

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAFAEL DOMINGUES GONÇALVES

SISTEMA NÃO INVASIVO PARA MONITORAMENTO DE BRUXISMO NOTURNO

CIDADE

2019

RAFAEL DOMINGUES GONÇALVES

SISTEMA NÃO INVASIVO PARA MONITORAMENTO DE BRUXISMO NOTURNO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Marlio J. do Couto Bonfim

CIDADE

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

G635s

Gonçalves, Rafael Domingues

Sistema não invasivo para monitoramento de bruximos noturno [recurso eletrônico] / Rafael Domingues Gonçalves. – Curitiba, 2019.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2019.

Orientador: Marlio José do Couto Bonfim .

1. Bruxismo. 2. Eletromiografia. 3. Internet das coisas. I. Universidade Federal do Paraná. II. Bonfim, Marlio José do Couto. III. Título.

CDD: 617.643

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
ELÉTRICA - 40001016043P4

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA ELÉTRICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **RAFAEL DOMINGUES GONÇALVES** intitulada: **SISTEMA NÃO INVASIVO PARA MONITORAMENTO DE BRUXISMO NOTURNO**, sob orientação do Prof. Dr. **MARLIO JOSE DO COUTO BONFIM**, que após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 30 de Agosto de 2019.

MARLIO JOSE DO COUTO BONFIM

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AMAURI AMORIM ASSEF

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)

EDUARDO PARENTE RIBEIRO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Dedico este trabalho primeiramente à Deus e a todos os meus guias, por estarem sempre ao meu lado me orientando durante esta minha, ainda curta, jornada. A minha mãe Joceleia, meu pai Mário e minha namorada Aline, os quais sempre estiveram ao meu lado provendo suporte e amparo nas horas necessárias.

Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Marlio do Bonfim por toda a atenção e orientação provida tanto a mim quando ao projeto em questão. Todas as observações e contribuições fornecidas foram vitais para a conclusão desta pesquisa.

Agradeço aos integrantes do Laboratório de Medidas, Magnetismo e Instrumentação LAMMI e ao grandes amigos que adquiri ao longo desta caminhada, os quais sempre estiveram presentes nos mais diversos momentos e prestando todo o auxílio possível, fosse ele técnico ou pessoal.

Ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, juntamente com todos os docentes e demais funcionários, os quais tive o prazer de conviver por todos esses anos.

A todos, minha sincera gratidão.

"Se alguém procura a saúde, pergunta-lhe primeiro se está disposto a evitar no futuro as causas da doença; em caso contrário, abstém-te de o ajudar"
(Sócrates -469 - -399 a.C. De doenças, Futuro.)

RESUMO

O bruxismo noturno pode ser definido como um hábito oral que consiste na atividade muscular repetitiva de apertar ou ranger os dentes, de forma involuntária, durante os períodos de sono ou vigília. Trata-se de uma condição oral bastante frequente na população em geral, sendo que 85% a 90% dos indivíduos apresenta algum grau de bruxismo durante a vida, o que gera grande interesse em clínicos e pesquisadores da saúde. A presente pesquisa refere-se ao desenvolvimento de um equipamento para o auxílio ao diagnóstico do bruxismo, motivada pela dificuldade atual para se realizar exames e diagnósticos da doença, geralmente efetuados nas clínicas de sono. Sendo assim, foi proposto um sistema capaz de mensurar os sinais provenientes de eventos do bruxismo noturno em pacientes que sofram desse mal, visando um baixo custo de implementação, ser embarcado no paciente, gerar um baixo desconforto durante a noite de sono ao seu usuário, ter bateria com autonomia mínima de dez horas, possibilitar o compartilhamento dos dados adquiridos com o médico ou dentista responsável e ser gerenciado por um smarthpone. Para a identificação dos eventos de bruxismo, optou-se por utilizar a eletromiografia (EMG) para detectar a atividade dos músculos faciais responsáveis pelos movimentos da mandíbula. Para tal, foi desenvolvido um sistema de aquisição com dimensões reduzidas, capaz de adquirir, processar e armazenar os sinais de EMG ao longo de uma noite de sono. Este sistema é alimentado por bateria e possui comunicação sem fio com um smartphone. Foi desenvolvido um aplicativo para plataforma Android, para gerenciar a comunicação e transferência de dados entre o sistema de aquisição e o smartphone. O sistema de aquisição é baseado no microcontrolador ESP8266 12-F, o qual possibilita um fácil interfaceamento via *wireless*, com foco na filosofia da Internet das Coisas (IoT). Constatou-se, após a correta implementação de todas as funcionalidades, tanto em nível de *hardware* quanto *software*, a viabilidade técnica do projeto proposto, uma vez que os objetivos foram alcançados com sucesso. O dispositivo foi capaz de proporcionar uma alternativa de baixo custo para mensurar sinais de EMG voltados para identificação de eventos do bruxismo noturno, colaborando assim com futuras pesquisas da área médica e odontológica visando a mitigação da doença.

Palavras-chave: Bruxismo; Eletromiografia; ESP8266; Internet das Coisas (IoT).

ABSTRACT

Sleep bruxism can be defined as an oral habit consisting of repetitive muscle activity of involuntarily clenching or grinding of the teeth during periods of sleep or wakefulness. It is a very common oral condition in the general population, and 85% to 90% of individuals have some degree of bruxism during their lifetime, which generates great interest in clinicians and health researchers. This research refers to the development of an equipment for the diagnosis of bruxism, motivated by the current difficulty to perform examinations and diagnoses of the disease, usually performed in sleep clinics. Thus, it was proposed to develop a system capable of measuring the signals from sleep bruxism events in patients suffering from this disease, aiming a low implementation cost, to be embedded in the patient, to generate low discomfort for the user during the night sleep, to have a battery life of at least ten hours, to enable sharing options for the data acquired with the doctor or dentist in charge and to be managed by a smartphone. In order to identify bruxism events, electromyography (EMG) was the method chosen to detect the activity of the facial muscles responsible for jaw movements. To this end, a small acquisition system has been developed, capable of acquiring, processing and storing EMG signals during a night's sleep. This system is battery powered and has wireless communication with a smartphone. An application for the Android platform was developed to manage communication and data transfer between the acquisition system and the smartphone. The acquisition system is based on the ESP8266 12-F microcontroller, which enables easy wireless interfacing, focusing on the Internet of Things (IoT) philosophy. The technical feasibility of the proposed project was achieved, after the correct implementation of all functionalities, from both hardware and software, once the objectives were successfully reached. The device was able to provide a low cost alternative to measure EMG signals aimed at identifying sleep bruxism events, thereby collaborating with future medical and dental research aimed at mitigating the disease.

Keywords: Bruxism; Electromyography; ESP8266; Internet of Things (IoT).

Lista de ilustrações

Figura 1 – Potencial de Ação.	22
Figura 2 – Somatória de sinais MUAP.	23
Figura 3 – Sinal bruto amplificado proveniente de uma mordida.	24
Figura 4 – Espectro de frequência do sinal EMG.	26
Figura 5 – Sinal EMG bruto (a) e retificado (b).	26
Figura 6 – Fluxograma da Metodologia	27
Figura 7 – Fluxograma de Operação	29
Figura 8 – Circuito amplificador.	30
Figura 9 – Circuito com impedâncias Equivalentes.	31
Figura 10 – Esquemático para análise em frequência.	33
Figura 11 – Respostas da análise em frequência	34
Figura 12 – Componentes do <i>hardware</i> . a) ESP8266-12E. b) Circuito de amplificação e filtragem. c) Bateria LiPo.	35
Figura 13 – Modelos do ESP8266.	35
Figura 14 – Circuito Completo.	37
Figura 15 – Circuito para cálculo do resistor de medição da bateria.	38
Figura 16 – Dispositivo impresso em impressora 3D.	38
Figura 17 – Posicionamento eletrodos.	39
Figura 18 – (A) Interface principal. (B) Interface de cadastro.	41
Figura 19 – (B) Interface de gráficos. (C) Interface de controle.	42
Figura 20 – (E) Interface de setup inicial. (F) Interface setup de dados.	43
Figura 21 – (G) Interface compartilhamento.	44
Figura 22 – Fluxograma do sistema.	46
Figura 23 – Dados provenientes de paciente sem bruxismo.	46
Figura 24 – Vinte minutos de dados provenientes de paciente sem bruxismo.	47
Figura 25 – Dados provenientes de paciente com bruxismo.	48
Figura 26 – Vista superior do dispositivo de aquisição de sinais.	55
Figura 27 – Vista lateral direita do dispositivo de aquisição de sinais.	56
Figura 28 – Vista lateral esquerda do dispositivo de aquisição de sinais.	57
Figura 29 – Vista lateral inferior do dispositivo de aquisição de sinais.	57
Figura 30 – Liberação para instalação de aplicativos externos.	58
Figura 31 – Redes WIFI ao alcance.	59
Figura 32 – Interface principal de utilização.	60
Figura 33 – Interface de cadastro do usuário.	60
Figura 34 – Interface online.	61
Figura 35 – Interface de configurações.	62

Figura 36 – Interface inicial de aquisição	64
Figura 37 – Dados iniciais da aquisição	64
Figura 38 – Interface de compartilhamento de dados.	65

Lista de tabelas

Tabela 1 – Modos de operação ESP8266.	36
Tabela 2 – Orçamento do dispositivo.	40

Lista de abreviaturas e siglas

ADC	Conversor Analógico para Digital
ATM	Articulação Temporomandibular
ECG	Eletrocardiograma
EEG	Eletroencefalograma
EWMA	<i>Exponentially Weighted Moving Average</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
ISEK	<i>International Society of electrophysiology and Kinesiology</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
LiPo	Lítio-Potássio
PAUM	Potencial de Ação de Unidade Motora
RMMA	<i>Rhythmic Masticatory Miofacial Activity</i>
SENIAM	<i>Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Justificativa	17
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo geral	18
1.2.2	Objetivos específicos	18
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	O Bruxismo	19
2.1.1	Diagnóstico do Bruxismo	20
2.1.2	Exame clínico e questionários	20
2.1.3	Polissonografia	21
2.1.4	Monitoramento Eletromiográfico	21
2.1.5	Sinal eletromiográfico e suas características	22
2.1.6	Características do sinal EMG	24
3	METODOLOGIA	27
3.1	Etapas do projeto	27
3.1.1	Etapa I: Fundamentação teórica	27
3.1.2	Etapa II: Planejamento do projeto	27
3.1.3	Etapa III: Desenvolvimento do protótipo	27
3.1.4	Etapa IV: Desenvolvimento do aplicativo	28
3.1.5	Etapa V: Desenvolvimento do produto final	28
4	DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO	29
4.1	Fluxograma de operação do dispositivo	29
4.2	Amplificação do sinal EMG	30
4.3	Análise em Frequência	32
4.4	Circuitos Adicionais	33
4.4.1	Microcontrolador ESP8266 – 12e	34
4.5	Circuito Completo	37
4.6	Construção do Sistema	38
4.7	Custo de desenvolvimento	40
4.8	Aplicativo para dispositivos móveis	40
4.9	Custo de desenvolvimento	44
5	CONCLUSÕES	49

5.1	Sugestões para trabalhos futuros	50
6	REFERÊNCIAS	51
	APÊNDICE A – MANUAL DE UTILIZAÇÃO	55
A.1	Dispositivo Versão 2.0	55
A.2	Interface para sistema Android	58
A.2.1	Cadastro	59
A.2.2	Interface de visualização de gráficos	61
A.2.3	Interface online	61
A.2.4	Interface controle	62
A.2.5	Salvar os dados	62
A.2.6	Abrir	62
A.2.7	Iniciar	62
A.2.8	Telemetria	63
A.2.9	Telemetria	64

1 Introdução

A qualidade de vida relacionada à saúde é um conceito multidimensional que inclui domínios relacionados ao funcionamento físico, mental, emocional e social, que vão além dos aspectos puramente médicos. Com isso, a medicina e a engenharia têm trabalhado juntas em prol de um mesmo objetivo: a expansão de novos horizontes de estudos relacionados à bioengenharia.

No campo da bioengenharia, faz parte da biomecânica mandibular o conhecimento sobre relação temporal que se utiliza de diagnóstico para avaliar os tecidos maxilomandibulares diante de tensões ou deformações (Coelho-Ferraz et al., 2007). Sendo assim, a medicina ou áreas correlatas, atreladas às ciências exatas, contribuem para a construção de dispositivos que podem facilitar o processo de descoberta ou tratamento de patologias, dentre elas, o bruxismo.

Definido como “uma atividade repetitiva dos músculos da mandíbula, caracterizada pelo apertamento ou ranger dos dentes e / ou pelo contraventamento ou empurrão da mandíbula” (BALASUBRAMANIAM et al., 2019), o bruxismo tem ocorrência maior enquanto o indivíduo está dormindo, dificultando o diagnóstico da doença (ROMPRE et al., 2007).

Carra, Hynh e Lavign (2012) afirmam que esse diagnóstico pode ser realizado através de relatos dos que convivem com o paciente sobre a trituração dentária, devendo ser confirmado por registro polissonográfico de episódios eletromiográficos (EMG) nos músculos masseter e temporal.

Para identificação do bruxismo por métodos já consolidados, o paciente deve então passar uma noite em uma clínica do sono (CASTROFLORIO et al., 2013), prática que dificulta a análise dos eventos da patologia, principalmente pelo custo do tratamento (OHAYON et al., 2001).

Com o passar dos anos, ferramentas de diagnóstico portáteis têm sido desenvolvidas para gravar a atividade eletromiográfica do temporal e do masséter durante o sono, evitando que os pacientes portadores do bruxismo recorram ao uso da polissonografia, que além de demandar grande período de tempo para ser realizada, possui custo de aproximadamente seiscentos reais (valor obtido ao entrar em contato com uma clínica provedora do serviço em 2018, a qual não autorizou divulgar seu nome) (PESTANA, 2014).

Palinkas et al., (2015) ressaltam que a combinação de critérios simples em novo algoritmo clínico pode desempenhar papel importante em um sistema de diagnóstico, combinando metodologia de pesquisa com capacidade de diagnóstico aceitável e facilidade

de uso, sendo possível através do avanço em pesquisas que desenvolvam ferramentas capazes de oferecer diagnóstico mais preciso, medindo a atividade do bruxismo em andamento, podendo ser utilizada em ambientes clínicos e/ou de pesquisa (CARRA et al., 2012 in apud PALINKAS et al., 2015)

Identificando as situações reais que envolvem essa patologia e os transtornos aos quais são expostos os indivíduos portadores dessa doença, tanto pela dificuldade quanto pelo alto custo do diagnóstico, a presente pesquisa tem como intuito principal contribuir para a área de sistemas eletrônicos, com foco em instrumentação para a área médica, cujo o objetivo principal é o desenvolvimento de um sistema portátil de baixo custo que detecte eventos de bruxismo noturno, e possa ser manuseado com facilidade pelo profissional de saúde ou pelo paciente.

O sistema foi pensando de modo a inserir-se no conceito de Internet das Coisas (IoT), tendo a possibilidade de disponibilizar os dados adquiridos através da Internet. Todo o controle desse sistema - como a aquisição e armazenamento dos dados obtidos e o compartilhamento dos mesmos com o dentista ou médico responsável pelo tratamento - será gerenciado por meio de um aplicativo desenvolvido para smartphones.

1.1 Justificativa

Identificadas as necessidades de determinada área da ciência em criar ou otimizar técnicas que auxiliem na melhoria do estado de saúde de quaisquer indivíduos, devem ser grandes os esforços voltados ao seu desenvolvimento. Visto isso, a prática da bioengenharia oferece mecanismos que atuam na resolução de problemas, minimizando os transtornos através da inovação.

Enquanto grupos de pesquisadores se envolvem na busca pela cura de doenças, ressalta-se ainda sobre a importância de identificar de forma precisa as enfermidades que acometem os indivíduos, principalmente pelo fato de que a agilidade no diagnóstico pode poupar que esses se exponham a situações de risco.

Mediante o levantamento bibliográfico realizado para essa pesquisa, foram identificadas as barreiras para o diagnóstico do Bruxismo, fato ainda mais preocupante pela quantidade de indivíduos acometidos pela doença, visto que que 85% a 90% das pessoas apresentam algum grau de bruxismo durante a vida (MURALI et al., 2015), sendo que, no Brasil, aproximadamente 40% das pessoas sofrem desse distúrbio (Associação Brasileira de Odontologia, 2019).

O diagnóstico do bruxismo pode ser feito por meio de relatos dos paciente e pessoas que com ele convivem, junto às análises clínicas. Todavia, é de opinião consensual entre os autores que esses métodos não indicam de forma precisa se um indivíduo é ou não

portador do bruxismo. Já exames mais precisos para diagnóstico da doença são de alto custo e exigem deslocamento e certos transtornos ao paciente.

Tendo em vista a grande incidência do bruxismo na população e a falta de informações sobre essa desordem, a construção de ferramentas que ofereçam um diagnóstico confiável e de custo acessível à população como um todo, auxiliaria os profissionais da área de saúde que desejam trabalhar tanto em prol de buscar uma cura, quanto aos que tratam seus pacientes de forma empírica.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O trabalho tem como foco o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados eletromiográficos para auxílio no diagnóstico do bruxismo noturno adaptado aos conceitos de IoT, utilizado em conjunto a um aplicativo para smartphones capaz de controlar todas as funcionalidades do sistema, as quais podem ser observadas no Apêndice A deste trabalho.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Desenvolver um sistema autônomo para coletar e armazenar eventos de bruxismo noturno;
- b) Desenvolver um aplicativo capaz de controlar o sistema;
- c) Propor uma análise sobre a ocorrência dos eventos a partir dos dados coletados;
- d) Realizar teste de validação.
- e) Implementar um manual de utilização.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os tópicos seguintes apresentamos principais conceitos acerca de três assuntos principais, necessários para a construção deste trabalho, sendo eles uma revisão sobre o Bruxismo, o dispositivo desenvolvido como um todo e o aplicativo capaz de controlar as funcionalidades implementadas. Foram levantados conteúdos bibliográficos sobre o Bruxismo, inferindo sobre sua definição e métodos de diagnóstico onde, diante das alternativas apresentadas, os conceitos abordados referente ao sinal eletromiográfico apresentam maior abordagem frente às demais formas de diagnóstico, situação essa atribuída ao fato de que o dispositivo desenvolvido nesta pesquisa, responsável pela aquisição e processamento de dados utiliza-se do envio dos sinais eletromiográficos, sendo assim necessário um enfoque maior frente à esse método.

Os demais tópicos aqui abordados abrangem ainda aspectos sobre a Inteligência artificial, visto que se espera que o dispositivo proposto utilize dessa ferramenta para controle do dispositivo e armazenamento dos dados.

2.1 O Bruxismo

O termo Bruxismo, caracterizado por uma “atividade rítmica e semivoluntária dos músculos mastigatórios” (SATEIA, 2005), deriva da palavra grega bruchein e significa fricção, aperto ou ato de ranger dos dentes, (MURALI et al., 2015), incluindo movimentos mandibulares que resultam em hipertrofia dos músculos elevadores da mandíbula, os músculos masseter e temporal (A.A.O.S Medicine, 2001).

Quanto aos sintomas, os pacientes com bruxismo em sua maioria apresentam sinais de ranger dos dentes, desgaste dentário anormal, língua edentada, hipertrofia muscular, travamento de mandíbula, dores de cabeça, dor facial ou fadiga; e ainda sons de rangimento dos dentes ou travamento de mandíbula durante o sono (LAVIGNE et al., 2008).

Caracterizado como um hábito parafuncional, o bruxismo pode ocorrer em diferentes estados de consciência durante o sono ou durante a vigília, com mecanismos fisiológicos distintos, atuando na excitabilidade oral motora (BADER; LAVIGNE, 2000). Os episódios podem ocorrer durante a vigília ou durante o sono, caracterizando duas entidades patológicas distintas. Tais ocorrências são classificadas de três maneiras: (1) tônico – quando o músculo se contrai por mais de dois segundos; (2) fásico – pelo menos três contrações musculares por 0,25-2,0 segundos e separados por intervalos de duas rajadas; e (3) misturado – combinação do fásico com o tônico (A.A.O.S Medicine, 2001).

Essa patologia chama atenção pelo número de indivíduos acometidos, onde estima-

se que 85% a 90% dos indivíduos apresentem algum grau de bruxismo durante a vida (MURALI et al., 2015). Suas causas não são totalmente conhecidas, uma vez que a sua origem pode estar relacionada a uma disfunção orgânica, má oclusão dentária (quando os dentes e a mandíbula não se alinham corretamente), disfunção ou doença relacionada ao sistema nervoso ou até mesmo ser provocado por fatores externos, como o estresse, ansiedade, raiva, entre outros (PIEKARTZ, 2009).

Entretanto, existem alguns pontos sobre o bruxismo que são consenso entre os especialistas, entre eles o fato de não haver distinção de incidência entre diferentes faixas etárias e nem de gênero, sendo possível verificar que tanto homens quanto mulheres, sendo crianças, adolescentes, adultos ou idosos, possuem a mesma probabilidade de desenvolver o bruxismo (ALAJBEG et al., 2012).

2.1.1 Diagnóstico do Bruxismo

O diagnóstico do bruxismo pode ser feito através de relato dos pacientes, de questionários, por análise do desgaste dental ou realização de exames eletromiográficos (GAVISH et al., 2000).

A eletromiografia e polissonografia (avaliação do sono, avaliação respiratória, EEG, ECG), podem confirmar e avaliar o grau do bruxismo, verificando ainda demais comorbidades associadas (AZEVEDO, 2018), todavia, na literatura, nenhum método foi universalmente aceito para o diagnóstico do bruxismo (PALINKAS et al., 2015).

2.1.2 Exame clínico e questionários

Como indica Azevedo (2017), a análise clínica do bruxismo pode ser diagnosticada pelo relato do paciente, incluindo ainda o histórico familiar e exame clínico extra-intra oral com verificação da oclusão e função, sendo o questionário utilizado para investigar a saúde geral e bucal dos pacientes, a qualidade do sono, hábitos de sono, parafunções orais, presença e características da dor, dor de cabeça, fadiga, depressão, ansiedade e estresse e comorbidades (CARRA; HUYNH; LAVIGNE, 2012).

Todavia, o desgaste dentário, apesar de utilizado para avaliação clínica no diagnóstico do bruxismo, não é uma ferramenta que detém a precisão necessária, visto que em 40% das pessoas que não apresentam Bruxismo, possuem desgastes nos dentes (MANFREDINI et al., 2013).

Sendo assim, o desgaste oclusal não é um sintoma incisivo para um diagnóstico preciso, já que relatos de pacientes que afirmam possuir características do bruxismo como sinais e sintomas na cavidade bucal, não indicam de forma segura a presença ou não da doença (LAVIGNE et al., 2008 in apud Azevedo, 2017).

Palinkas et al., (2015) mostraram através de um estudo prático realizado, que somente dois sintomas clínicos podem ser capazes de rastrear pacientes com bruxismo, sendo eles a fadiga muscular e cefaléia temporal. Os autores afirmam ainda que diante do método utilizado, nenhum critério de diagnóstico testado foi capaz de identificar pacientes com bruxismo.

2.1.3 Polissonografia

A Polissonografia realiza registro completo da atividade elétrica cerebral, da respiração e de sinais indicativos de relaxamento muscular, movimentos oculares, oxigenação sanguínea, batimento cardíaco, podendo ser realizada com gravação de áudio e vídeo, que permite a detecção e pontuação de RMMA e a distinção entre episódios RMMA e orofacial e outras atividades musculares que ocorrem durante o sono (CARRA; HUYNH; LAVIGNE, 2012).

Smardz et al., (2019) afirmam que, nos dias atuais, apenas a video-polissonografia pode diagnosticar definitivamente o bruxismo do sono. Todavia, o alto custo da Polissonografia limita sua aplicação prática em termos quantitativos, visto que a realização desse exame necessita de recursos como laboratório de sono estruturado, técnico capacitado e deslocamento do paciente (LAVIGNE et al., 1996 in apud Moraes et al., 2015).

2.1.4 Monitoramento Eletromiográfico

O eletromiograma funciona através de eletrodos que capturam os potenciais elétricos do músculo em contração; de um amplificador, que processa o sinal elétrico; e de um decodificador, para visualização gráfica e/ou audição dos sons emitidos (COLOMBO et al., 2002).

Carra, Haynh e Lavigne (2012) afirmam que essa ferramenta tem maior usabilidade indicada na avaliação clínica do bruxismo e com amostras grandes, visto alguns fatores que interferem na confiabilidade dos resultados expressos por esse método, principalmente pela baixa especificidade e sensibilidade na distinção de atividade muscular mastigatória rítmica das demais atividades orofaciais e motoras que ocorrem durante o sono, não monitorando ainda despertar do sono e demais variáveis.

Para Carvalho (et al., 2003);

"Por sua vez, o exame de eletromiografia, apesar de configurar-se como um método bastante preciso para diagnóstico do bruxismo noturno, apresenta alto custo, é de difícil aplicação e, quando realizado em ambiente hospitalar, tal ambiente pode modificar o comportamento do bruxismo, pois essa parafunção parece ser sensível a simples alterações, como mudança do local habitual de dormir, o que inviabiliza a sua aplicação em uma amostra mais ampla. Portanto, a obtenção da estimativa real do bruxismo noturno é extremamente difícil (CARVALHO et al., 2003)".

2.1.5 Sinal eletromiográfico e suas características

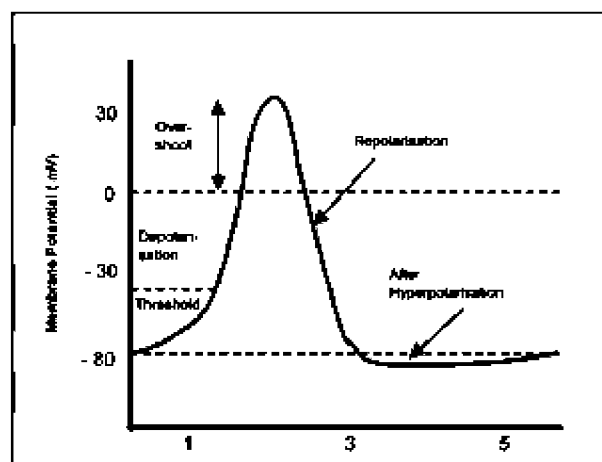
Quando um ser humano deseja realizar um movimento muscular, basta que emane um pensamento que a ação será realizada. Para que o corpo biológico reproduza tal desejo, é necessário um conjunto de reações eletroquímicas que se originam no córtex cerebral e partem no sentido dos tecidos que compõem os respectivos músculos (STEWART, 2004).

O Sistema Estomatognático é composto por uma série de elementos anatômicos interconectados, incluindo dentes, articulações temporomandibulares (ATMs) e músculos que são posicionados por forças internas e externas que atuam sobre a mandíbula. Estas forças causam tensões e deformações cujos sinais funcionais podem modular a diferenciação tecidual, o crescimento, o desenvolvimento, a modelagem, a remodelação, as falhas mecânicas e o reparo (HATCHER et al., 2000).

Todos os tecidos dentro do ambiente regional (componentes anatômicos do sistema mastigatório) possuem uma maneira única de modular sua arquitetura de modo a otimizar as tensões e deformações, como por exemplo: os dentes podem mover-se e sofrer desgastes; as ATMs podem alterar seu tamanho, formato ou estrutura; os músculos podem alterar seu comprimento, sarcômeros, fasciculação ou recrutamento com o objetivo de manter a harmonia funcional a partir de tensões e deformações aplicadas (HATCHER et al., 2000).

Como pode-se observar na Figura 1, a membrana celular possui três estágios de ação, diretamente relacionadas com os efeitos eletroquímicos. Quando um músculo se encontra em repouso, estará negativamente polarizado e, ao medir o potencial elétrico proveniente das fibras envolvidas, observa-se um sinal aproximado de -80 mV.

Figura 1 – Potencial de Ação.



Fonte: Konrad (2005).

Quando o grupo de fibras recebe um impulso elétrico proveniente do sistema nervoso, ocorre a produção de acetilcolina nas terminações nervosas, neurotransmissor responsável

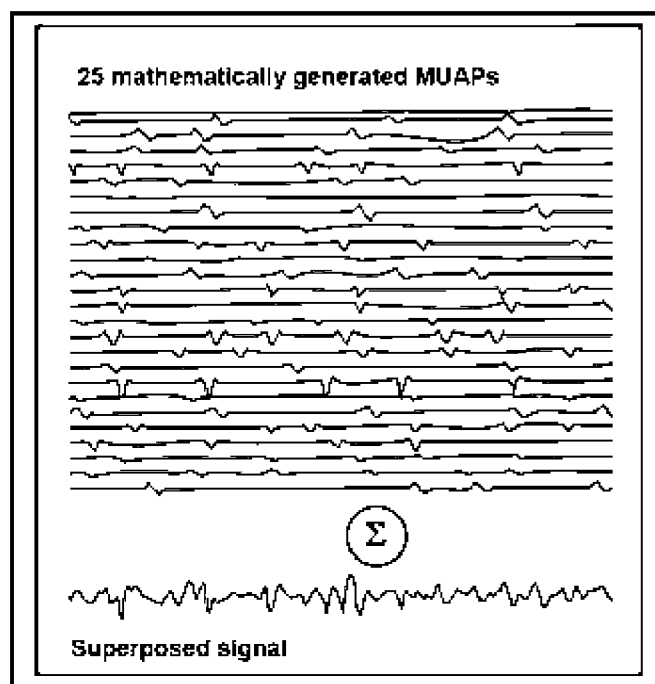
pela despolarização da membrana (ENOKA, 1996). Quando essa despolarização que ocorre no terminal específico atinge um certo limiar, uma onda é propagada por cada filamento constituinte da fibra muscular, resultando em uma contração. Neste estágio, pode-se observar que o potencial elétrico, antes negativo, será polarizado até próximo de +30 mV.

O mesmo tempo demandado pelo grupo de fibras para constituir o evento de despolarização será necessário para que ocorra a repolarização desse meio. Neste estágio, os canais responsáveis pela liberação de potássio são estimulados a liberarem seus elementos para o meio externo e, com isso, restaurar o potencial elétrico da membrana aos níveis iniciais (KONRAD, 2005).

Vale ressaltar que uma contração muscular é resultado de um impulso proveniente do sistema nervoso e, para que seja possível sustentar esta ação por um longo período, é necessária uma sequência de estímulos nervosos para que ocorra a manutenção do movimento por parte das unidades motoras.

Quando esse processo ocorre, inúmeros potenciais de ação são gerados. Cada um estará relacionado a um impulso passível de ser capturado com o auxílio da eletromiografia. Com isso, pode-se afirmar que o sinal eletromiográfico (EMG) resultante exibido por um sistema capaz de monitorar e capturar as atividades celulares das membranas será a somatória de todos estímulos detectados sob a área, ao longo de um determinado período, como exemplificado na Figura 2.

Figura 2 – Somatória de sinais MUAP.



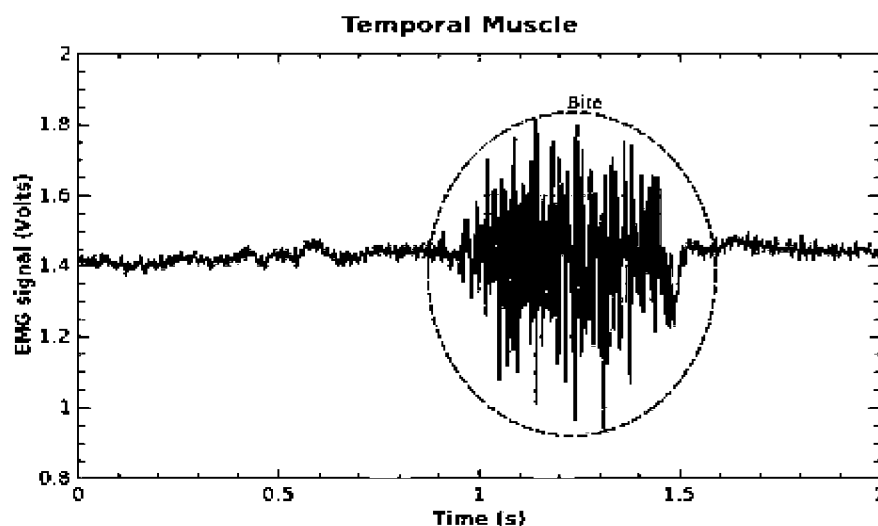
Fonte: Konrad (2005).

Um potencial de ação de unidade motora (PAUM ou MUAP, em inglês) é gerado a partir de cada fibra responsável por formatar um determinado músculo. Da mesma forma que a somatória de fibras acaba por resultar em um músculo, a somatória dos PAUMs resulta em um sinal de EMG. Um potencial de ação que é monopolar, acaba gerando um sinal bipolar quando inserido em um processo de amplificação. Tal efeito é explicado devido ao fato do ciclo de polarização e despolarização formarem um dipolo elétrico, o qual propaga-se pelas fibras musculares. Esse potencial diferencial do sinal bioelétrico é captado pelos eletrodos, os quais geram diferentes magnitudes conforme a distância que se encontram dos mesmos (Electromyography, 2014).

2.1.6 Características do sinal EMG

O sinal gerado a partir da ação conjunta de nervos e músculos, é conhecido como mioelétrico. Um sinal obtido que não tenha sofrido qualquer tipo de tratamento, como filtragem ou processamento, tão somente uma amplificação, como ocorre na Figura 3, sendo amplificado por um fator de 1000, pode ser considerado como um sinal “bruto” e contém importantes informações preliminares, as quais podem variar entre +/- 5000 microvolts e em uma faixa de frequência entre 6 e 500 Hz. É aconselhável que o sinal seja obtido e armazenado dessa forma, pois, mesmo após todos os processos de equalização, pode-se aplicar as técnicas inversas a fim de obter novamente o sinal original.

Figura 3 – Sinal bruto amplificado proveniente de uma mordida.



Fonte: O autor (2017).

Estando em posse do sinal bruto, é importante ter conhecimento dos fatores externos que podem influenciar na qualidade da aquisição, a fim de possibilitar a utilização das técnicas corretas de processamento. Dentre tais fatores, podem-se verificar os seguintes:

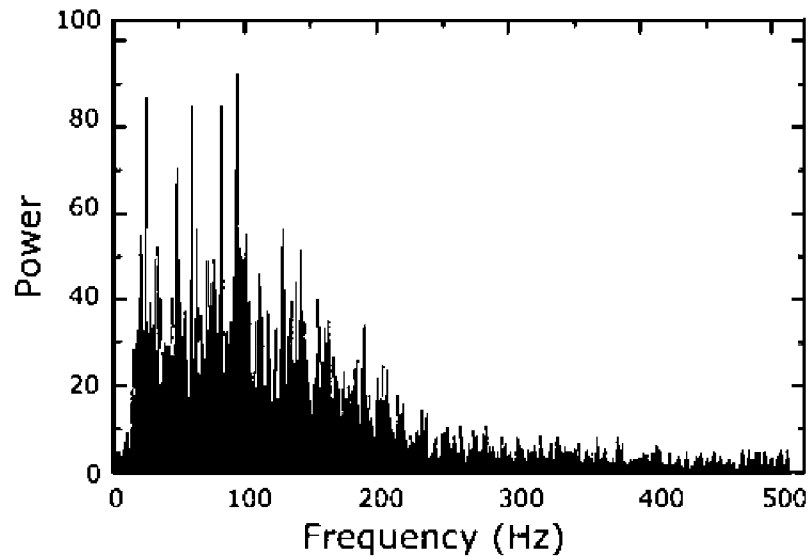
- Características do tecido analisado;
- Fisiologia cruzada;
- Mudanças na geometria entre o centro do músculo e o local do eletrodo;
- Ruídos externos;
- Eletrodos;
- Amplificadores;
- Espessura do tecido muscular;

Os sensores utilizados para realizar a captura dos sinais são conhecidos como eletrodos. Há vários modelos, podendo ser classificados em dois tipos: os de superfície e os de agulhas. A utilização de agulhas foi descartada neste estudo, devido ao fato de que para sua utilização, é necessário realizar uma inserção subcutânea no paciente e, por menor que seja o desconforto, ele está presente e segue contra os objetivos principais do projeto. Para o desenvolvimento do sistema proposto, foi utilizado um grupo de eletrodos de superfície. Tais dispositivos têm sido amplamente utilizados no meio médico, desde quando a intenção é realizar a aquisição de sinais para identificar alguma característica de um determinado grupo neuromuscular ou doenças até quando se deseja realizar algum tratamento, como pode-se observar na fisioterapia (MERLETTI et al. 2009). Quando o eletrodo de superfície é utilizado para obter o sinal EMG, o processo passa a ser conhecido como eletromiografia de superfície.

Da mesma forma que existem vários tipos de eletrodos, a forma com que podem ser trabalhados também varia dependendo da aplicação desejada. Para o presente estudo, inicialmente, foi utilizado um eletrodo cujo material é composto por uma liga de prata-cloreto de prata (Ag-AgCl), o qual possui a capacidade de converter a corrente iônica que está trafegando pelas fibras musculares em uma corrente elétrica.

Para realizar a captação do sinal EMG utilizando um eletrodo de superfície, existe um conjunto de boas práticas seguidas com a intenção de melhorar a qualidade da captação, do momento da aquisição até a filtragem do sinal. Os padrões citados anteriormente são estabelecidos por sociedades de pesquisa internacionalmente aclamadas, como a ISEK (International Society of electrophysiology and Kinesiology) e SENIAM (Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles). As recomendações iniciam-se na coleta do sinal bruto, aconselhando que ele seja capturado e armazenado sem o auxílio de nenhum tipo de processamento, exceto um filtro amplificador de banda passante na faixa de 10 – 500 Hz, o qual será responsável por amplificar a maior gama de frequências dos grupos musculares do corpo humano, tendo em vista que elas podem variar entre um valor contínuo até 1000 Hz, como mostra a Figura 4.

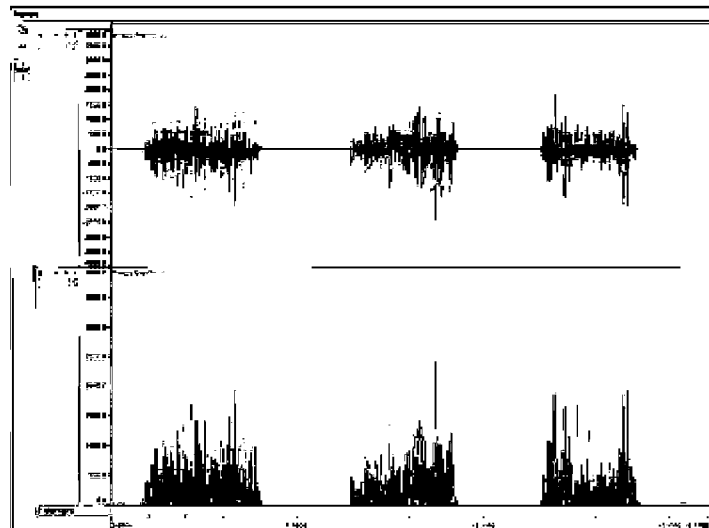
Figura 4 – Espectro de frequência do sinal EMG.



Fonte: O autor (2017).

Em seguida, o sinal amplificado, que possui característica bipolar, é retificado. Nessa etapa, todas as amplitudes negativas serão convertidas para positivas. Com isso, o sinal bruto que antes possuía valor de média zero, poderá agora fornecer informações como média, pico de valor máximo, entre outros (Figura 5).

Figura 5 – Sinal EMG bruto (a) e retificado (b).

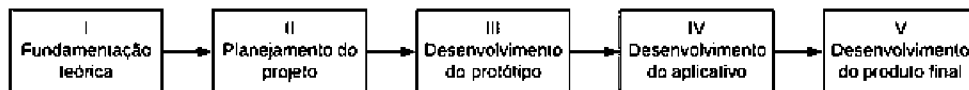


Fonte: Konrad (2005).

3 METODOLOGIA

A construção deste trabalho foi feita através de etapas, subdivididas em processos específicos, conforme mostra o fluxograma da Figura 6. A descrição dessas etapas é feita de forma detalhada nos tópicos seguintes.

Figura 6 – Fluxograma da Metodologia



Fonte: O autor (2018).

3.1 Etapas do projeto

3.1.1 Etapa I: Fundamentação teórica

O primeiro passo para iniciar o projeto proposto foi realizar um estudo sobre as áreas relacionadas ao tema, que teve como foco aprofundar os conhecimentos sobre o bruxismo, visando obter o máximo de informações para identificar as limitações e barreiras nos processos já existentes que realizam o diagnóstico do bruxismo.

Foram levantados ainda na bibliografia aspectos técnicos necessários para o desenvolvimento de um aplicativo para smartphones que faça o armazenamento de forma prática e sistemática.

3.1.2 Etapa II: Planejamento do projeto

O planejamento e a organização dos pontos desenvolvidos no projeto foram feitos após a etapa da fundamentação teórica, que norteou a pesquisa elucidando principalmente a construção do dispositivo e do aplicativo, já mencionados nos tópicos anteriores. A tomada de decisão incluiu a elucidação dos aspectos práticos, de forma a garantir o alcance dos objetivos aqui propostos, onde uma série de parâmetros deveriam ser respeitados.

3.1.3 Etapa III: Desenvolvimento do protótipo

Após a etapa de planejamento do projeto, iniciou-se as atividades de cunho prático, que correspondem ao desenvolvimento de um protótipo do sistema capaz de realizar o

monitoramento e aquisição dos dados de eventos de bruxismo ao longo de uma noite completa de sono, sem a presença de cabos externos.

3.1.4 Etapa IV: Desenvolvimento do aplicativo

A quarta etapa corresponde ao desenvolvimento de um aplicativo para smartphones, que poderá ser utilizado pelo usuário ou pelo profissional de saúde, tendo como objetivo o controle do sistema e a visualização dos dados obtidos.

3.1.5 Etapa V: Desenvolvimento do produto final

Por fim, na etapa 5 o trabalho foi concluído mediante o desenvolvimento da primeira versão do produto, atendendo assim aos objetivos propostos.

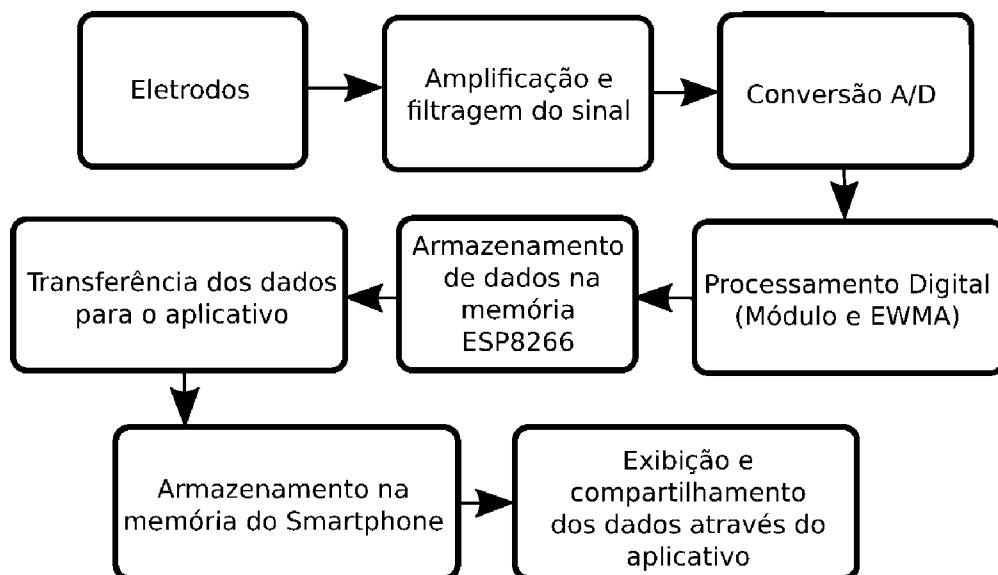
4 DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO

Este capítulo tem por objetivo abordar de forma detalhada as etapas de desenvolvimento do dispositivo proposto.

4.1 Fluxograma de operação do dispositivo

A Figura 7 ilustra o fluxograma dos processos, representando o fluxo que o sinal percorre, desde quando é obtido através dos eletrodos, passando pelo *hardware* desenvolvido, transmitido para a aplicação no smartphone, classificado e apresentado para o usuário.

Figura 7 – Fluxograma de Operação



Fonte: O autor (2017).

Para auxílio do leitor deste documento, os seguintes tópicos abordados nessa seção seguiram o fluxo exibido. Percebe-se que o esquema contempla todos os objetivos proposto para o seguinte projeto, começando com a utilização do eletrodo de superfície para gerar o menor incômodo ao paciente durante a noite de sono. Em seguida, o sinal coletado passará por alguns processamentos tanto analógicos – como o filtro passa-faixa, e amplificação do sinal – quanto digitais – como conversão de analógico para digital e filtro EWMA. Primeiramente, devido à limitação de tempo de utilização da bateria, o Wi-Fi ficará desligado e os dados serão armazenados na memória interna do ESP8266. Por fim, o usuário poderá conectar seu smartphone com o dispositivo e, através da aplicação, exportar os dados para seu celular.

4.2 Amplificação do sinal EMG

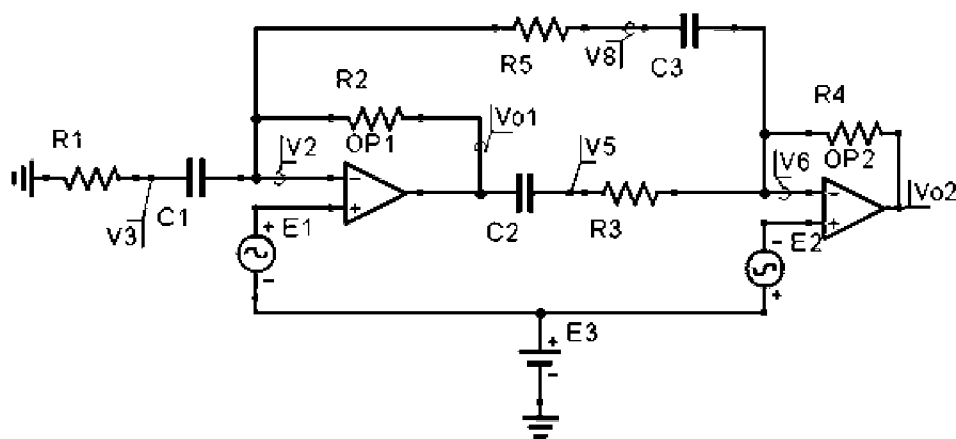
Devido à baixa amplitude dos sinais brutos de EMG, é necessário que sejam submetidos a uma etapa de amplificação e filtragem, com o intuito de minimizar os ruídos fora das frequências de interesse.

Para realizar a amplificação e filtragem do sinal, destacam-se alguns fatores que possuem grande influência no processo, entre eles:

- Banda de frequência;
- Ganho de tensão (A_v);
- Relação sinal ruído (SNR);
- Razão de Rejeição de Modo Comum (CMRR).

A fim de aplicar os conceitos abordados previamente relacionados ao processamento do sinal, foi desenvolvido um circuito eletrônico (Figura 8) capaz de realizar a amplificação e filtragem necessárias para aperfeiçoar a qualidade do sinal bruto. O sistema possui amplificadores operacionais de instrumentação com uma alta impedância em suas portas de entrada para que, dessa forma, seja possível processar o baixo nível de tensão captado pelos eletrodos. Outro fator que se levou em consideração ao projetar o circuito eletrônico, foi atender ao objetivo de o sistema possuir um tamanho reduzido, tendo em vista que o mesmo deve ser embarcado junto ao paciente. O sinal proveniente dos eletrodos é representado pelas fontes de tensão E1 e E2, sendo E3 um potencial de referência fixo.

Figura 8 – Circuito amplificador.

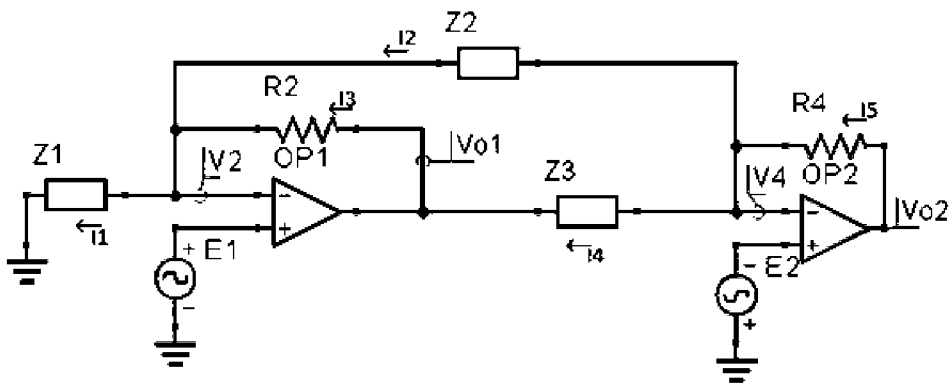


Fonte: O autor (2018).

Para auxiliar no equacionamento dos componentes que constituem a eletrônica exibida anteriormente, alguns elementos foram agrupados e substituídos por uma impedância equivalente, os quais podem ser observados na Figura 9 e serão listados a seguir:

- Resistor R1 e Capacitor C1 resultando na Impedância Z1.
- Resistor R5 e Capacitor C3 resultando na Impedância Z2.
- Resistor R3 e Capacitor C2 resultando na Impedância Z3.

Figura 9 – Circuito com impedâncias Equivalentes.



Fonte: O autor (2018).

A seguir, serão demonstradas as equações utilizadas para calcular o valor do ganho A_v , tal como a análise dos nós feita a partir da Lei de Kirchhoff com o intuito de obter as Funções de Transferência relacionadas ao modo Comum e ao modo Diferencial.

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (4.1)$$

$$NóV4 : I_5 = I_4 + I_2 \quad (4.2)$$

$$NóV2 : I_1 = I_2 + I_3 \quad (4.3)$$

$$I_1 = \frac{V_2}{Z_1} \quad (4.4)$$

$$I_2 = \frac{V_4 - V_2}{Z_2} \quad (4.5)$$

$$I_3 = \frac{V_{o1} - V_2}{R_2} \quad (4.6)$$

$$I_2 = \frac{V_4 - V_{o1}}{Z_3} \quad (4.7)$$

$$I_2 = \frac{V_{o2} - V_4}{R_4} \quad (4.8)$$

Equação obtida para o Modo Comum:

$$V_2 = V_4 = V_{in} \quad (4.9)$$

$$\frac{V_{o2}}{V_{in}} = 1 - \frac{R_4 * R_2}{Z_1 * Z_3} \quad (4.10)$$

Equação obtida para o Modo Diferencial:

$$V_{dif} = V_2 - V_4 \quad (4.11)$$

$$\frac{V_{o2}}{V_{dif}} = -1 - \frac{R_4 * R_2}{Z_1 * Z_3} - \frac{2 * R_4}{Z_2} - \frac{2 * R_4 * R_2}{Z_2 * Z_3} - \frac{2 * R_4}{*Z_3} \quad (4.12)$$

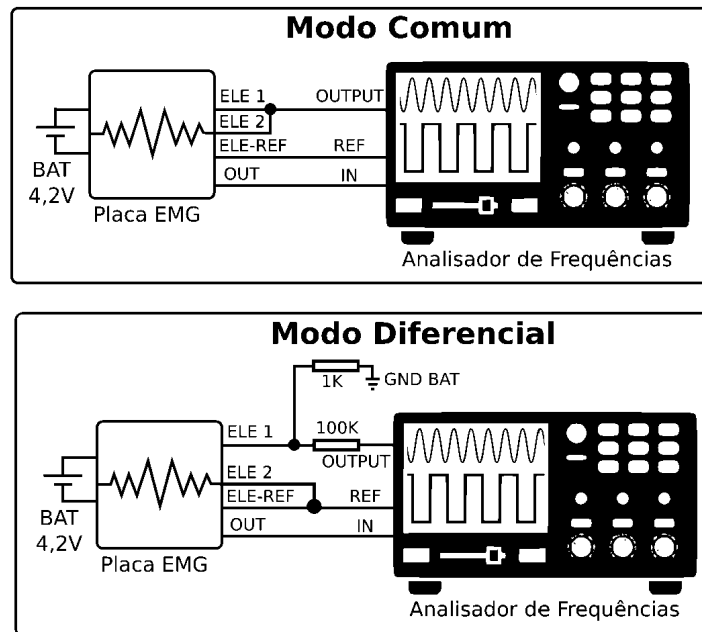
Estando em posse das equações, é possível calcular o valor necessário de cada componente para que, assim, obtenha-se tanto o ganho de 1000 vezes quanto o corte na frequência de sessenta hertz, devido à interferências da frequência da rede.

4.3 Análise em Frequência

Após realizar a montagem de todas as etapas do circuito desenvolvido, foi efetuada a medição do sistema tanto em modo comum como em modo diferencial com o auxílio do analisador de frequência - presente no laboratório LAMMI "Laboratório de Medidas, Magnetismo e Instrumentação", o qual está situado no prédio de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, campus Politécnico.

Tais medidas serviram de suporte para verificar os sinais de magnitude e fase desses modos e verificar se os componentes utilizados estavam proporcionando os resultados almejados, tal como a amplificação em mil vezes do sinal proveniente dos eletrodos e a filtragem do sinal na frequência de 60Hz para evitar eventuais interferência da rede elétrica. A configuração dos aparelhos para realizar as medições são mostradas na Figura 10.

Figura 10 – Esquemático para análise em frequência.



Fonte: O autor (2018).

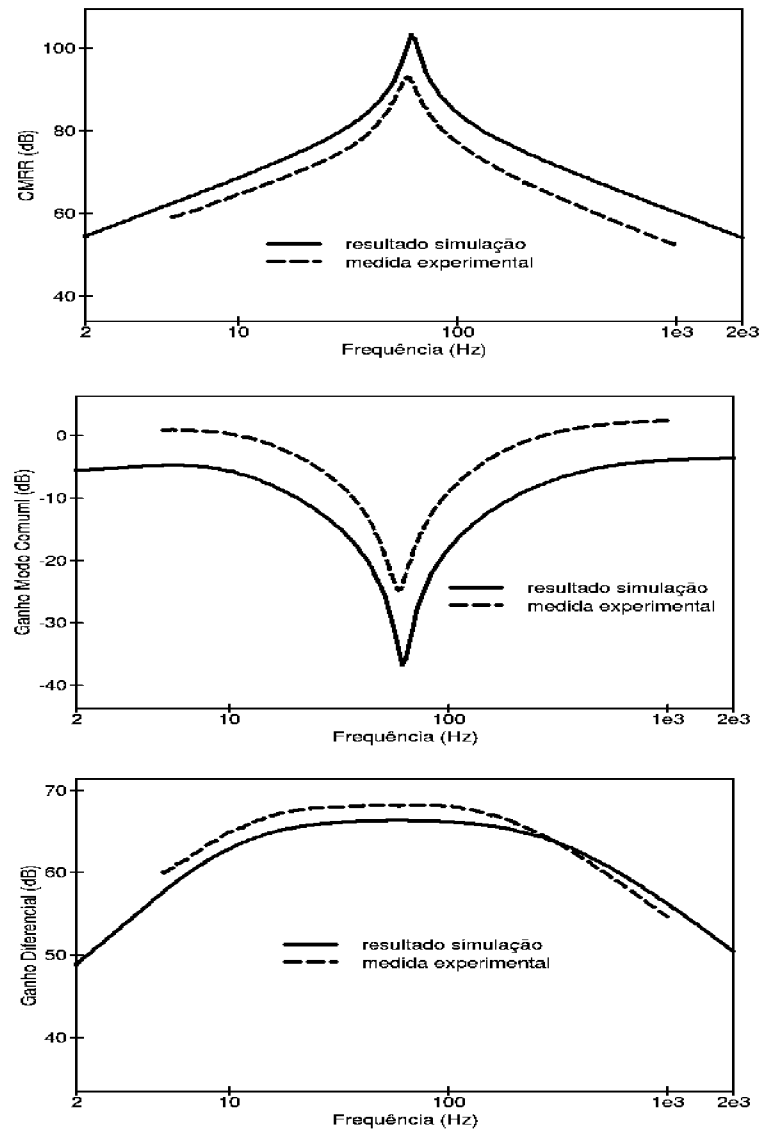
Para realizar a análise em modo comum, deve-se colocar os eletrodos de aquisição em curto e ligados ao sinal de saída do analisador de frequências. Assim, ambos os amplificadores serão polarizados igualmente. O sinal de saída do dispositivo deve ser conectado ao pino de entrada e os sinais de referência de ambos os aparelhos devem ser conectados. Já na configuração de modo diferencial, almeja-se verificar o sinal resultado de cada amplificador em separado. Para isso, somente um dos eletrodos por vez será alimentado com o sinal proveniente do analisador, enquanto o outro será colocado junto ao sinal de referência.

Vale ressaltar que o analisador de frequência foi configurado para realizar uma varredura desde 5Hz até 5kHz. Sua amplitude de atenuação está configurada para -20dbm para o modo comum e -40dbm para o modo diferencial, no qual nesse caso, é necessário anexar um divisor de tensão para aumentar ainda mais a atenuação do sinal (mais -40dbm) devido à alta amplitude resultante desse modo. Os dados obtidos após essas análises foram extraídos e reconstruídos com o auxílio de um *software* de processamento de cálculos matemáticos.

4.4 Circuitos Adicionais

O *hardware* completo do sistema de aquisição é composto por quatro componentes principais, dos quais três estão presentes na Figura 12, sendo eles o microcontrolador ESP

Figura 11 – Respostas da análise em frequência



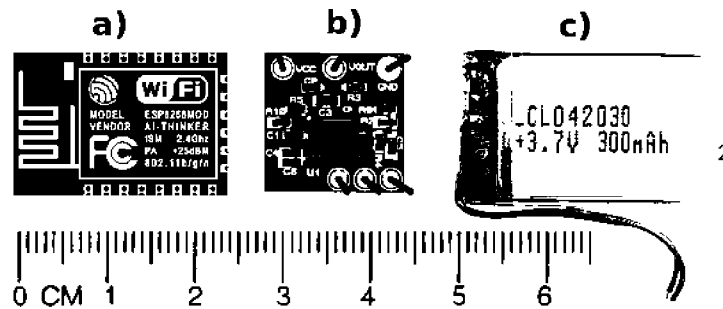
Fonte: O autor (2018).

8266, o circuito de amplificação e filtragem e a bateria de LiPo. O quarto elemento que integra este conjunto são os eletrodos de superfície.

4.4.1 Microcontrolador ESP8266 – 12e

Devido à necessidade de uma unidade controladora para coordenar as funções implementadas em nível de *hardware* e levando em consideração alguns objetivos almeçados pelo projeto, como baixo consumo de energia, dimensões compactas, suporte para comunicação sem fio, capacidade de armazenamento de dados *off-line*, entre outros, o ESP 8266 apresentou-se como um microcontrolador capaz de abordar todos os requisitos mencionados.

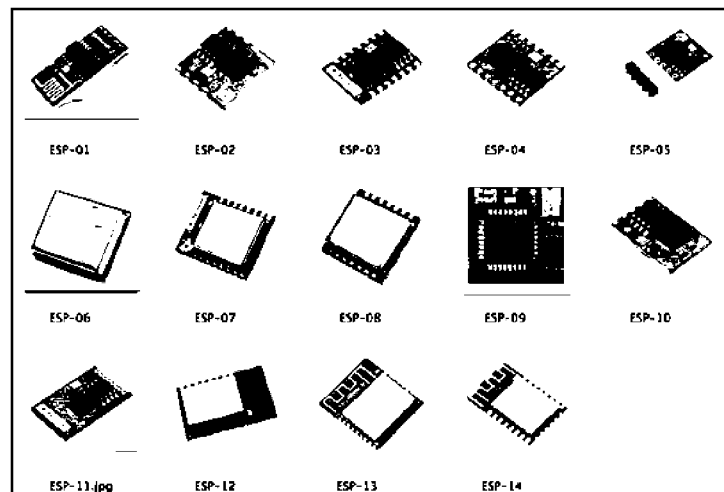
Figura 12 – Componentes do *hardware*. a) ESP8266-12E. b) Circuito de amplificação e filtragem. c) Bateria LiPo.



Fonte: O autor (2018).

O ESP-8266 é um dispositivo que foi desenvolvido com a meta de propor soluções de mobilidade e conectividade para a área de IoT (*Internet of Things*), que tem crescido exponencialmente nos últimos anos. Devido ao seu tamanho reduzido, facilidade de conectividade com redes *wireless*, capacidade de processamento alta (levando em consideração o seu tamanho) e baixo custo (podendo ser obtido por até R\$ 5,00, dependendo do fornecedor e quantidade adquirida), vem ganhando grande destaque nestas áreas de desenvolvimento. O componente foi desenvolvido pela empresa Espressif e possui inúmeras variações para as mais diversas aplicações, como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Modelos do ESP8266.



Fonte: Fabricante Espressif Systems.

Para o projeto desenvolvido, utilizou-se a versão ESP8266-12, a qual possui as seguintes configurações:

- Dimensões de 16 x 24 x 3 mm;
- Suporte *wireless* 802.11 b/g/n;
- MCU 32-bit de baixo consumo;
- CPU operando entre 80-160MHz;
- Conversor ADC de 10-bits;
- Protocolo TCP/IP integrado;
- WI-FI 2.4 GHz, suportando WPA/WPA2;
- SDIO 2.0, SPI, UART, I2C, I2S, IRDA, PWM, GPIO;
- 32KBytes de RAM para instruções;
- 96KBytes de RAM para dados;
- 64KBytes de ROM para *boot*;
- Possui memória flash de 4Mb.

Devido à necessidade do sistema desenvolvido possuir autonomia de funcionamento suficiente para uma noite completa de sono e também realizar o upload dos dados obtidos para o *software*, estimou-se que o mesmo deveria ser capaz de operar entre 10 e 12 horas antes de realizar a recarga da bateria. Levando este aspecto em consideração, novamente o ESP8266 apresentou-se como uma ótima solução, pois, como pode-se observar na Tabela 1, caso se deseje utilizar todas as funcionalidades disponíveis pelo dispositivo, ele tem um consumo de apenas 15 mA, quando operando no modo de aquisição de dados EMG. Porém, o mesmo dispõe da possibilidade de ser configurado para trabalhar em diversos modos de operação, entre eles o “*Deep Sleep*”, o qual tem um consumo de apenas 10 μ A.

Tabela 1 – Modos de operação ESP8266.

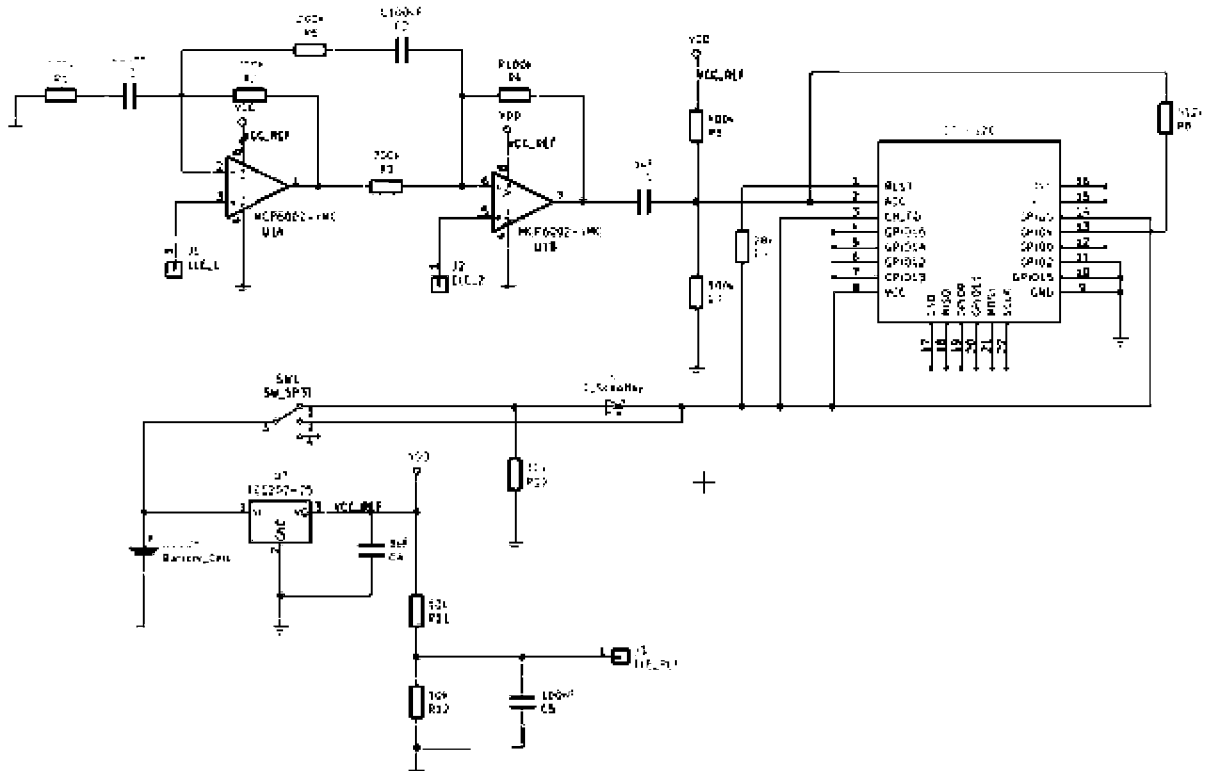
Modo	Típico	Corrente
Transmit 802.11n, MCS7, POUT=+14dBm	135	mA
Receive 802.11n, packet length=1024 byte, -65dBm	62	mA
Standby	0,9	mA
DeepSleep	10	μ A
Power savemode DTIM 1	1,2	mA
Modo de aquisição de dados de EMG	15	mA

Essa baixa corrente de consumo é possibilitada devido ao fato da função de comunicação *wireless* ser desativada. Entretanto, a CPU continua ativa. Com isso, o dispositivo projetado torna-se uma alternativa viável para aquisição de sinais durante uma noite de sono, utilizando como fonte de energia uma bateria de LiPo de 300 mAh de capacidade.

4.5 Circuito Completo

Na Figura 14, pode-se observar o diagrama completo do circuito desenvolvido.

Figura 14 – Circuito Completo.



Fonte: O autor (2018).

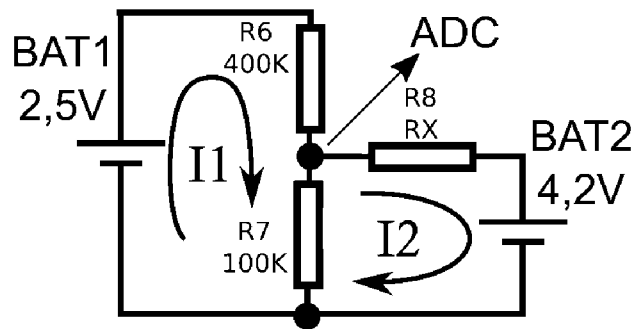
Tendo em vista que o ESP8266 possibilita trabalhar com tensões de alimentação de 3 a 4,2 V, inicialmente, um regulador de tensão não se mostrava necessário. Após alguns testes, no entanto, verificou-se que ao se realizar alguma comunicação via *wireless*, ocorriam alguns picos de corrente no sistema, os quais, por sua vez, resultam em oscilações no sinal de saída dos amplificadores.

A princípio, tal fato não se apresentava como um problema, uma vez que, como abordado anteriormente, a comunicação via WI-FI será desativada durante a aquisição dos dados, devido ao consumo. Com isso, tais picos não estariam presentes. Mas, devido à implementação da funcionalidade de verificação do sinal do eletrodo em tempo real, tornou-se necessário propor uma solução para tal problema, implementando um regulador de tensão para estabilizar apenas a alimentação do circuito de amplificação em 2,5 Volts, atenuando os picos de corrente até um ponto que sua influência se tornou irrelevante.

Outro circuito adicionado foi um divisor de tensão, formado pelos resistores R6, R7 e R8 (Figura 15), de modo a possibilitar a leitura da tensão da bateria pelo ADC, o que

permite estimar a autonomia do dispositivo. Para isso, é necessário alterar o nível lógico da porta GPIO4 para alto e efetuar a média (por *software*) de um grande número de aquisições do ADC, fazendo com que o sinal alternado proveniente dos músculos seja cancelado, sobrando somente o sinal contínuo da bateria. Quando esse modo for requisitado, o ESP realizará uma rotina na qual será feita uma média de duas mil amostras para determinar a tensão da bateria, a partir das equações do circuito, como mostrado na Figura 15.

Figura 15 – Circuito para cálculo do resistor de medição da bateria.

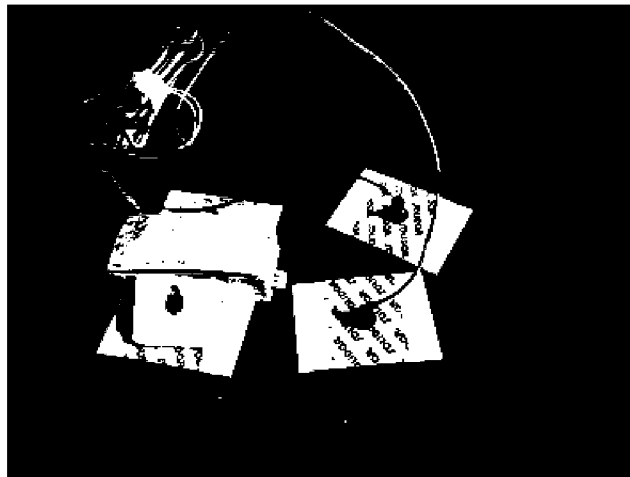


Fonte: O autor (2018).

4.6 Construção do Sistema

Levando em consideração as dimensões do *hardware* - a do ESP8266 e a da bateria - foi produzida uma primeira versão do dispositivo proposto com o auxílio de uma impressora 3D, a qual pode ser visualizada na Figura 16.

Figura 16 – Dispositivo impresso em impressora 3D.

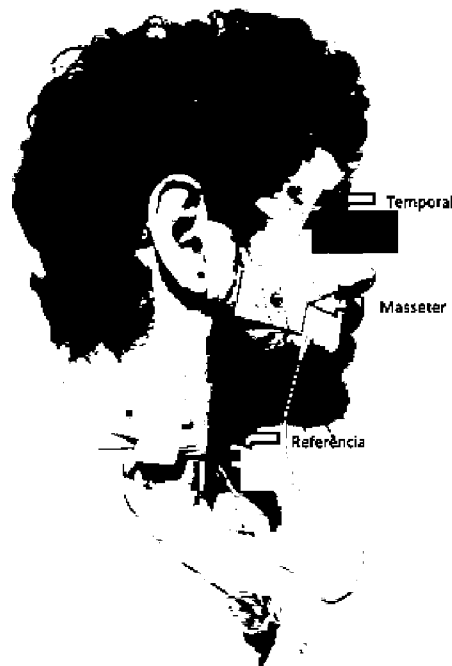


Fonte: O autor (2018).

O sistema resultante possui as dimensões de 50 x 20 x 15 milímetros (comprimento x largura x altura) e foi desenvolvido com o intuito de otimizar o máximo o espaço disponível para gerar o menor incômodo possível ao paciente que irá utilizá-lo durante a noite de sono. Após algumas análises, observou-se que a região do pescoço é a região mais propícia para posicionar o eletrodo de referência (eletrodo posicionado na base do dispositivo), gerando o menor desconforto possível durante uma noite de sono.

Observando a Figura 17, é possível notar que, na base do dispositivo, estão acoplados dois eletrodos autoadesivos, os quais estão ligados em série e representam os eletrodos de referência do circuito. Tal posicionamento não somente proporciona o sinal de referência para o circuito como também é responsável por fixar o sistema no paciente.

Figura 17 – Posicionamento eletrodos.



Fonte: O autor (2018).

Até o momento, as regiões mais indicadas para posicionar os eletrodos de referência são ou em uma das laterais do pescoço ou na região da nuca, optando-se por aquela em que o paciente se sinta mais confortável. Como abordado anteriormente, para realizar a correta leitura do sinal de EMG resultante de um evento de bruxismo, os outros dois eletrodos devem ser posicionados nos músculos masseter e um outro no temporal (Figura 17).

Dessa forma, será retornado um sinal pelo sistema somente quando ambos os músculos forem estimulados, fato que ocorre somente durante uma mordida e se abstém durante outros possíveis eventos noturnos, como a fala ou bocejo, por exemplo.

4.7 Custo de desenvolvimento

Uma vez que o projeto pretende estar disponível para ser utilizado em grande escala, o custo envolvido no processo é fundamental, pois, se tiver um alto custo relacionado, estaria inviabilizando alguns dos objetivos propostos para o tema.

Tabela 2 – Orçamento do dispositivo.

Componentes	Valor R\$
Eletrodos – 4 unidades (1 utilização)	1,50
Estrutura em plástico	15,00
ESP8266 – 12e	20,00
Componentes eletrônicos	15,00
Fiação	1,50
Bateria - 1	45,50
Total	98,00

Visualizando a Tabela 2, pode-se perceber que o custo necessário para produzir um sistema completo é bem reduzido, assumindo que seria um investimento único e, ao comparar esse valor com uma noite em uma clínica que realiza o teste de polissonografia – com o custo de 450 reais (valor adquirido ao ligar em uma clínica que fornece o serviço, porém, a mesma não autorizou divulgar seu nome) – o preço do dispositivo é altamente viável.

4.8 Aplicativo para dispositivos móveis

Com o avanço da tecnologia, os smartphones deixaram de ser artigos de luxo e tornaram-se dispositivos acessíveis a grande parcela da população. Com isso, cada vez mais os aplicativos desenvolvidos para tais plataformas têm estado presentes no cotidiano das pessoas, contemplando desde as que buscam entretenimento até aquelas que os utilizam como ferramenta de trabalho.

Tendo em vista que o projeto proposto visa desenvolver um sistema não somente de baixo custo, mas que também possa ser facilmente utilizado pelo usuário, a possibilidade de desenvolver um aplicativo capaz de gerenciar todas as funcionalidades disponíveis mostrou-se extremamente viável.

Devido ao fato de que a maior parcela dos smartphones que são comercializados nos dias atuais utilizar como sistema operacional fornecido pela Google o Android, optou-se a priori por desenvolver o aplicativo para a respectiva plataforma, a fim de atender uma maior gama de usuários.

Outro fator de grande impacto nessa decisão é o fato da IDE (*Integrated Development Environment*) utilizada para a implementação da aplicação, Android Studio, ser totalmente gratuita. Também deve-se dizer que não é necessário assinar nenhuma forma de mensalidade

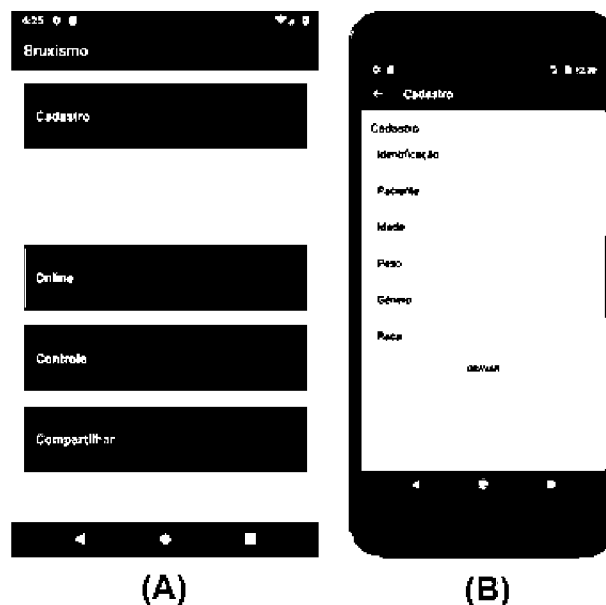
para que o aplicativo seja futuramente disponibilizado para *download* através da Google Play Store, contribuindo assim para o objetivo de o dispositivo possuir um baixo custo.

Para que o aplicativo desenvolvido pudesse ser definido como prático e eficiente com base nos objetivos propostos, deve corresponder a alguns requisitos, tais como:

- As telas desenvolvidas devem ser o menos “poluídas” possível, mantendo somente os elementos essenciais.
- Possuir uma interface intuitiva de utilização.
- Ser capaz de controlar todas as funções implementadas no *hardware*.
- Possibilitar o compartilhamento dos dados obtidos.
- Exibir graficamente os eventos armazenados.

Na sequência serão apresentadas as telas desenvolvidas que compõem o aplicativo, juntamente com suas funcionalidades.

Figura 18 – (A) Interface principal. (B) Interface de cadastro.

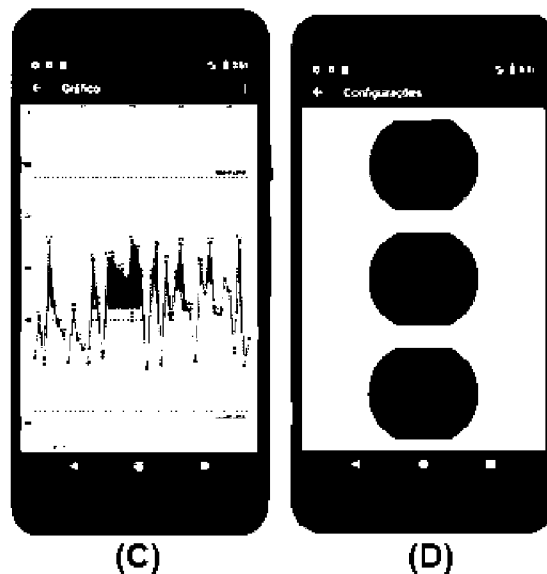


Fonte: O autor (2018).

- (A) Interface principal: Composta por cinco botões que possibilitam a navegação para todas as outras telas. A forma como os botões estão dispostos e reagem ao toque tem por objetivo facilitar a escolha e interação por parte do usuário.

- **(B)** Interface de cadastro: Quando o usuário selecionar a tela de cadastro, irá se deparar com campos de texto os quais terá de preencher com algumas informações pessoais. Os dados requeridos têm como objetivo identificar o indivíduo que está utilizando a aplicação e coletar algumas informações que podem ser importantes para realizar uma correlação futura com eventos identificados. Para realizar o armazenamento dos dados, foi implementado um banco de dados utilizando a estrutura SQLite.

Figura 19 – (B) Interface de gráficos. (C) Interface de controle.

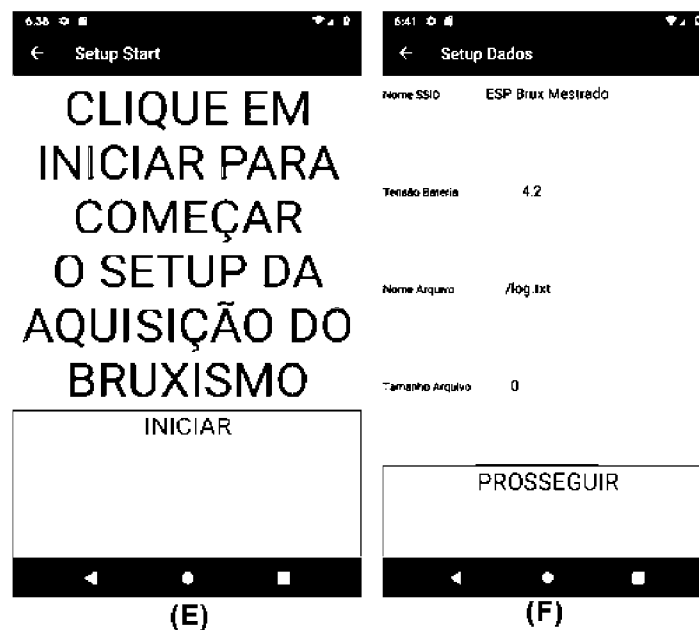


Fonte: O autor (2018).

- **(C)** Interface de gráficos: Nesta tela, o usuário será capaz de visualizar os dados que foram fornecidos pelo *hardware* durante as utilizações. Ele poderá escolher visualizar os dados adquiridos pelo sistema em uma noite de sono passada, as quais serão armazenados em um banco de dados implementado na aplicação, resultando em um histórico do paciente.
- **(D)** Interface Online: Ao selecionar a tela de controle, o usuário será redirecionado a uma tela semelhante à tela inicial, no aspecto visual. Porém, a tela de controle apresenta três opções de telas para onde o usuário poderá seguir. Na tela de teste, será possível realizar uma verificação prévia sobre a estabilidade do sistema. O usuário passará por etapas com o intuito de checar alguns fatores antes de iniciar sua utilização, tais como o sinal de comunicação entre *hardware* e *software*, se o equipamento está posicionado corretamente sobre os músculos entre outros. Na tela de telemetria, o usuário poderá verificar algumas informações referentes ao *hardware*,

como o estado atual de funcionamento, nível da bateria, tempo de autonomia e espaço de memória disponível. A última opção é responsável por iniciar o processo de monitoramento e aquisição. Importante dizer que tal etapa somente terá início caso o sistema corresponda a alguns pré-requisitos: autonomia suficiente para uma noite de sono, espaço de memória interna livre suficiente para armazenar os dados entre outros.

Figura 20 – (E) Interface de setup inicial. (F) Interface setup de dados.



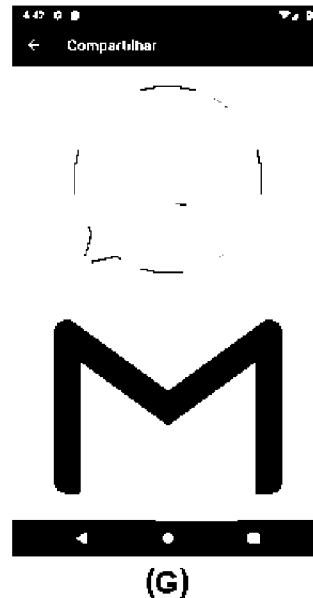
Fonte: O autor (2018).

- (E) Interface de setup inicial; (F) Interface setup de dados: Para realizar o início da aquisição, após clicar no botão iniciar, o usuário deverá navegar por algumas telas que têm como propósito auxiliá-lo na ideal configuração do sistema. Primeiramente, será exibida uma tela alertando que ele está iniciando o *setup* para obtenção dos dados. Após confirmar a ação, o usuário será direcionado a uma tela responsável por verificar alguns itens fundamentais para o processo como conexão *wireless* com o dispositivo, nível da bateria, se o arquivo no qual os dados serão salvos foi criado e está vazio. Após essa verificação, se tudo estiver correto, o aplicativo direciona o usuário até uma tela em que será requisitada a fixação dos eletrodos nos locais corretos para que o aplicativo verifique se o sinal de uma mordida está sendo obtido com qualidade. Após todos esses passos, será possível dar início à aquisição dos eventos noturnos relacionados ao sistema estomatognático.

Ao selecionar esta opção, o usuário poderá visualizar o sinal que está sendo fornecido pelo sistema em tempo real. Com isso, será possível analisar a dinâmica do sinal

obtido antes de iniciar a aquisição. Tal funcionalidade foi desenvolvida, a priori, para realizar o *setup* de inicialização.

Figura 21 – (G) Interface compartilhamento.



Fonte: O autor (2018).

- **(G)** Tela de Compartilhamento: caso o usuário deseje compartilhar os dados obtidos durante as aquisições, pode optar por dois meios, e-mail ou WhatsApp. Ao selecionar uma das opções, o usuário deverá selecionar o arquivo que deseja enviar e, em seguida, será direcionado até a aplicação de compartilhamento desejada. Nela, o arquivo já estará anexado junto de algumas informações prévias.

4.9 Custo de desenvolvimento

A proposta desse trabalho objetivou o desenvolvimento de um sistema capaz de realizar comunicação estável entre o *hardware* e *software* propostos, possibilitando avaliar a viabilidade dos objetivos propostos. Com relação à eletrônica, pode-se observar que a aquisição de um sinal EMG pode ser feita a partir de uma eletrônica de dimensões reduzidas.

O fato de a mesma ter como requisito um tamanho reduzido, acabou gerando diversos desafios ao longo do desenvolvimento do projeto. Devido ao alto consumo de corrente da comunicação wireless estabelecida entre o ESP8266 e o celular para realizar o tráfego de dados, algumas funcionalidades que envolviam realizar uma captura e visualização em tempo real, acabaram tendo seu desempenho debilitado. Desta forma, foi

necessário reformular a arquitetura do circuito, a fim de incluir um estabilizador de sinal sem impactar no espaço disponível.

Devido aos obstáculos encontrados em algumas etapas do *hardware*, foi realizada uma reestruturação na forma de realizar a comunicação entre o dispositivo e o aplicativo, com o objetivo de evitar possíveis perdas de comunicação.

Outro fator analisado nesta etapa foi a autonomia proposta de 8-10 horas, a qual se mostrou possível com o uso da bateria de 300 mAh utilizada. O seu tamanho, mesmo que ainda reduzido ao comparado com outras baterias, é muito elevado ao comparado com o restante da eletrônica desenvolvida. Mesmo com esse quesito, obteve-se sucesso em embarcar o *hardware* em um compartimento de dimensões reduzidas e que, ao mesmo tempo, fosse possível de ficar em contato com a pele sem causar um maior desconforto.

As rotinas presentes no ESP8266 foram implementadas com o auxílio da IDE do Arduino. Até o momento, foram implementadas funções capazes de:

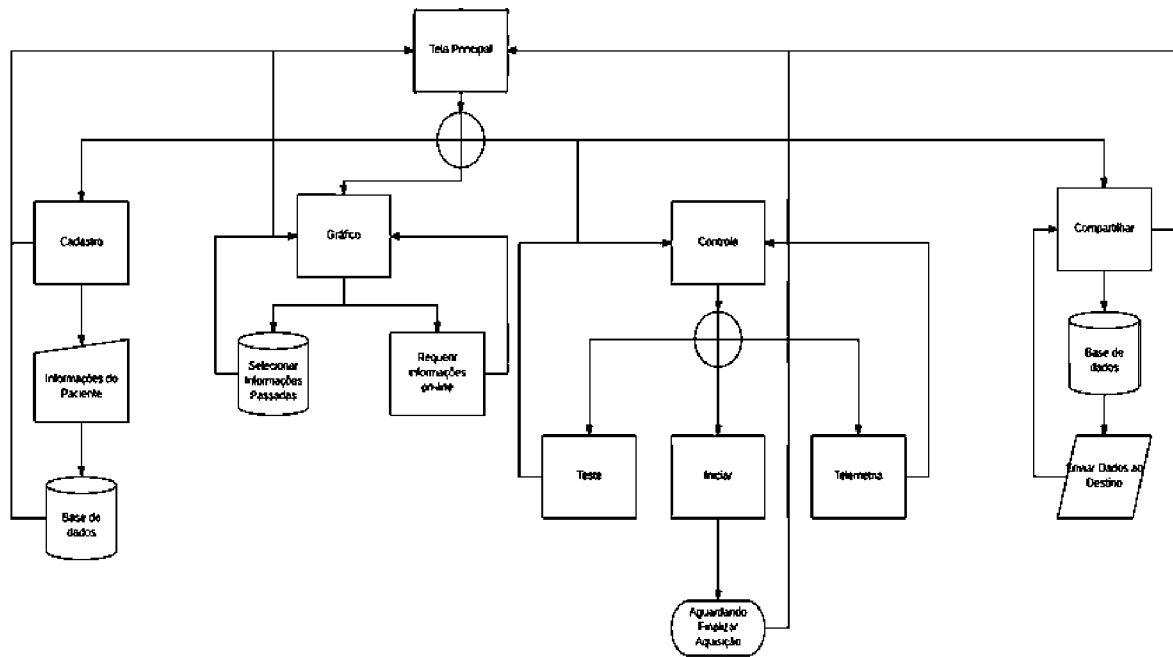
- Converter o sinal analógico em digital;
- Retificar o sinal com auxílio da função módulo;
- Aplicar o filtro de Média Móvel Exponencial;
- Chamar rotina de telemetria para informar estado de comunicação, nível da bateria e espaço de memória disponível;
- Chamar rotina para realizar teste de estabilidade;
- Chamar rotina para aquisição do sinal.

Como abordado anteriormente, o aplicativo desenvolvido para plataforma Android teve todas suas funcionalidades desenvolvidas com o intuito de gerenciar o sistema como um todo. A comunicação entre o *hardware* e o *software* é estabelecida através da tecnologia WI-FI. O ESP8266 está configurado como um ponto de acesso (*access point*). Assim, o usuário do aplicativo pode conectar-se da mesma maneira que a uma rede convencional. Porém, não é necessária uma conexão com a internet para estabelecer uma comunicação sem fio.

O protocolo de comunicação escolhido utilizado para trafegar as informações entre a aplicação e a eletrônica foi o JSON devido a sua facilidade de implementação e robustez. O fluxo das informações do sistema pode ser verificado no fluxograma da Figura 22.

Após utilizar o sistema desenvolvido durante uma noite de sono, tanto em um voluntário que possui a doença do bruxismo, quanto outro que não, foi possível obter as amostras de dados mostradas nas Figuras 23 – 25.

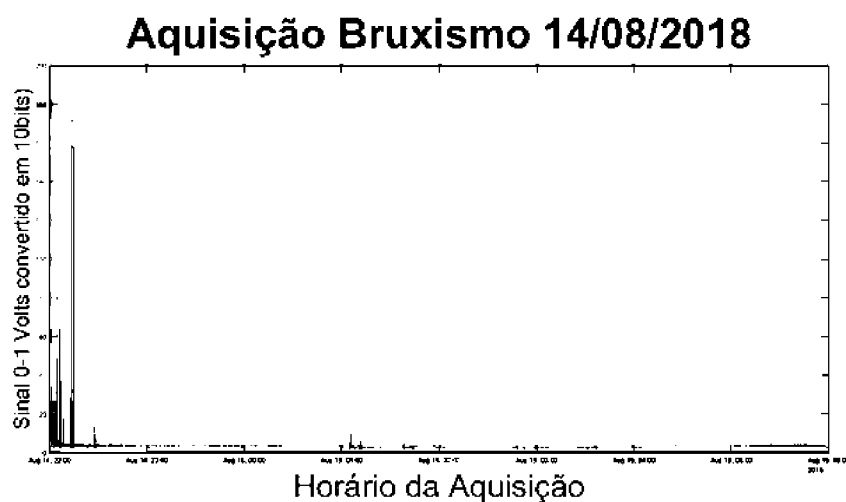
Figura 22 – Fluxograma do sistema.



Fonte: O autor (2018)

Após utilizar o sistema desenvolvido durante uma noite de sono, tanto em um voluntário que possui a doença do bruxismo, quanto outro que não, foi possível obter as seguintes amostras de dados.

Figura 23 – Dados provenientes de paciente sem bruxismo.



Fonte: O autor (2018)

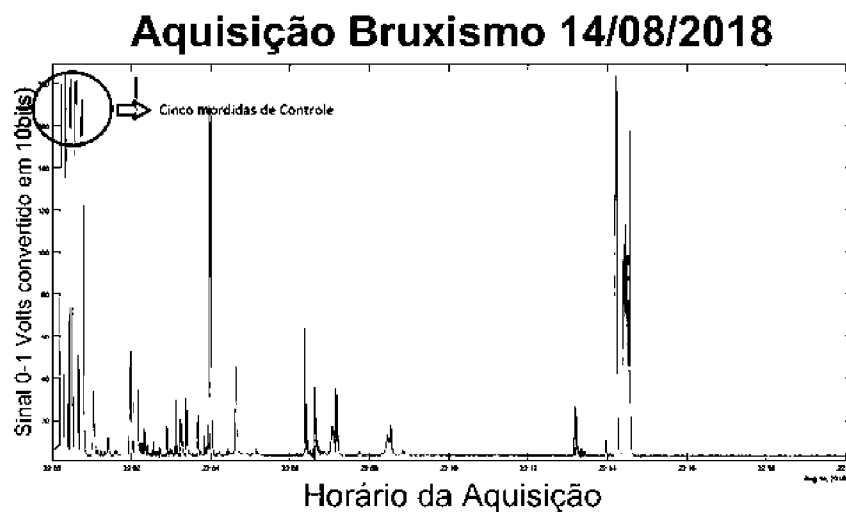
Os dados obtidos foram referentes a um usuário sem bruxismo. Para início de aquisição, foi requisitado que o mesmo realizasse cinco breves mordidas, para utilizar de

controle, as quais podem ser observadas no começo do gráfico. Ao longo da noite, pode-se observar uma estabilidade do sinal, devida a ausência de eventos de bruxismo, exceto por um evento que foi identificado após 22h.

Para melhor verificação dos dados, foi aplicada uma amplificação no gráfico da imagem anterior, nos primeiros vinte minutos de aquisição, que pode ser verificada na Figura 25.

Um padrão que está sendo adotado ao utilizar o dispositivo, é requisitar ao usuário que realize cinco mordidas logo no início da gravação dos dados, para que possam ser utilizadas de controle para análise dos dados seguinte. Também é possível verificar que foram captados alguns outros eventos nesse período amostrado, os quais foram propositalmente gerados pelo paciente até que ele repousasse.

Figura 24 – Vinte minutos de dados provenientes de paciente sem bruxismo.

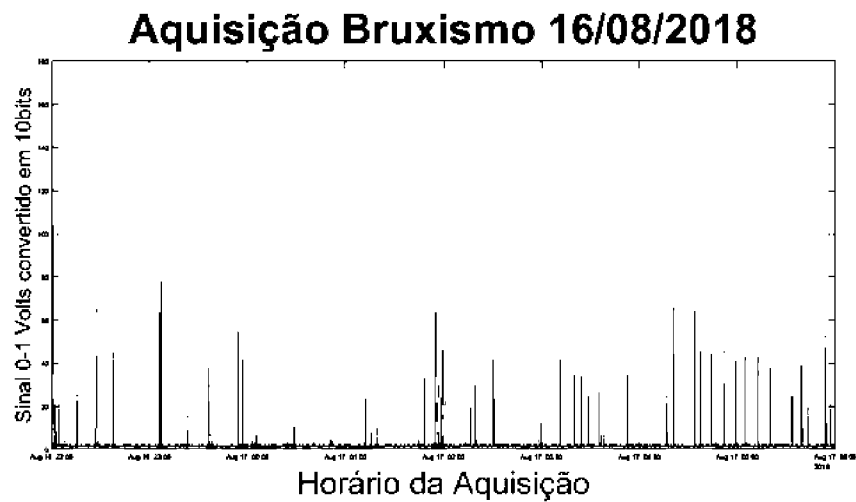


Fonte: O autor (2018)

Na Figura 26, pode-se analisar um gráfico proveniente de um usuário com bruxismo. As mesmas cinco mordidas ao início das aquisições foram requisitadas a esse paciente. Nesse caso, esse procedimento mostrou-se adequado, pois foi possível observar que a intensidade captada nos eventos noturnos seguintes se assemelha às intensidades de controle e os eventos podem ser classificados, então, como mordidas. Também é possível analisar que alguns eventos atingiram amplitudes maiores do que outros, comprovando que o dispositivo é capaz de captar não somente os eventos, como possibilitar sua classificação com base na intensidade da mordida.

Resultados parciais deste trabalho foram apresentados no “Simpósio de Instrumentação e Imagens Médicas e 7º Simpósio de Processamento de Sinais na Universidade Federal do ABC”, em São Bernardo do Campo, onde fora submetido e aceito um Extended

Figura 25 – Dados provenientes de paciente com bruxismo.



Fonte: O autor (2018)

Abstract. O projeto foi selecionado para ser apresentado na modalidade de pôster, que acabou por despertar grande interesse por parte dos avaliadores, principalmente, pelo fato de abordar um tema tão presente na vida população atual e que ainda precisa de mais estudos.

5 Conclusões

Tendo em vista os objetivos propostos para o seguinte projeto, pode-se verificar a eficiência e viabilidade do dispositivo desenvolvido até o momento. Com relação ao possível incômodo que poderia ser gerado ao utilizar o dispositivo durante uma noite de sono, acabou mostrando-se mínimo, levando em consideração a opinião prévia do autor deste projeto após a utilização por cerca de oito noites.

O *hardware* desenvolvido para ser utilizado nesta aplicação também se mostrou eficiente para os objetivos propostos. O ganho almejado pelo sistema, de 1000 vezes, foi conseguindo, o que acabou resultando em uma amplitude final satisfatória. Os componentes utilizados, juntamente com o amplificador operacional utilizado – que possui uma alta impedância em sua entrada –, também tiveram êxito em proporcionar um filtro passa-baixa capaz de rejeitar as frequências acima de 350 Hz e uma atenuação significativa na faixa de 60 Hz.

Ainda do âmbito de processamento do sinal, quando se diz respeito ao processamento digital – a cargo do ESP8266 –, também apresentou-se como uma solução viável para as metas propostas. O conversor analógico-digital que possui é capaz de proporcionar uma frequência de amostragem de aproximadamente 6 KHz, com uma resolução de 10 bit (esta resolução mostrou-se fundamental ao longo do projeto, uma vez que os níveis de amplitude do sinal são muito baixos). Tais valores foram suficientes para o êxito desta etapa, uma vez que a frequência máxima dos músculos trabalhos estão em torno de 500 Hz, respeitando dessa forma a lei de Nyquist.

Mesmo a bateria utilizada proporcionando uma estabilidade ao sistema pelo tempo desejado, percebe-se que a falta de fontes alternativas para fornecer energia ao sistema é uma limitação para os dias atuais. Um ponto observado foi o fato de que, quando o ESP8266 realizava um processo utilizando o Wi-Fi, acabava gerando um alto pico de consumo de corrente, o qual estava exigindo muito da capacidade que a bateria era capaz de fornecer. Com isso, alguns problemas estavam sendo gerados ao utilizar o sistema no modo online. Para isso, a solução encontrada foi a de implementar o *hardware* com um regulador de tensão, o qual auxiliou em manter constante os níveis de fluxo da energia consumida pelo sistema.

Outro fator averiguado está relacionado às funcionalidades propostas em nível de *software* tanto pelo microcontrolador ESP8266 quanto pelo aplicativo desenvolvido para smartphones. Todas as possibilidades que foram levantadas como opções de utilização do sistema obtiveram êxito em sua implementação. Algumas alterações referentes ao escopo inicial foram realizadas: a utilização de uma estrutura UDP (UserDatagramProtocol) para

transmissão dos dados, em vez do protocolo TCP/IP (TransmissionControlProtocol / Internet Protocol). Os próximos tópicos do projeto a serem abordados e desenvolvidos são os seguintes:

- Realizar testes em voluntários para validação dos resultados;
- Aprimorar as rotinas desenvolvidas com base nos feedbacks futuros;
- Aprimorar layout do aplicativo;
- Avaliar a necessidade de implementar um banco de dados dedicado para armazenar as informações obtidas.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Partindo do princípio que o referente trabalho foi capaz de propor um protótipo para de realizar o monitoramento dos eventos do sistema estomatognático de um indivíduo durante uma noite completa de sono, gerando um baixo nível de desconforto e, posteriormente, compartilhar essas informações com os interessados, seria válido um estudo de comparação entre a eficiência do dispositivo desenvolvido com outros que são referência no mercado.

Uma vez comprovada a eficiência científica do dispositivo, e estando legalmente apto a ser utilizado em larga escala em pacientes, diversos estudos na área da saúde, referentes ao bruxismo poderiam ser iniciados com um custo muito reduzido, uma vez que o equipamento poderia ser utilizado pelo paciente em sua residência, diariamente, levantando uma grande variedade de informações.

Uma vez estando em posse de um grande volume de dados de pacientes, seria possível implementar um algoritmo, utilizando aprendizado de máquina, capaz de elucidar aos pesquisadores alguns padrões nas ocorrências do bruxismo, que hoje anda não são possíveis de serem detectados.

Por fim, o autor adverte que tanto o dispositivo físico quando o aplicativo para smartphones foram desenvolvidos para serem utilizados como prova de conceito. Sendo assim, existe margem para que suas apresentações sejam melhoradas, principalmente com relação ao layout das telas do aplicativo.

Outro ponto interessante é que, atualmente, o aplicativo encontra-se disponível somente para celulares que possuem o sistema operacional Android. Sendo assim, um trabalho para que o aplicativo possa ser disponibilizado para iOS e até mesmo em uma aplicação para uso em outros dispositivos via Internet são extremamente válidos.

6 REFERÊNCIAS

A. A. O. S. Medicine, The international classification of Sleep Disorders, Revised: diagnostic and coding manual, 2001.

AITINKER. Esp-12F. , p. 1–20. ALAJBEG, I. Z.; ZUVELA, A.; TARLE, Z. Risk factors for bruxism among Croatian navy employees. *Journal of Oral Rehabilitation*, v. 39, n. 9, p. 668–676, 2012.

Associação Brasileira de Odontologia. Bruxismo Infantil. Disponível em: <https://www.abo.org.br/noticia/bruxismo-infantil>. Data de acesso: 22/07/2019.

ATKINSON, Robert D. 'It's Going to Kill Us!' And Other Myths About the Future of Artificial Intelligence. Information Technology & Innovation Foundation, 2016.

AZAB, A. M.; ONSY, A.; EL-MAHLAWY, M. H. Design and Development of a Low Cost Prosthetic Arm Control System Based on sEMG Signal. Volume 3: Biomedical and Biotechnology Engineering, , n. November 2015, p. V003T03A080, 2015. Disponível em: <http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/proceeding.aspx?doi=10.1115/IME CE2015-51006>>. .

AZEVEDO, M. R. et al. Padrão neuro-comportamental do bruxismo no sono. 2018.

BADER, G.; LAVIGNE, G. Sleep bruxism; an overview of an oromandibular sleep movement disorder. *Sleep Med Rev.*, v. 4, n. 1, p. 27-43, 2000.

Balasubramaniam R., Paesani D., K. Koyano, Tsukiyama Y., Carra MC, Lavigne GJ (2019) Sleep Bruxism. (eds) *Medicina Oral Contemporânea*. Springer, Cham.

BEAM, Andrew L .; KOHANE, Isaac S. Traduzindo inteligência artificial em cuidados clínicos. *Jama* , v. 316, n. 22, p. 2368-2369, 2016.

BIONDI, Gabriela Oliveira; PRATI, Ronaldo Cristiano. Setting parameters for support vector machines using transfer learning. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, v. 80, n. 1, p. 295-311, 2015.

CARRA, M. C; HUYNH, N; LAVIGNE, G. Sleep bruxism: a comprehensive overview for the dental clinician interested in sleep medicine. *Dental Clinics*, v. 56, n. 2, p. 387-413, 2012.

CARVALHO, A. L. A. de et al. Prevalencia de bruxismo em policiais militares e sua associação com o estresse emocional. 2003

CASTROFLORIO, T.; MESIN, L.; TARTAGLIA, G. M.; SFORZA, C.; FARINA, D. Use of electromyographic and electrocardiographic signals to detect sleep bruxism episodes in a natural environment. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, v. 17, n. 6, p. 994–1001, 2013.

COELHO-FERRAZ, M. J. P. ou FERRAZ, M.J.P.C. ; BERZIN, F. ; ALVES, L. M. C. ; CHEIDA, A. P. . Avaliação eletromiográfica da desordem dos músculos mastigatórios em pacientes submetidos à facilitação neuromastigatória manipulativa. *RGO. Revista Gaúcha de Odontologia (Impresso)* , v. 55, p. 17-22, 2007.

COLOMBO, S. J. M et al. Efeito da posição do corpo na atividade elétrica dos músculos masseter e temporal porção anterior em indivíduos normais e portadores de bruxismo. 2002.

COSTA, L. M.; ZEILHOFER, P.; RODRIGUES, W. S. Avaliação do classificador VM (Support Vector Machine) no mapeamento de queimadas no Pantanal Mato-Grossense. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife-PE, p. 27-30, 2010

CRUZ, L. P; TREISMAN, D. Making AI Great Again. 2018

ELECTROMYOGRAPHY, A. Electromyography in Ergonomics. *Symposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT)*, v. 7, n. 2, p. 32–38, 2014.

ENOKA, R. M. *Neuromechanical Basis of Kinesiology*. 1996.

GAVISH, A; HALACHMI, M.; WINICUR, E.; GAZIT, E. Oral habits and their association with signs and symptoms of temporomandibular disorders in adolescent girls. *J Oral Rehabil.*, v.27, n.1, p.22-32, 2000

GOMES, D. S. Inteligência artificial: conceitos e aplicações. *Olhar Científico*, v. 1, n. 2, p. 234-246, 2011.

HAMET, Pavel; TREMBLAY, Johanne. Artificial intelligence in medicine. *Metabolism*, v. 69, p. S36-S40, 2017

HUBLIN, C., KAPRIO, J., PARTINEN, M., & KOSKENVUO, M. Insufficient sleep: a population-Based study in adults. *Sleep: Journal of Sleep and Sleep Disorders Research*, 24, 2001.

KONRAD, P. The abc of emg. A practical introduction to kinesiological . . . , n. April, p. 1–60, 2005. Disponível em: <<http://demotu.org/aulas/controle/ABCofEMG.pdf>>.

KUMAR, Koushal; THAKUR, Gour Sundar Mitra. Advanced applications of neural networks and artificial intelligence: A review. *IJ Information Technology and Computer Science*, v. 6, p. 57-68, 2012

LAVIGNE, G. J. et al. Bruxism physiology and pathology: an overview for clinicians. *J Oral Rehabil*, v. 35, n. 7, p. 476-94, Jul 2008. ISSN 0305-182x. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2842.2008.01881.x/abstract>>

LAVIGNE, GJ, ROMPRÉ, PH, MONTPLAISIR, JY. Sleep bruxism: validity of clinical research diagnostic criteria in a controlled polysomnographic study. *J Dent Res* 1996;75(1):546-52.

MANFREDINI D, VISSCHER CM, GUARDA-NARDINI L, Lobbezoo F. Occlusal factors are not related to self-reported bruxism. *J Orofac Pain*. 2013 Summer;26(3):163-7.

MERLETTI, R.; BOTTER, A.; TROIANO, A.; MERLO, E.; MINETTO, M. A. Technology and instrumentation for detection and conditioning of the surface electromyographic signal: State of the art. *Clinical Biomechanics*, v. 24, n. 2, p. 122-134, 2009. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2008.08.006>>.

MORAIS, D. C. et al. Bruxismo e sua relação com o Sistema Nervoso Central, /b>: Revisão de Literatura. *Revista Brasileira de Odontologia*, v. 72, n. 1/2, p. 62, 2016.

MCCULLOCH, Warren S.; PITTS, Walter. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, v. 5, n. 4, p. 115-133, 1943.

MURALI, R.; RANGARAJAN, P.; MOUNISSAMY, A. Bruxism: Conceptual discussion and review. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, v. 7, n. 5, p. 267, 2015. Disponível em: <<http://www.jpbonline.org/text.asp?2015/7/5/267/155948>>. .

OHAYON, M. M.; LI, K. K.; GUILLEMINAULT, C. Risk factors for sleep bruxism in the general population. *Chest*, v. 119, n. 1, p. 53-61, 2001. The American College of Chest Physicians. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1378/chest.119.1.53>>.

PALINKAS, Marcelo et al. Comparative capabilities of clinical assessment, diagnostic criteria, and polysomnography in detecting sleep bruxism. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, v. 11, n. 11, p. 1319-1325, 2015.

PESTANA, S. C. N. Bruxismo: da Etiologia ao Diagnóstico. Universidade de Lisboa. Dissertação de mestrado, 2014.

PIEKARTZ, H. VON. Management of parafunctional activities and bruxism. 1o ed. Elsevier Ltd, 2009.

PORTNEY, L Eletromiografia e testes de velocidade de condução nervosa. In: SULUVAN, O.S.; SCHMITZ, J.T. Fisioterapia -avaliação e tratamento. São Paulo: Manole, 1993. cap.1 O, p.183-223.

ROMPRE, P. H.; DAIGLE-LANDRY, D.; GUITARD, F.; MONTPLAISIR, J. Y.; LAVIGNE, G. J. Identification of a Sleep Bruxism Subgroup with a Higher Risk of Pain. *Journal of Dental Research*, v. 86, n. 9, p. 837–842, 2007. Disponível em: <<http://jdr.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/154405910708600906>>. .

SATEIA, M. J. American Academy of Sleep Medicine. Sleep-related movement disorders. (ed). *International Classification of Sleep Disorders: Diagnostic and Coding Manual*, ed 2. Westchester, IL: American Academy of Sleep Medicine., p. 189–191, 2005.

SMARDZ, J. et al. Sleep bruxism and occurrence of temporomandibular disorders-related pain: a polysomnographic study. *Frontiers in neurology*, v. 10, 2019.

SODERBERG, G.L.; COOK, T.M. Electromyography in biomechanics. *Phys Ther*, Alexandria, v.64, n.12, p.1813-1820, 1984.

SOUSA, Beatriz Fernandes Simplicio et al. Avaliação de classificadores baseados em aprendizado de máquina para a classificação do uso e cobertura da terra no bioma caatinga. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 62, 2010.

TECUCI, Gheorghe; *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, March 2012, Vol.4(2), pp.168-180.

TOPOL, Eric J. Medicina de alta performance: a convergência da inteligência humana e artificial. *Medicina natural* , v. 25, n. 1, p. 44, 2019.

APÊNDICE A – Manual de Utilização

O seguinte documento foi redigido com o intuito de auxiliar o usuário na utilização de todas as funções disponíveis pelo dispositivo desenvolvido. Para sua implementação, as imagens utilizadas do dispositivo referem-se à segunda versão desenvolvida. Com relação ao aplicativo, algumas telas ainda estão em processo de implementação. Com isso, as imagens serão atualizadas conforme os ícones finais sejam implementados.

A.1 Dispositivo Versão 2.0

O dispositivo responsável pela aquisição, processamento e envio dos sinais eletromiográficos para o celular é encapsulado como visto na imagem abaixo (Figura 28). Utilizando um antigo controle de acesso (de portões acionados eletricamente), foi possível armazenar os componentes de maneira compacta para maior conforto durante o uso.

Figura 26 – Vista superior do dispositivo de aquisição de sinais.

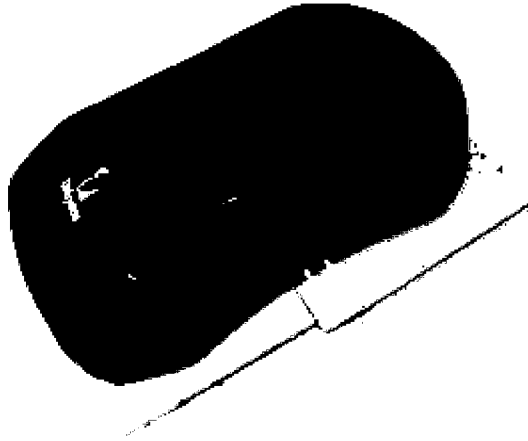


Fonte: O autor (2018).

A parte superior não apresenta nenhum botão funcional. O relevo apresentado na superfície corresponde somente à parte do acabamento da peça. Na parte lateral direita (Figura 27), encontram-se dois terminais (pinos do tipo macho) que servirão para a conexão dos eletrodos auxiliares EL1 e EL2. Não é requerido um lado específico para cada um deles,

visto que o sinal interpretado pelo sistema é o módulo da diferença dos sinais avaliados em EL1 e em EL2 em relação ao sinal adquirido no eletrodo de referência ELREF.

Figura 27 – Vista lateral direita do dispositivo de aquisição de sinais..



Fonte: O autor (2018).

O lado esquerdo do dispositivo (Figura 28) apresenta uma chave com três posições, cujas funções são:

Posição 1: Posição na qual o dispositivo deve estar ajustado para a coleta de dados. Neste modo, o WiFi pode ser desligado com o objetivo de economizar o uso da bateria, e possibilita entrar no modo de aquisição, onde o sinal continua sendo monitorado;

Posição 2: Todos os módulos estão ligados nesse modo e usa-se essa posição para descarregar em outro dispositivo (computador) os dados adquiridos ao longo do processo de leitura;

Posição 3: Corresponde ao estado desligado, no qual o circuito de aquisições não está alimentado pela bateria.

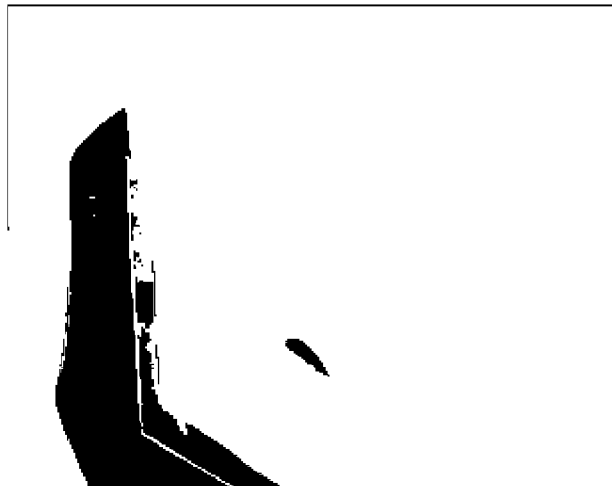
Figura 28 – Vista lateral esquerda do dispositivo de aquisição de sinais.



Fonte: O autor (2018).

Há ainda a presença de terminais fêmea da cor branca, sinalizados pelos símbolos (+) e (-) que servem para a carga da bateria interna via carregador.

Figura 29 – Vista lateral inferior do dispositivo de aquisição de sinais.



Fonte: O autor (2018).

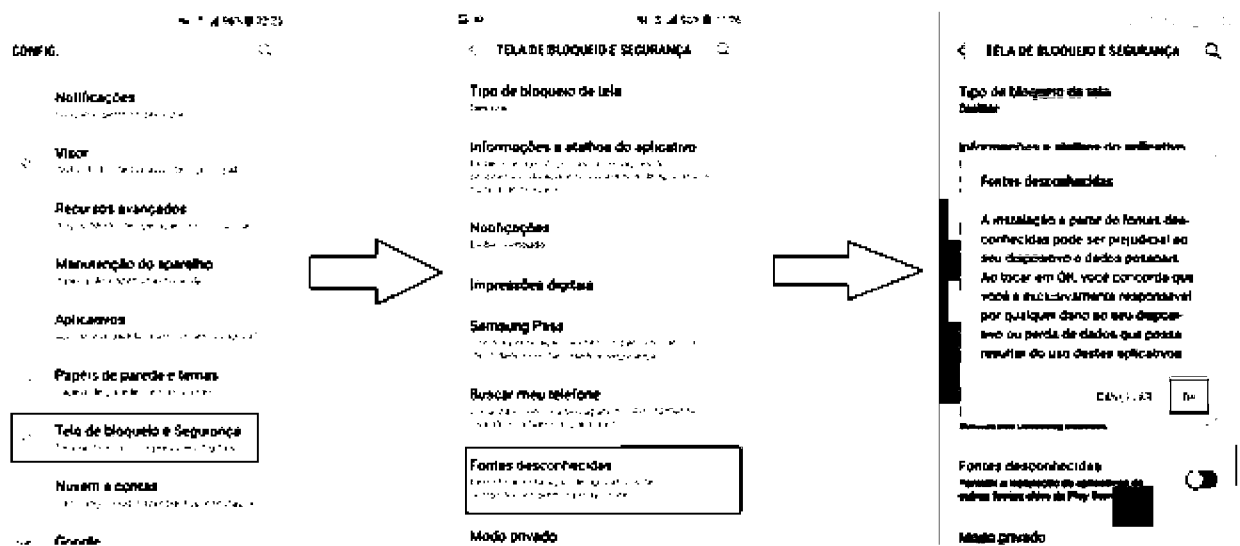
A Figura 29 ilustra a parte inferior do dispositivo, onde os eletrodos de referência são anexados (junto ao encapsulamento).

A.2 Interface para sistema Android

Para iniciar a utilização do aplicativo, é necessário realizar o *download* por meio do link <<http://linkdownlaod.com.br>>. Devido ao fato de ainda não estar disponível na Google Store, é necessário permitir a instalação de aplicativos particulares no dispositivo. Para isso, antes de clicar no aplicativo baixado, é necessário ir até as CONFIGURAÇÕES (Engrenagem) -> TELA DE BLOQUEIO E SEGURANÇA -> FONTES DESCONHECIDAS. Basta clicar em Fontes Desconhecidas e em seguida clicar em OK.

Para encontrar essa funcionalidade, também é possível, após entrar nas CONFIGURAÇÕES, clicar na lupa no canto superior direito e pesquisar por “Fontes Desconhecidas”. Após clicar em OK para liberar a instalação, basta clicar no aplicativo que foi baixado e prosseguir com a instalação.

Figura 30 – Liberação para instalação de aplicativos externos.

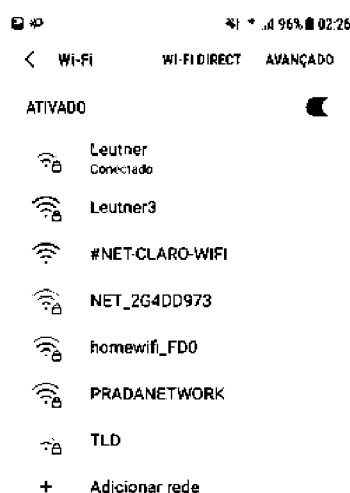


Fonte: O autor (2018).

Antes de iniciar a utilização do aplicativo, o qual possui o nome de Bruxismo, é necessário ligar o dispositivo, posicionando a chave de seleção na posição 1. Após esse processo, é necessário navegar até a tela na qual são exibidas as redes de WiFi disponíveis e se conectar com a rede chamada “ESP Brux V2”. Deve-se perceber que enquanto esta conexão estiver estabelecida, não será possível utilizar a Internet e acessar qualquer tipo de site.

Devido a isso, após clicar para conectar-se à rede, a conexão apresentará a mensagem “Conexão com a Internet indisponível”, mas está tudo correto. Vale também ressaltar que não é necessário qualquer tipo de senha para conectar-se ao dispositivo.

Figura 31 – Redes WIFI ao alcance.



Fonte: O autor (2018).

Após esses primeiros passos serem executados, é possível abrir o aplicativo e começar sua utilização. Como dito anteriormente, é fundamental que a rede WiFi do smartphone esteja conectada ao dispositivo em “ESP Brux V2” para o pleno funcionamento das opções. Porém, algumas opções ainda podem ser utilizadas caso essa conexão não esteja estabelecida. A seguir, serão descritas detalhadamente as opções disponíveis, sendo também indicado quando se faz necessário essa conexão.

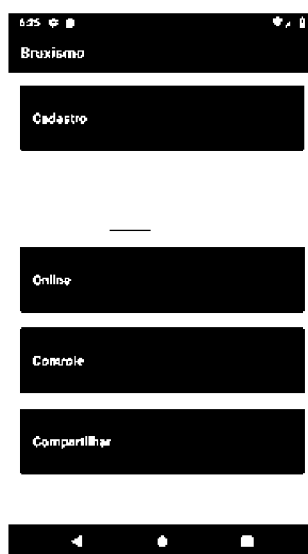
- Cadastro
- Gráfico
- Online
- Controle
- Compartilhar

A.2.1 Cadastro

Ao selecionar a tela de cadastro, será possível entrar com algumas informações relacionadas ao usuário da aplicação. Essas informações serão salvas em um arquivo que estará alocado dentro do próprio dispositivo e possuem o intuito de coletar algumas informações prévias sobre o paciente, as quais podem ser observadas na Figura 32.

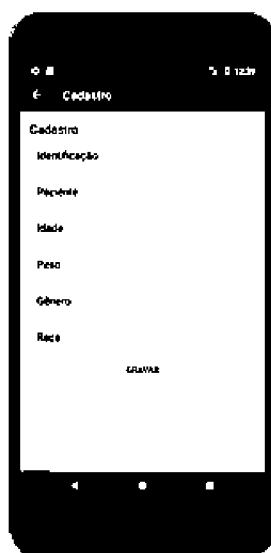
Após entrar com os dados corretamente no campo, basta clicar em Gravar que as informações serão armazenadas. Caso deseje-se alterar qualquer informação, basta

Figura 32 – Interface principal de utilização.



Fonte: O autor (2018).

Figura 33 – Interface de cadastro do usuário.



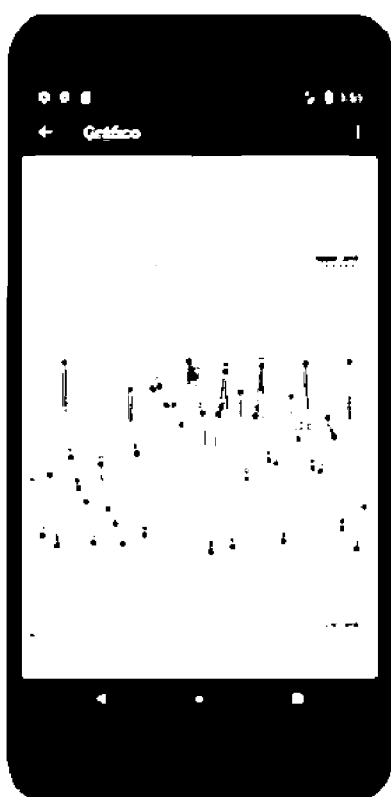
Fonte: O autor (2018).

preencher o campo com a nova informação que a mesma será atualizada automaticamente. Esta funcionalidade PODE ser utilizada caso o WiFi não esteja conectado à rede “ESP Brux V2”.

A.2.2 Interface de visualização de gráficos

Ao selecionar a opção gráfico, o usuário será direcionado a uma tela com um gráfico, que mostrará os dados que foram obtidos durante a última aquisição e que ainda estão armazenados no dispositivo. Com esta funcionalidade, é possível interagir com o gráfico, realizando uma ampliação e redução (Zoom) e alterar algumas propriedades dos dados ao clicar nos três pontos que se encontram no canto superior direito da tela. Esta funcionalidade NÃO PODE ser utilizada caso o WiFi não esteja conectado à rede “ESP Brux V2”.

Figura 34 – Interface online.



Fonte: O autor (2018).

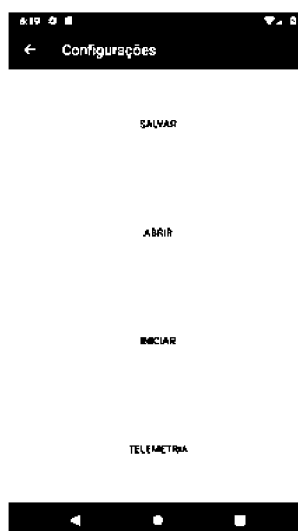
A.2.3 Interface online

Ao selecionar a opção online, será exibido ao usuário um gráfico, dispondo os dados que estão sendo coletados em tempo real pelo dispositivo. Para uma utilização adequada desta funcionalidade, é aconselhável que os eletrodos estejam conectados ao paciente, conforme abordado anteriormente. Assim é possível monitorar a qualidade do sinal proveniente da mordida e posicionar os eletrodos caso seja necessário. Esta funcionalidade NÃO PODE ser utilizada caso o WiFi não esteja conectado à rede “ESP Brux V2”.

A.2.4 Interface controle

Após selecionar esta opção, o usuário será direcionado a uma nova tela contendo quatro novas opções, que são:

Figura 35 – Interface de configurações.



Fonte: O autor (2018).

A.2.5 Salvar os dados

Ao selecionar a opção SALVAR, será possível transferir e salvar no smartphone os dados adquiridos durante uma noite de sono e que ainda se encontram armazenados no dispositivo. Após clicar no botão, será exibido um quadro perguntando qual o nome que se deseja atribuir ao arquivo que está prestes a ser criado. Caso o nome fornecido seja idêntico a algum já existente, o arquivo não será salvo. Os arquivos salvos possuem o formato de “.txt” (Arquivo de texto) e serão armazenados dentro do próprio celular em ARMAZENAMENTO INTERNO -> AQUISICOES.

A.2.6 Abrir

Nesta opção, o usuário poderá selecionar um arquivo entre os que já foram salvos para visualizá-lo. Após seleção, os dados serão exibidos da mesma maneira que ao selecionar a opção GRÁFICO, presente na tela principal.

A.2.7 Iniciar

Ao clicar no botão iniciar, o usuário será guiado através de alguns passos preliminares para que possa ser iniciada a aquisição dos dados durante a noite de sono. A primeira tela

exibida informa ao usuário que ele está prestes a iniciar a aquisição e deve clicar no botão INICIAR para começar a configuração da aquisição durante a noite de sono. Em seguida, será exibida uma tela semelhante à tela de telemetria, a qual conterá algumas informações sobre o atual estado do sistema: “Nome SSID” (Nome da rede WIFI), “Tensão Bateria”, “Nome Arquivo”, “Tamanho Arquivo”. Essas informações chave são exibidas e todas devem estar de acordo com o padrão indicado a seguir para que seja possível iniciar a aquisição:

- Nome SSID deve estar como “ESP Brux V2”, caso contrário, deve-se ir até as opções de redes WiFi e selecioná-la.
- Tensão Bateria deve estar em um nível superior a “4V”. Caso contrário, é necessário recarregar o dispositivo.
- Nome Arquivo deverá estar como “log.txt”, que corresponde ao nome padrão do arquivo que será armazenado internamente no dispositivo. Não é necessário realizar qualquer ação com respeito a esse item.
- Tamanho Arquivo deve estar exibindo “0”. Caso o valor seja diferente de “0”, será sobrescrito, não sendo necessário realizar nenhuma ação com relação a esse tópico.

Caso todos os requisitos estejam satisfeitos, o usuário será conduzido a uma tela que requisitará ao mesmo que posicione os eletrodos de maneira correta. Após a fixação, deve-se clicar no botão de avançar, sendo em seguida solicitado ao paciente que realize algumas mordidas em sequência para averiguar se os eletrodos estão corretamente conectados e posicionados. Uma tela semelhante a opção ONLINE será exibida para acompanhar os testes.

A.2.8 Telemetria

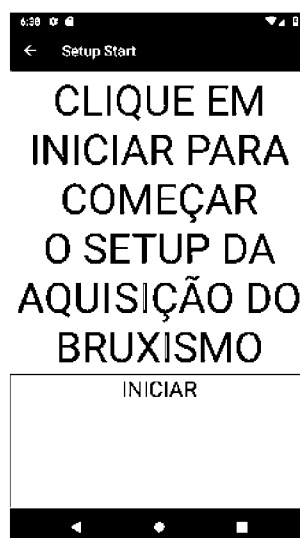
Ao selecionar a seguinte opção, o usuário será capaz de visualizar algumas informações a respeito do atual estado do dispositivo, entre elas: Nome SSID: Nome da rede de WiFi a qual o smartphone está atualmente conectado.

Tensão Bateria: Exibe o atual nível da bateria em Volts.

Nome Arquivo: Exibe o nome de log.txt que corresponde ao nome padrão para armazenar os dados dentro do dispositivo.

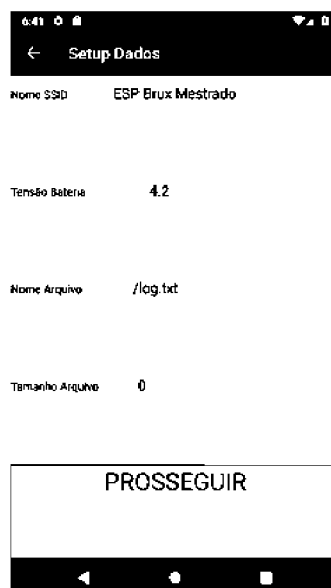
Tamanho Arquivo: Exibe o atual tamanho do arquivo armazenado no interior do dispositivo em bytes.

Figura 36 – Interface inicial de aquisição



Fonte: O autor (2018).

Figura 37 – Dados iniciais da aquisição



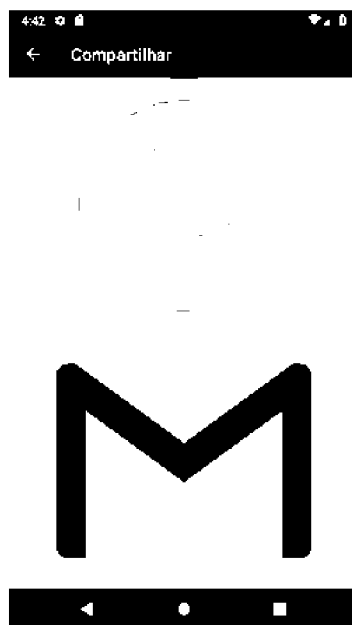
Fonte: O autor (2018).

A.2.9 Telemetria

Ao selecionar esta opção, o usuário poderá compartilhar os dados de aquisição que já foram salvos em seu smartphone. As opções disponíveis para envio do arquivo são via WhatsApp e via E-mail. Após selecionar a opção desejada, será requerido selecionar qual documento o usuário deseja compartilhar e, em seguida, será direcionado ao aplicativo do

WhatsApp para selecionar o contato com quem deseja compartilhar ou ao aplicativo do e-mail para fornecer o endereço de envio.

Figura 38 – Interface de compartilhamento de dados.



Fonte: O autor (2018).