sem fio usando um sistema simples.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 1, p. 1507, 2013.

POTTIE, Gregory J.; KAISER, William J. **Wireless integrated network sensors.** Communications of the ACM, v. 43, n. 5, p. 51-58, 2000.

PROCESSING.ORG, (2013). <https://processing.org>. Acessado em 10-março-2013.

RAMOS, José Lúcio Costa; MENEZES, Maria do Rosário de; MEIRA, Edméia Campos. **Idosos que moram sozinhos: desafios e potencialidades do cotidiano.** Revista Baiana de Enfermagem, Salvador, v. 24, n. 1, 2, 3, p. 43-54, jan - dez 2010.

RAULT, Tifenn; BOUABDALLAH, Abdelmadjid; CHALLAL, Yacine. **Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey.** Computer Networks, v. 67, p. 104-122, 2014.

REPAS, R. Sensor Sense: **Passive Infrared-Motion Sensors**. 2013. URL: <http://machinedesign.com/news/sensor-sense-passive-infrared-motion-sensors>. Acessado em 23-junho-2015.

RUIZ, L., Correia, L., Vieira, L., Macedo, D., Nakamura, E., Figueiredo, C., Vieira, M., Bechelane, E., Camara, D., Loureiro, A., Nogueira, J., Silva Jr., D.; **Arquiteturas para Redes de Sensores sem Fio**. Disponível em: <[http://www.inf.ufes.br/~zegonc/material/Redes%20de%20Sensores%20sem%20Fio/Arquiteturas%20para%20Redes%20de%20Sensores%20Sem%20Fio%20\(Linnyer%20UFMG\).pdf](http://www.inf.ufes.br/~zegonc/material/Redes%20de%20Sensores%20sem%20Fio/Arquiteturas%20para%20Redes%20de%20Sensores%20Sem%20Fio%20(Linnyer%20UFMG).pdf)>. Acessado em 31 de agosto 2014.

SAUSEN, Tania Maria; LACRUZ, Maria Silvia Pardi. **Sensoriamento remoto para desastres**. Oficina de Textos, 2015.

SCHULTSZ, Constance et al. **Network building and knowledge exchange with telemicrobiology**. The lancet global health, v. 2, n. 2, p. e78, 2014.

SIEKKINEN, M.; Hiienkari, M.; Nurminen, J.K.; Nieminen, J. How **Low Energy is Bluetooth Low Energy?** Comparative Measurements with ZigBee / 802.15.4. In Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW'12), Paris, France, 1 April 2012; pp. 232–237.

SIMON, Françoise; MEURGEY, François M. **New strategies for digital health**. 2015.

SOMANI, Nisha Ashok; PATEL, Yask. Zigbee: **A Low Power Wireless Technology For Industrial Applications**. International Journal of Control Theory and Computer Modelling (IJCTCM) Vol, v. 2, 2012.

SOUSSA, M.R.B. **Modelagem de Padrões Comportamentais de Pessoas em Domicílios Unipessoais**. Tese (Doutorado em modelagem computacional e tecnologias industriais) - SENAI - CIMATEC, Salvador, 2015.

TEAMVIEWER.COM, (2015). <https://www.teamviewer.com/>. Acessado em 10-maio-2015.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUER, Pedro Urbano Braga, **Sensores Industriais Fundamentos e Aplicações**, n.4, Érica, 2011. 224 p.

UBEE MAX. Produtos UBEE. Disponível em: <<http://www.fractumrf.com/wireless2.html>>. Acessado em: 25 nov. 2014

VERAS, Manoel; TOZER, ROBERT. **Cloud Computing: Nova Arquitetura da TI**. Brasport, 2012.

WEISER, M. (1991). **The computer for the 21st Century**. Em Scientific American Ubicomp Paper, 265(3), 66-75.

WEISER, M. **Some Science Computer Issues in Ubiquitous Computing.** In: Communications of the ACM, n. 7, vol. 36, 1993, USA. P. 75-84.

WEISER, Mark - "**The Computer for the Twenty-First Century,**" Scientific American, pp. 94-10, September 1991 - disponível em <<http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/SciAmDraft3.html>> Acessado em 10 de Julho 2012.

WONG, A.; Dawkins, M.; Devita, G.; Kasparidis, N.; Katsiamis, A.; King, O.; Lauria, F.; Schiff, J.; Burdett, A. A 1 V 5 m A Multimode IEEE 802.15.6 / Bluetooth Low - **Energy WBAN Transceiver for Biotelemetry Applications.** In Proceedings of IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC'12), San Francisco, CA, USA, 19–23 February 2012; pp. 300–302.

XBEE STORE. **Módulos ZigBee.** Disponível em: <<http://www.xbeestore.lojavirtualfc.com.br>>. Acessado em: 25 nov. 2014.

ZHANG, Y.; Atac, A.; Liao, L.; Heinen, S. A **Low-Power High-Efficiency Demodulator in Bluetooth Low Energy Receiver.** In Proceedings of 8th Conference on Ph.D. Research in Microelectronics and Electronics (PRIME'12), Aachen, Germany, 12–15 June 2012; pp. 1–4.

ZIGBEE ALLIANCE, **ZigBee standards overview.** <http://www.zigbee.org/Standards/Overview.aspx>, October 2011.

ZUCATO, F.L. **Rede ZigBee Gerenciada por Sistemas de Monitoramento Remoto Utilizando TCP/IP e GPRS.** 2009. 135p. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica) -Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

APÊNDICE A

COMITÊ DE ÉTICA



ESCOLA BAHIANA DE
MEDICINA E SAÚDE PÚBLICA /
FUNDAÇÃO BAHIANA



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS POR SENSORIAMENTO E APRENDIZADO DO PADRÃO COMPORTAMENTAL DE INDIVÍDUOS PARA MONITORAMENTO DE DOMICÍLIOS UNIPESSOAIS

Pesquisador: Valter de Senna

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 35247214.5.0000.5544

Instituição Proponente: SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL

Patrocinador Principal: SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 917.017

Data da Relatoria: 28/10/2014

Apresentação do Projeto:

O indivíduo será posicionado numa cadeira confortável, com os pés apoiados, orientado para realizar uma manobra de expiração lenta em seguida uma inspiração rápida e forçada com nariz ocluído por um clip nasal. A manobra será repetida até o voluntário não for mais

O treinamento muscular inspiratório (TMI), nos últimos anos, tem sido largamente investigado como opção terapêutica em pacientes com

Insuficiência Cardíaca (IC), Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), em doentes críticos para auxílio do desmame da ventilação mecânica,

entre as mais diversas afecções crônicas que tenham como impacto redução da capacidade funcional e fraqueza muscular respiratória^{1,2,3,4,5}.

Além dos indivíduos que apresentam patologias cardiopulmonares e metabólicas, este tipo de treinamento tem sido utilizados em atletas de alto

rendimento que buscam melhorar a performance em seus esportes⁶. Em pacientes com Insuficiência Cardíaca (IC) está bem estabelecido que o

treinamento muscular respiratório, com 30% da Pressão Inspiratória Máxima (Pimax), quinze minutos por dia, 7 dias por semana, foi eficaz em

Endereço: AVENIDA DOM JOÃO VI, 275

Bairro: BROTAS

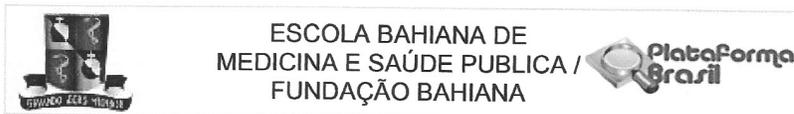
UF: BA

Município: SALVADOR

Telefone: (71)3276-8225

CEP: 40.290-000

E-mail: cep@bahiana.edu.br



Continuação do Parecer: 917.017

Oxigênio (SpO2), Frequência cardíaca através do oxímetro de pulso da marca X, a Pressão Arterial (PA) mensurado a cada nível pelo aparelho Y e os dados foram anotados num banco de dados para posterior análise. Como critério de segurança o teste será interrompido caso haja sensação de dispnéia ou fadiga, queda da Spo2 94% PAS > 160mmHg, FC > 140 ou glicemia 60 mg/dL. O teste será interrompido caso haja sensação de dispnéia ou fadiga, queda da Spo2 94% PAS >= 160mmHg, FC >= 140bpm ou glicemia 60 mg/dL. Durante todo o estudo serão observadas as diretrizes sobre a pesquisa com seres humanos da Declaração de Helsinque e da Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde. Este estudo será submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública. Todos os sujeitos receberão detalhadamente as informações sobre os objetivos do estudo, riscos e benefícios envolvidos nos procedimentos e assinarão consentimento livre e esclarecido (em anexo). Serão preenchidas duas vias, uma ficando em posse do voluntário e outra em posse do pesquisador.

Objetivo da Pesquisa:

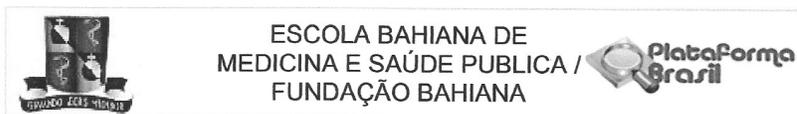
Utilizar equipamento com sensores para detectar movimentos e de temperatura, obtendo-se uma maneira logística de comunicação para prever riscos de acidentes e melhoria da qualidade de vida. Identificar os algoritmos (sequencia de resolução de problemas) mais adequados para o aprendizado do comportamento de pessoas em moradias unipessoais.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

O risco percebido nesse estudo poderia vir a ser de constrangimento já que vai ser transmitido a rotina através de movimentação do participante, apesar do autor garantir que não se observa nenhum tipo de risco pois o sensor só irá detectar a movimentação de uma pessoa no seu raio de alcance. O benefício será direto será o participante ter durante o tempo de coleta a segurança de monitoramento para eventos adversos agravados pelo status de morara sozinho. O indireto será o da contribuição com um modelo computacional que

Endereço: AVENIDA DOM JOÃO VI, 275
 Bairro: BROTAS CEP: 40.290-000
 UF: BA Município: SALVADOR
 Telefone: (71)3276-8225 E-mail: cep@bahiana.edu.br

Página 04 de 07



Continuação do Parecer: 917.017

fornecerá

subsídios para a criação de produtos e serviços tecnológicos de suporte a qualidade de vida, através do monitoramento e aprendizado do comportamento de pessoas que vivem sozinhas.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Os dados da pesquisa serão importados para uma base de dados específica e serão executados sobre eles, diversos algoritmos de tratamentos e reconhecimento de padrões. Serão trabalhados dois algoritmos: análise de padrões sequenciais, que objetiva identificar uma sequência temporal da movimentação do morador durante o dia; e a detecção de outliers (valor atípico, é uma observação que apresenta um grande afastamento das demais da série, que esta "fora" dela, ou que é inconsistente.), que busca identificar situações fora dos padrões rotineiros. Como desfecho Primário: Espera-se que ao final, seja possível sugerir informações, como o horário que a pessoa costuma ir para dormir, acordar, fazer as principais refeições, entrar e sair de casa, dentre outros. Espera-se também que seja possível gerar uma alerta quando ocorrerem situações consideradas como situações-problema, tais como quedas, desmaios, horário de acordar fora dos padrões, temperaturas fora dos limites aceitáveis (muito frio ou muito quente) dentro da residência.

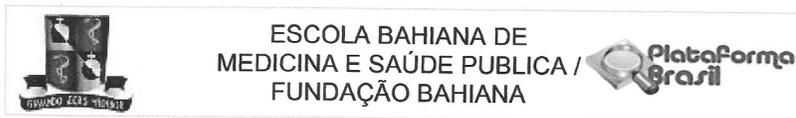
Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Apresentados o documentos adequados à resposta de pendências : TCLE corrigido, cronograma ajustado. Foi informada a fonte de financiamento do projeto como sendo o Senai e estando a folha de rosto assinada por um preposto, entendemos que o órgão concorda com os termos do projeto.

Recomendações:

Endereço: AVENIDA DOM JOÃO VI, 275
 Bairro: BROTAS CEP: 40.290-000
 UF: BA Município: SALVADOR
 Telefone: (71)3276-8225 E-mail: cep@bahiana.edu.br

Página 05 de 07



Continuação do Parecer: 917.017

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Sanadas as pendências do parecer consubstanciado datado de 09.10.2014 referentes ao TCLE, cronograma e orçamento, sugerimos aprovação.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

Atenção : o não cumprimento à Res. 466/12 do CNS abaixo transcrita implicará na impossibilidade de avaliação de novos projetos deste pesquisador. Tendo sido sanadas as pendências anteriormente assinaladas e, estando de acordo com a Res. 466/12 do CNS o projeto encontra-se exequível.

XI.2 DO PESQUISADOR RESPONSÁVEL

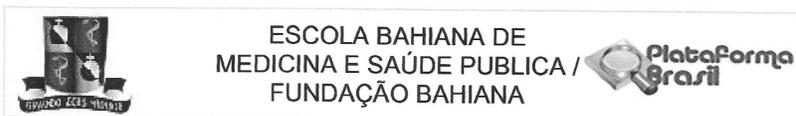
XI.1 - A responsabilidade do pesquisador é indelegável e indeclinável e compreende os aspectos éticos e legais.

XI.2 - Cabe ao pesquisador: a) e b) (...)

- c) desenvolver o projeto conforme delineado;
- d) elaborar e apresentar os relatórios parciais e final;
- e) apresentar dados solicitados pelo CEP ou pela CONEP a qualquer momento;
- f) manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período de 5 anos após o término da pesquisa;
- g) encaminhar os resultados da pesquisa para publicação, com os devidos créditos aos pesquisadores associados e ao pessoal técnico integrante do projeto; e
- h) justificar fundamentadamente, perante o CEP ou a CONEP, interrupção do projeto ou a não publicação dos resultados

Endereço: AVENIDA DOM JOÃO VI, 275
 Bairro: BROTAS CEP: 40.290-000
 UF: BA Município: SALVADOR
 Telefone: (71)3276-8225 E-mail: cep@bahiana.edu.br

Página 06 de 07



Continuação do Parecer: 917.017

SALVADOR, 16 de Dezembro de 2014

Assinado por:
Roseny Ferreira
(Coordenador)

Endereço: AVENIDA DOM JOÃO VI, 275
Bairro: BROTAS **CEP:** 40.290-000
UF: BA **Município:** SALVADOR
Telefone: (71)3276-8225 **E-mail:** cep@bahiana.edu.br

Página 07 de 07

Apêndice A 6: Documento de Aprovação do Projeto pelo Comitê de Ética (Página 05/05).
Fonte: Soussa, (2015).

APÊNDICE B

CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO DO SISTEMA

```

import processing.serial.*; // Importa a biblioteca de comunicação serie
Serial myPort;// Cria um objeto para comunicação
import java.io.PrintWriter;//import java.io.BufferedWriter;
String sensorReading="";
String recebido="";
String mascara;
String inputs;
String endereco="";
//Mudar a porta de a cordo com o computador
//Se sor Mac exemplo "/dev/tty.usbserial-DA00WZZD" - A porta DA00WZZD pode
//Se sor Windows exemplo "COM12"

String porta="/dev/tty.usbserial-DA01A7I2";
PFont font;
PImage img;
PImage boneco;
boolean md0=false,md1=false,md2=false,md3=false,md4=false,md5=false,md6=fal
boolean id0=false,id1=false,id2=false,id3=false,id4=false,id5=false,id6=fal
int lf = 126; // Linefeed in ASCII
int sensor;

void setup()

{
  frameRate(30);
  size(780,690); // Define o tamanho da janela
  background(0);
  myPort = new Serial(this, porta, 9600); //Conecta-se com a porta COM

  myPort.bufferUntil('\n'); // Espera receber o primeiro sinal da usb
  font = createFont(PFont.list()[2],20);
  textFont(font);
  boneco=loadImage("boneco.png");
}

void draw()
{
  //Nao faz nada mas é necessario declarar
  img=loadImage("casa.png");
  image (img,0,0);
  noStroke();
  fill(0);
  text(recebido,280,560);
  byte[] inBuffer = new byte[21];
  if(myPort.available() > 20) {
    inBuffer = myPort.readBytes();
    myPort.readBytes(inBuffer);
  }
}

```

```

    }
    if(sensor==38 ){
        image (boneco,187,386,20,30); // Cozinha
    }
    if(sensor==39 ){
        image (boneco,130,500,20,30); //Saida Cozinha
    }
}

void identSensor(String end, String mask, String input){
    md0=boolean(int(mask.substring(15, 16)));
    md1=boolean(int(mask.substring(14, 15)));
    md2=boolean(int(mask.substring(13, 14)));
    md3=boolean(int(mask.substring(12, 13)));
    md4=boolean(int(mask.substring(11, 12)));
    md5=boolean(int(mask.substring(10, 11)));
    md6=boolean(int(mask.substring(9, 10)));
    md7=boolean(int(mask.substring(8, 9)));
    md10=boolean(int(mask.substring(5, 6)));
    md11=boolean(int(mask.substring(4, 5)));
    md12=boolean(int(mask.substring(3, 4)));
    id0=boolean(int(input.substring(15, 16)));
    id1=boolean(int(input.substring(14, 15)));
    id2=boolean(int(input.substring(13, 14)));
    id3=boolean(int(input.substring(12, 13)));
    id4=boolean(int(input.substring(11, 12)));
    id5=boolean(int(input.substring(10, 11)));
    id6=boolean(int(input.substring(9, 10)));
    id7=boolean(int(input.substring(8, 9)));
    id10=boolean(int(input.substring(5, 6)));
    id11=boolean(int(input.substring(4, 5)));
    id12=boolean(int(input.substring(3, 4)));

    //String xbee1="40C1A6AC";
    // String xbee2="40C1A6FE";
    String xbee1="40C04BF1";
    //String xbee2="40B970E4"; RADIO QUEIMADO
    String xbee2="40C1A6FE";
    String xbee3="40C1A677"; //suposto defeito
    String xbee4="40B97008";
    String xbee5="40B9738D";

    //println("MAC = "+end+" MD0 = "+md0+" ID0 = "+id0);

```

```

if(end.equals(xbee1) && md0 && id0 ){
  sensor=30;
  gravar(sensor+";00;"); // Centro
}

if(end.equals(xbee1) && md2 && id2 ){
  sensor=31;
  gravar(sensor+";00;"); //Poltrona
}

if(false ){
  sensor=32;
  gravar(sensor+";00;"); //mesa
}

if(end.equals(xbee1) && md3 && id3 ){
  sensor=37;
  gravar(sensor+";00;"); //Poltrona
}
if(false){
  sensor=33;
  gravar(sensor+";00;"); //Porta
}

if(false){
  sensor=34;
  gravar(sensor+";00;"); //Porta Frente Principal
}
if(end.equals(xbee5) && md0 && id0){
  sensor=35;
  gravar(sensor+";00;"); //Baheiro
}
if(end.equals(xbee2) && md0 && id0){
  sensor=36;
  gravar(sensor+";00;"); //Quarto cama
}

if(end.equals(xbee4) && md0 && id0){
  sensor=38;
  gravar(sensor+";00;"); // Cozinha
}
if(end.equals(xbee4) && md0 && id1){
  sensor=39;
  gravar(sensor+";00;"); //Saida Cozinha
}

}

```

```
String dataHora(){
    String data = nf(day(), 2)+"/"+ nf(month(), 2)+"/"+year()+" "+nf(hour(),
    return data;
}

void gravar(String dados){
    try {
        FileWriter output = new FileWriter(sketchPath + "/Dados Coletados.t
        output.write(dados+dataHora()+"\n" );
        println(dados+dataHora());
        output.flush();
        output.close();
    }catch(IOException e) {
        println("Erro: Gravação no arquivo!!!");
        e.printStackTrace();
    }
}
```