

**UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS**  
**CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – BACHARELADO**

**APLICATIVO PARA DETECÇÃO DE SINTOMAS DA**  
**SÍNDROME DA APNEIA OBSTRUTIVA DO SONO**

**MARCIO MICHELLUZZI**

**BLUMENAU**  
**2014**

**2014/2-14**

**MARCIO MICHELLUZZI**

**APLICATIVO PARA DETECÇÃO DE SINTOMAS DA  
SÍNDROME DA APNEIA OBSTRUTIVA DO SONO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Ciência da Computação do Centro de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Regional de Blumenau como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Prof. Mauro Marcelo Mattos , Doutor - Orientador

**BLUMENAU  
2014**

**2014/2-14**

# **APLICATIVO PARA DETECÇÃO DE SINTOMAS DA SÍNDROME DA APNEIA OBSTRUTIVA DO SONO**

Por

**MARCIO MICHELLUZZI**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado para obtenção dos créditos na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II pela banca examinadora formada por:

Presidente: \_\_\_\_\_  
Prof. Mauro Marcelo Mattos, Doutor – Orientador, FURB

Membro: \_\_\_\_\_  
Prof. Aurélio Faustino Hoppe, Mestre – FURB

Membro: \_\_\_\_\_  
Prof. Roberto Heinzle, Doutor – FURB

Blumenau, 9 de dezembro de 2014

Este trabalho é dedicado à minha família,  
amigos e todos aqueles que sempre me  
apoiaram durante esta caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, por toda a motivação e incentivo ao longo de toda a minha vida. Agradeço em especial ao meu pai Arnaldo Michelluzzi e minha mãe Leosete Michelluzzi pelo auxílio na realização deste trabalho e por todo o incentivo durante toda minha jornada acadêmica.

Ao meu orientador, Mauro Marcelo Mattos, por ter acreditado na viabilidade e conclusão deste trabalho e na minha capacidade de fazê-lo, prestando todo o auxílio que necessitei durante todo o desenvolvimento deste projeto.

Ao médico Eduardo Lopes Menezes e a fisioterapeuta Vanderlina França pelo apoio na fase de conclusão deste trabalho. Pela ajuda na coleta de dados e na comparação dos resultados com a polissonografia.

A banca examinadora, pelas valiosas contribuições para enriquecimento deste trabalho, em especial ao professor Aurélio Faustino Hoppe, pelas inúmeras dicas que foram de grande valia durante todo o processo de criação deste trabalho.

A equipe do laboratório de desenvolvimento e transferência de tecnologia (LDTT), por estarem presentes nesses últimos três anos da minha vida, proporcionando-me os momentos mais singulares, tornando-a assim mais divertida.

Guardar raiva é como segurar um carvão em brasa com a intenção de atirá-lo em alguém; quem se queima é você.

Siddhartha Gautama

## RESUMO

Este trabalho descreve uma aplicação para a identificação de apneia obstrutiva do sono usando um dispositivo Android. A aplicação é baseada em uma arquitetura cliente/servidor onde o dispositivo móvel atua como unidade de aquisição e o servidor processa os sinais coletados utilizando técnicas como a Transformada Rápida de Fourier e Algoritmos de localização de pico, além de disponibilizar uma interface para a visualização. Os primeiros resultados mostraram que esta é uma solução viável, no entanto melhorias são necessárias para uma sincronia mais eficiente da aplicação com o equipamento polissonográfico profissional.

Palavras-chave: Síndrome da apneia obstrutiva do sono. Polissonografia. *Health care*.

## **ABSTRACT**

This work describes an application for identification of obstructive sleep apnea symptoms using an android device. The application is based on a client/server architecture where a mobile device acts as an acquisition unit and the server processes the signals using techniques such as Fast Fourier Transform and peak location algorithms, as well as provide a visualization interface. The first results showed that this is a viable solution, however, further improvements are needed in order to fine tune the application with professional polysomnography equipments.

**Key-words:** Obstructive sleep apnea syndrome. Polysomnography. Health Care.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Obstrução das vias aéreas superiores.....	16
Figura 2 - Montagem polissonográfica.....	17
Figura 3 - Representação de sinais discretos e contínuos.....	20
Figura 4 - Funcionamento do algoritmo.....	21
Figura 5 - Sensor e <i>smartphone</i> utilizados na captação dos dados.....	22
Figura 6 - Aquisição dos sinais relacionados ao ronco do usuário.....	24
Figura 7 - Interface de exibição dos resultados da análise.....	25
Figura 8 - Diagrama de classes do aplicativo cliente.....	28
Figura 9 - Diagrama de classes do aplicativo cliente.....	29
Figura 10 - Diagrama de casos de uso da aplicação servidora.....	31
Figura 11 - Diagrama de pacotes da aplicação servidora.....	33
Figura 12 - Diagrama de classes do módulo de teste da aplicação servidora.....	34
Figura 13 - Diagrama de classes do módulo de teste da aplicação servidora.....	35
Figura 14 - Etapas do processo de identificação de sintomas da SAOS.....	38
Figura 15 - Fase de <i>resample</i> e seleção de <i>samples</i> .....	39
Figura 16 - Resultado final da primeira etapa de identificação.....	41
Figura 17 - Classificação da gravidade da IAH.....	43
Figura 18 - Tela de registro da hora de início da coleta dos dados do sono.....	44
Figura 19 - Tela de finalização da captura de dados do sono.....	44
Figura 20 - Menu com a opção de envio dos dados.....	45
Figura 21 - Tela inicial da aplicação servidora.....	45
Figura 22 - Tela de seleção de registro da base.....	46
Figura 23 - Leitura dos arquivos do registro selecionado.....	46
Figura 24 - Aplicação dos algoritmos para seleção de áreas de interesse.....	47
Figura 25 - Espectro do sinal de uma das gravações da primeira coleta realizada.....	48
Figura 26 - Utilização do microfone do <i>smartphone</i> para a captura dos dados do sono.....	49
Figura 27 - Espectro do sinal de uma das gravações.....	49
Figura 28 - Resultado da seleção das áreas de interesse.....	50
Figura 29 - Resultado da seleção das áreas de interesse.....	50
Figura 30 - Evento de apneia fragmentado.....	51
Figura 31 - Evento de apneia detectado pela polissonografia.....	53

Figura 32 - Evento de apneia detectado por este trabalho .....	53
Figura 33 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 06 .....	59
Figura 34 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 06 .....	60
Figura 35 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 06 .....	61
Figura 36 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 06 .....	62
Figura 37 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 06 .....	63
Figura 38 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 06 .....	64
Figura 39 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 07 .....	65
Figura 40 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 07 .....	66
Figura 41 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 07 .....	67
Figura 42 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 07 .....	68
Figura 43 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 07 .....	69
Figura 44 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 07 .....	70

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparativo entre as características dos trabalhos correlatos .....	26
Quadro 2 - Caso de uso UC 01 do aplicativo cliente .....	28
Quadro 3 - Caso de uso UC 02 do aplicativo cliente .....	29
Quadro 4 - Caso de uso UC 01 da aplicação servidora .....	31
Quadro 5 - Caso de uso UC 02 da aplicação servidora .....	32
Quadro 6 - Caso de uso UC 03 da aplicação servidora .....	32
Quadro 7 - Caso de uso UC 04 da aplicação servidora .....	33
Quadro 8 - Captura dos sinais e geração dos arquivos temporários .....	37
Quadro 9 - Conversão dos arquivos temporários .....	38
Quadro 10 - <i>Resample</i> e seleção de <i>samples</i> .....	39
Quadro 11 - Agrupar eventos e identificar incidentes .....	40
Quadro 12 - Classificação dos eventos de silêncio.....	41
Quadro 13 - Classificação dos eventos de ronco.....	42
Quadro 14 - Verificação do IAH .....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Amostras da base de dados criada.....	48
Tabela 2 - Limiares utilizados .....	49
Tabela 3 - Resultado da análise realizada.....	50
Tabela 4 - Resultado comparativo .....	51
Tabela 5 - Limiares utilizados para a amostra 06 .....	51
Tabela 6 - Limiares utilizados para a amostra 07 .....	52
Tabela 7 - Resultado comparativo com ajuste nos limiares .....	52

## **LISTA DE SIGLAS**

*AAMS - American Academy of Sleep Medicine*

*API – Application Programming Interface*

*FFT – Fast Fourier Transform*

*HTTP – Hyper Text Transfer Protocol*

*HZ - Hertz*

*IAH – Índice de Apneia e Hipoapneia*

*IDE – Integrated Development Enviroment*

*IMC – Índice de Massa Corpórea*

*RF – Requisito Funcional*

*RNF – Requisito Não Funcional*

*SAOS – Síndrome da Apneia Obstrutiva do Sono*

*TTS – Tempo Total do sono*

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO .....	14
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>16</b>
2.1 SÍNDROME DA APNEIA OBSTRUTIVA DO SONO.....	16
2.2 DIÁGNOSTICO.....	17
2.2.1 Polissonografia.....	17
2.3 PROCESSAMENTO DE SINAIS .....	19
2.3.1 Representação de sinais.....	19
2.3.2 Transformadas.....	20
2.3.3 Algoritmos de localização de picos .....	21
2.4 TRABALHOS CORRELATOS .....	22
2.4.1 <i>Healgear: automatic sleep apnea detection and monitoring with a mobile phone</i> .....	22
2.4.2 <i>Snoring Analysis for the Screening of Sleep Apnea Hypopnea Syndrome with a Single-Channel Device Developed using Polysomnographic and Snoring Databases.....</i>	23
2.4.3 <i>Sleep apnea monitoring using mobile phones.....</i>	24
2.4.4 Comparativo entre os trabalhos correlatos.....	25
<b>3 DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>27</b>
3.1 REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO.....	27
3.2 ESPECIFICAÇÃO .....	27
3.2.1 Cliente .....	27
3.2.1.1 Casos de uso .....	28
3.2.1.2 Diagrama de classes.....	29
3.2.2 Servidor.....	31
3.2.2.1 Casos de uso .....	31
3.2.2.2 Diagrama de pacotes.....	33
3.2.2.3 Diagrama de classes.....	34
3.3 IMPLEMENTAÇÃO .....	36
3.3.1 Técnicas e ferramentas utilizadas.....	36
3.3.1.1 Cliente.....	37
3.3.1.2 Servidor.....	38

3.3.1.2.1 Seleção das áreas de interesse .....	38
3.3.1.2.2 Categorização .....	41
3.3.1.2.3 Seleção de amostras válidas .....	42
3.3.1.2.4 Análise .....	42
3.3.2 Operacionalidade da implementação .....	43
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	47
<b>4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>54</b>
4.1 EXTENSÕES .....	54
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO A – Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 06 .....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO B – Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 07 .....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente as pessoas têm sofrido com distúrbios do sono que influenciam diretamente sua qualidade de vida. Isso resulta em uma baixa na qualidade das condições de saúde, educação, bem-estar físico, psicológico, emocional e mental, expectativa de vida, dentre outros (LOPES et al., 2008, p. 908). É através do sono que o corpo renova seu sistema imunológico, por isso, o desempenho físico e mental está diretamente ligado a uma boa noite de sono. Segundo Bomfim (2010), o efeito de uma madrugada em claro é semelhante ao de uma embriaguez leve: a coordenação motora é prejudicada e a capacidade de raciocínio fica comprometida.

A World Health Organization (2008, p. 32) estima que a Síndrome da Apneia Obstrutiva do Sono (SAOS) atinja entre 1 e mais de 6% da população mundial adulta. Para Tufik (2010, p. 441) um estudo realizado apontou que 32,8% da população da cidade de São Paulo é portadora da SAOS. Isso gera a necessidade de uma forma de diagnosticar tal síndrome. A polissonografia é um dos tipos de exames realizados para investigar os distúrbios do sono. Segundo o Instituto do Sono (2013), neste exame é possível avaliar o padrão do sono por meio de sensores posicionados pela superfície do corpo.

Embora a polissonografia seja o método mais eficaz de diagnóstico de distúrbios do sono (TOGEIRO; SMITH, 2005, p. 9), este exame é caro e exige uma dose de recursos dedicados. Como resultado disso, técnicas mais simples e baratas estão sendo desenvolvidas para diagnosticar a SAOS como, por exemplo, realizar apenas partes da polissonografia ou realizar estudos do sono no domicílio do paciente (ALQASSIM et al., 2012, p. 443). Estes métodos são menos precisos, pois levam em consideração um número menor de métricas de avaliação, porém, podem ser usados como ponto de partida ou de alternativa à polissonografia.

Tendo em vista o contexto apresentado, propõe-se a criação de um aplicativo móvel sobre a plataforma Android para a detecção de sintomas da SAOS, que sugira ao usuário procurar auxílio médico especializado quando o resultado da análise realizada assim indicar.

### 1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é disponibilizar um aplicativo para identificação de sintomas da SAOS a partir de sinais capturados durante o sono do usuário.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) disponibilizar um aplicativo *mobile* sobre a plataforma Android para a coleta dos sinais referentes ao ronco do usuário (microfone);

- b) disponibilizar uma aplicação servidora para realizar a análise dos dados coletados utilizando métricas baseadas na polissonografia;
- c) disponibilizar uma interface com o resultado do processamento dos dados coletados, indicando ao usuário se o mesmo deve procurar auxílio médico especializado.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho proposto está dividido em quatro capítulos, sendo o primeiro a apresentação da justificativa para seu desenvolvimento e seus objetivos.

No segundo capítulo há a fundamentação teórica, onde são explanados os conceitos gerais sobre a SAOS, processamento de sinais e técnicas utilizadas.

O terceiro capítulo aborda do desenvolvimento do aplicativo cliente, que realiza a captura dos sinais e da aplicação servidora responsável por realizar a identificação de sintomas de SAOS. Tal capítulo contempla os requisitos e a especificação com o uso dos diagramas de classe, casos de uso e de pacotes. Também é descrita a implementação, apresentando técnicas e ferramentas utilizadas, operacionalidade e por fim, apresentam-se os resultados obtidos.

As conclusões deste projeto e sugestões para trabalhos futuros são apresentadas no quarto capítulo.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

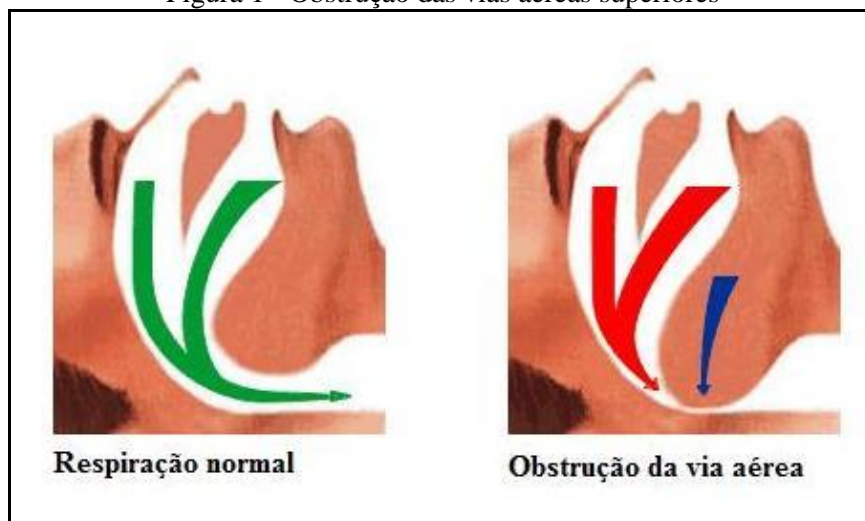
Na seção 2.1 são apresentadas informações referentes à SAOS, que são a base para o entendimento da seção 2.2. A seção 2.2 expõe os conceitos relacionados ao diagnóstico da síndrome. Na seção 2.3 são apresentados os conceitos relacionados a processamento de sinais, e as técnicas utilizadas, como a transformada rápida de Fourier e algoritmos de localização de picos. Por fim são apresentados os trabalhos correlatos na seção 2.4.

### 2.1 SÍNDROME DA APNEIA OBSTRUTIVA DO SONO

A SAOS é um distúrbio do trato respiratório superior que atinge pessoas de todas as idades, independente do gênero. A ocorrência prevalece entre pessoas de meia idade (40 á 60 anos) e pessoas com alto índice de massa corpórea (IMC). Em pessoas fora dessas características, há uma maior incidência em homens do que em mulheres, porém, há um aumento dos casos de SAOS em mulheres após a menopausa (AMERICAN ACADEMY OF SLEEP MEDICINE, 2005, p.55).

A *American Academy of Sleep Medicine* (AASM) define a SAOS como caracterizada por episódios recorrentes da obstrução das vias aéreas superiores durante o sono. Manifestam-se como uma redução (hipopnéia) ou cessação completa (apneia) do fluxo aéreo, apesar da manutenção dos esforços inspiratórios (AMERICAN ACADEMY OF SLEEP MEDICINE, 2005, p.52). Tais episódios ocorrem a partir de um estreitamento das vias aéreas que se estende desde a nasofaringe até a porção inferior da hipofaringe (MITSUYA et al. 2009 p. 6), conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Obstrução das vias aéreas superiores



Fonte: Tamesawa (2012).

Este fenômeno provoca oscilações exageradas do esforço respiratório, ocasionando consequências que incluem: sonolência diurna excessiva, ronco alto e perturbador, pausas

respiratórias durante o sono, fragmentação do sono, déficits neurocognitivos, alterações comportamentais, Hipertensão Arterial Sistêmica (HAS), Hipertensão Pulmonar (HP) e problemas sexuais (TOGEIRO; MARTINS; TUFIK, 2005, p. 196). Tais consequências são consideradas características padrões da síndrome (AMERICAN ACADEMY OF SLEEP MEDICINE, 2005, p.52) e servem como ponto de partida para o diagnóstico da mesma.

## 2.2 DIÁGNOSTICO

Para facilitar o processo de diagnóstico da SAOS, a AASM define a partir das características padrões da síndrome, um conjunto de critérios que auxiliam neste processo. Os critérios mais comuns são: histórico de ronco alto com hipersonolência diurna, episódios frequentes de obstrução respiratória durante o sono, cefaleia matinal, boca seca ao acordar (AMERICAN ACADEMY OF SLEEP MEDICINE, 2005, p.57). Porém, tais critérios não garantem precisão no diagnóstico, havendo a necessidade da realização da polissonografia, exame considerado método de diagnóstico “padrão-ouro” (TOGEIRO; SMITH, 2005, p. 9), para confirmação do diagnóstico da síndrome. Além destes critérios, questionários podem ser utilizados com o intuito de se auxiliar o diagnóstico (TOGEIRO; SMITH, 2005, p. 9).

### 2.2.1 Polissonografia

Conforme Instituto do Sono (2013), a polissonografia é o exame realizado para investigar os distúrbios do sono. Neste exame, é possível avaliar o padrão do sono por meio de sensores posicionados pela superfície do corpo, ou seja, não é um exame invasivo. A Figura 2 demonstra a realização de uma polissonografia.

Figura 2 - Montagem polissonográfica



Fonte: Togeiro e Smith (2005, p. 10).

O exame consiste no registro simultâneo de várias variáveis. Segundo Togeiro e Smith (2005, p. 9) os principais dados apresentados na polissonografia são:

- a) Tempo Total de Sono (TTS), tempo de vigília e Tempo Total de Registro (TTR);
- b) eficiência do sono;
- c) latência para o início do sono, para o sono *Rapid Eye Movement* (REM) e para os demais estágios do sono;
- d) durações (minutos) e as proporções dos estágios do sono do TTS;
- e) número total e o Índice das Apneias e Hipopnéias (IAH) por hora de sono;
- f) valores da saturação e os eventos de dessaturação da oxihemoglobina (quedas > 3 ou 4%, com 10 segundos);
- g) número total e o índice dos movimentos periódicos de membros inferiores por hora de sono;
- h) número total e o índice dos micro-despertares por hora de sono e sua relação com os eventos respiratórios ou os movimentos de pernas;
- i) ritmo e a frequência cardíaca. Além destas métricas, questionários podem ser usados com o intuito de se realizar o diagnóstico.

Para que o paciente seja diagnosticado como portador da síndrome, é necessário que o resultado da polissonografia apresente: mais de cinco apneias obstrutivas com tempo superior a 10 segundos de duração por hora de sono e uma ou mais das seguintes características (AMERICAN ACADEMY OF SLEEP MEDICINE, 2005, p. 57):

- a) despertares frequentes de sono associados às apneias;
- b) bradi-taquicardia;
- c) dessaturação de oxigênio arterial, em associação com os episódios de apneia.

Apesar da polissonografia ser o método mais eficaz de diagnóstico da SAOS (TOGEIRO; SMITH, 2005, p. 9), ele exige um grande número de recursos dedicados além de possuir um alto custo (ALQASSIM et al., 2012, p. 443). Por isso, o monitoramento portátil foi proposto como alternativa/substituto para a polissonografia na avaliação diagnóstica de pacientes com suspeita de SAOS. Para os proponentes o monitoramento portátil requer menor experiência técnica, exige menos trabalho, é menos demorado, garante aos usuários maior comodidade e são uma forma de acesso mais fácil ao diagnóstico (CHESSON Jr. et al, 2003, p. 907). Isso faz que com sistemas portáteis para a monitoração e detecção domiciliar de SAOS se difundam cada vez mais rapidamente (TOGEIRO; SMITH, 2005, p. 10).

Apesar de garantir ao usuário uma série de facilidades, os métodos portáteis de monitoramento apresentam limitações. Entre estas, a ausência de pessoal treinado para intervir nos problemas técnicos que surgem durante o registro e menor precisão na avaliação, pois há um menor número de métricas de avaliação sendo analisadas (AMERICAN SLEEP DISORDERS ASSOCIATION, 1995, p. 373).

## 2.3 PROCESSAMENTO DE SINAIS

Segundo Vegte (2001, p. 1), sinais são variações que carregam a informação de um lugar para outro; também podem ser definidos como qualquer quantidade física que varia com o tempo, espaço ou outra variável independente.

De forma geral, o termo processamento de sinais refere-se à ciência da análise de variação-tempo de processos físicos. Como tal, o processamento de sinal é dividido em duas categorias, de processamento de sinais analógicos que estão representados no domínio da frequência e processamento de sinais digitais que estão representados no domínio do tempo (LYONS, 2012, p. 1).

### 2.3.1 Representação de sinais

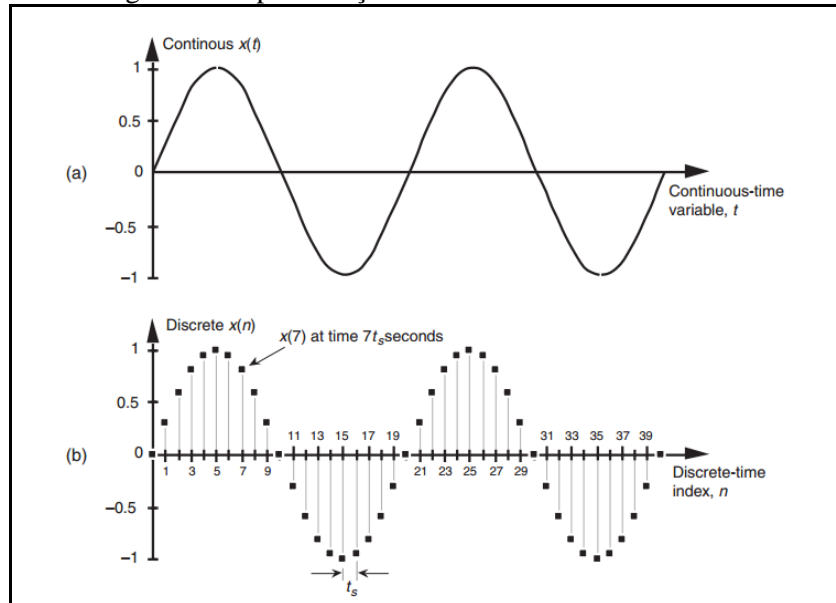
Segundo o dicionário Tufano (2008, p. 314), domínio é o âmbito ao qual uma informação está relacionada. Em processamento de sinais é possível representar uma informação em diversos domínios existentes, como por exemplo: domínio do tempo (sinais unidimensionais), domínio espacial (sinais multidimensionais), no domínio da frequência e domínio *wavelet*.

A escolha de um domínio para a representação da informação está diretamente relacionada ao tipo de informação que se deseja trabalhar. Conforme Schütz (2009, p. 40), é necessário portar o espectro de um sinal do domínio do tempo para o domínio da frequência antes de analisá-lo, pois é através do espectro de frequência que se pode determinar quais informações estão presentes no sinal.

Lyons (2012, p. 2) afirma que existem duas formas de representação de sinais de áudio. Uma delas são os sinais analógicos, também conhecidos como sinais contínuos. Este termo é utilizado para descrever uma forma de onda que é contínua no tempo e pode levar a uma faixa contínua de valores de amplitude, assim seu domínio é a frequência. Outra forma de representação são os sinais digitais, conhecidos como sinais discretos. Tais sinais estão representados no domínio do tempo e recebem esta definição, pois independem da variação do tempo, sendo quantificados de modo que o valor do sinal é conhecido apenas em instantes

discretos no tempo. A Figura 3 demonstra a representação de um sinal contínuo (a) e de um sinal discreto (b).

Figura 3 - Representação de sinais discretos e contínuos



Fonte: Lyons (2012, p. 3).

Segundo Kobuszewski (2004, p. 27), cada fração de segundo representa uma amostra do som. Tal amostra é armazenada no formato digital, ou seja, a informação é representada na forma de *bytes* e são conhecidas como *samples*.

### 2.3.2 Transformadas

Quando se pretende analisar as informações contidas em um sinal representado no domínio do tempo é preciso portá-lo para o domínio da frequência. Esta tarefa é realizada através de transformadas, que geram componentes no domínio da frequência a partir de amostras sonoras no domínio do tempo. A mais conhecida delas é a Transformada Discreta de Fourier (TDF), ou em inglês, *Discrete Fourier Transform* (DFT), que disponibiliza diversas informações sobre o sinal, como os espectros de magnitude (LYONS 2012, p. 59). Existe também a Transformada Rápida de Fourier (TRF), ou em inglês *Fast Fourier Transform* (FFT), que consiste em outra forma de calcular a DFT (SMITH 1999, p. 225) onde cálculos redundantes realizados na DFT não são realizados.

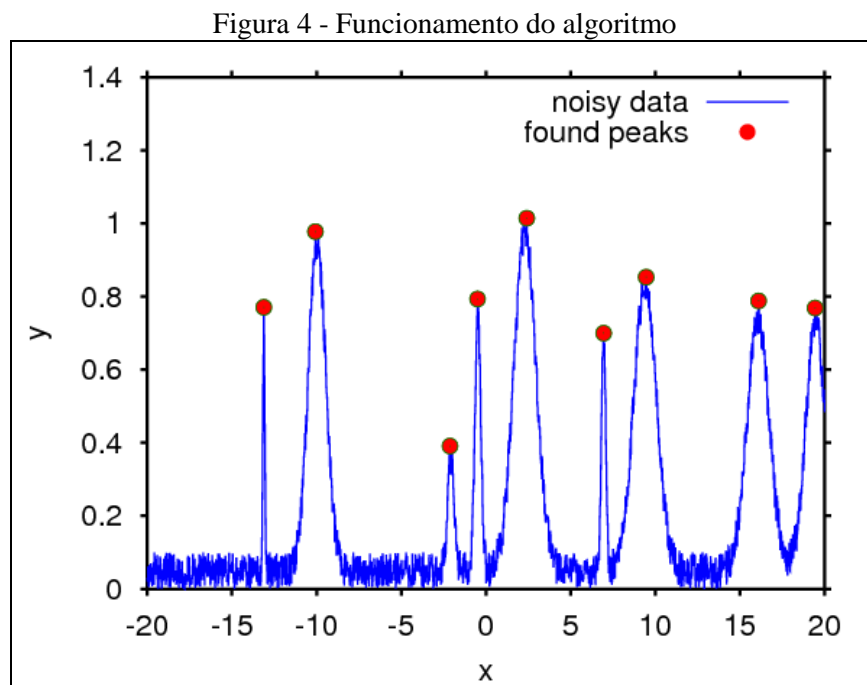
A partir do sinal no domínio da frequência é possível avaliar algumas informações que servem como indicativos da SAOS. Segundo Perez-Padilla et al. (1993, p. 639), é possível indicar pacientes portadores da SAOS a partir de sinais obtidos através da gravação de seus roncos, pois tais sinais possuem potências superiores à 800 Hertz (HZ) e o mesmo não ocorre em pacientes que não possuem a síndrome. Para Pevernagie (2010, p. 139), a aplicação da

FFT confirmou a presença da SAOS em portadores da síndrome. Isto foi possível a partir da constatação de que os pacientes sem SAOS tinham picos de intensidade em seus roncos entre 100 e 300 HZ, porém, em pacientes portadores da síndrome, as intensidades dos picos ultrapassavam o valor de 1000 HZ.

### 2.3.3 Algoritmos de localização de picos

Deteção de picos é uma tarefa comum na análise de séries temporais e processamento de sinais. Algoritmos de localização de picos possuem importância em uma larga gama de aplicações, que vão desde aplicações de trânsito, cálculo de aumento repentino de preços e demandas e tráfego de dados (PALSHIKAR, 2009, p. 2).

Existem vários algoritmos para deteção de picos, que utilizam as mais variadas técnicas, porém, seus objetivos são os mesmos: detectar áreas em determinado conjunto de dados que extrapolam os limites especificados por determinado limiar (SCHOLKMANN, 2012, p. 589). As informações obtidas pela aplicação desses algoritmos podem servir como base na busca de informações relevantes à análise que se pretende realizar. A Figura 4 apresenta o resultado da aplicação de um algoritmo de localização de picos em um sinal ruidoso.



Fonte: Cresspahl (2012).

Esses algoritmos podem utilizar limiar fixo ou podem calcular o limiar a partir dos dados que estão sendo processados. Independente de um limiar fixo, ou um limiar adaptativo, a questão chave é como definir um limiar que garanta minimizar os falsos positivos (PALSHIKAR, 2009, p. 3).

## 2.4 TRABALHOS CORRELATOS

Esta seção tem como objetivo investigar na literatura trabalhos relacionados sobre a detecção de sintomas da SAOS, descrevendo equipamentos e técnicas utilizadas. Dentre os trabalhos investigados, três foram selecionados: o trabalho de Oliver e Flores-Mangas (2007), o de Jané et al. (2011) e o de Alqassim et al. (2012).

### 2.4.1 *Healgear: automatic sleep apnea detection and monitoring with a mobile phone*

O Healthgear (OLIVER; FLORES-MANGAS, 2007) é um sistema para monitoramento, visualização e análise dos sinais fisiológicos em tempo real. Consiste de um conjunto de sensores fisiológicos não-invasivos conectados sem fio via *bluetooth* com um telefone celular, que armazena, transmite e analisa os dados fisiológicos, apresentando-os ao usuário de uma forma inteligível, conforme pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Sensor e *smartphone* utilizados na captação dos dados



Fonte: Oliver (2007, p.4)

O trabalho concentra-se em uma implementação utilizando-se de um oxímetro para monitorar o nível de oxigênio no sangue e o pulso do usuário enquanto o mesmo está dormindo. Além do monitoramento do nível de oxigênio do sangue, a aplicação possui dois

algoritmos diferentes para detecção automática de eventos de apneia do sono. O primeiro algoritmo baseia-se na definição de evento de apneia do sono, no qual não existe um tempo mínimo de duração do evento. São feitas medições de quanto tempo o nível de oxigênio no sangue fica abaixo de 25% do recomendado. O segundo algoritmo utiliza a FFT para obter o espectro de frequência e analisar se existem picos de frequência que excedam o valor definido como máximo.

Testes foram realizados com 20 voluntários com idade entre 25 e 65 anos. Segundo Oliver e Flores-Mangas (2007, p. 6) resultados obtidos foram satisfatórios, pois, os algoritmos para detecção de apneia do sono mostraram 100% de precisão.

#### 2.4.2 *Snoring Analysis for the Screening of Sleep Apnea Hypopnea Syndrome with a Single-Channel Device Developed using Polysomnographic and Snoring Databases*

Jané et al. (2011) propôs a criação de um aplicativo móvel, capaz de realizar a análise dos sinais da respiração bem como a triagem de usuários que possuam a SAOS. O aplicativo analisa e detecta automaticamente os parâmetros de intensidade e frequência do ronco do usuário a partir dos sinais obtidos pela gravação do ronco. A partir da realização da análise é feita uma classificação do nível de apneia do usuário levando em consideração a IAH.

O sistema foi desenvolvido para captar os sinais a partir de um único sensor posicionado no pescoço do usuário. Segundo Jané et al. (2011, p. 8331) esta abordagem garante que o sinal captado não sofrerá a interferência de ruído o que ocorre quando o sinal é captado a partir de microfones. Para a realização da avaliação, o usuário deve fixar o aparelho no peitoral através de uma fita elástica conforme pode ser visto na Figura 6.



Figura 6 - Aquisição dos sinais relacionados ao ronco do usuário



Fonte: Jané et al. (2011, p. 8332).

O aparelho permanece durante toda a noite captando os sinais da respiração do usuário. Após a captação dos sinais os episódios de apneia são identificados pela aplicação servidora que analisa os dados coletados.

Foram realizados testes para validar a sensibilidade e precisão da ferramenta. Segundo Jané et al. (2011, p. 8332) os resultados obtidos alcançaram uma precisão de acerto de 77% na classificação dos portadores de SAOS, sendo estes classificados em quatro graus de gravidade.

#### 2.4.3 *Sleep apnea monitoring using mobile phones*

O trabalho de Alqassim et al. (2012) tem o objetivo de desenvolver uma ferramenta *mobile* multiplataforma com interface amigável, para a detecção e monitoramento dos sintomas da SAOS. Para tal, o aplicativo utiliza os sensores contidos no dispositivo. Os parâmetros utilizados pela aplicação são os padrões de respiração e padrões de movimento. Tais informações são adquiridas utilizando respectivamente o microfone e acelerômetro incorporados ao dispositivo. Os dados gravados são enviados para um servidor para a realização da análise através do software MATLAB.

A aplicação servidora utiliza a FFT para obter o espectro de frequência das gravações de áudio realizadas. A partir do espectro de frequência é possível verificar quantas foram as ocorrências de apneia durante o sono do usuário. Tal análise é feita levando em consideração o valor de limiar de 800 Hz definido por Perez-Padilla et al. (1993, p. 639) como referência. São verificadas em quantos eventos de roncos as ocorrências de frequência do ronco do usuário excedem o valor de frequência de referência. Também se utiliza do método *Root-Sum-Square* (RSS) para calcular a aceleração da movimentação do usuário.

Figura 7 - Interface de exibição dos resultados da análise



Fonte: Alqassim et al. (2012, p. 446).

Para verificar a precisão da aplicação foram realizados testes com 55 amostras. As informações foram processadas e atualizadas na base de dados. Os resultados foram retornados e os usuários tiveram um parecer do seu estado em relação a SAOS conforme pode ser visto na Figura 7.

#### 2.4.4 Comparativo entre os trabalhos correlatos

Com base nas informações obtidas a partir dos trabalhos descritos acima, montou-se o Quadro 1, onde estão relacionadas as principais características de cada sistema.

Quadro 1 - Comparativo entre as características dos trabalhos correlatos

Característica/Trabalho correlato	Trabalho desenvolvido	Oliver e Flores-Mangas (2007)	Jané et al. (2011)	Alqassim et al. (2012).
Processamento	Servidor	Dispositivo	Servidor	Servidor
Métricas de avaliação	Padrão de respiração e intensidade dos eventos de ronco	Tempo de dessaturação sanguínea, e nível da pulsação	Intensidade e frequência do ronco	Padrão de respiração e movimento corpóreo
Sensores	Microfone do próprio dispositivo	Oxímetro	-	Microfone e acelerômetro do próprio dispositivo
Transmissão dos sinais	HTTP	Bluetooth	-	-
Número de amostras da base de dados utilizada	7 amostras	20 amostras	-	55 amostras
Comparativo entre os resultados obtidos e resultado de exames clínicos	Sim	Não	Não	Não

A partir do Quadro 1, observa-se que apenas o trabalho de Oliver e Flores-Mangas (2007) realiza o processamento dos sinais coletados no próprio dispositivo. Também pode-se perceber que os trabalhos correlatos utilizam sensores e técnicas diferentes para realizar a captura e análise dos sinais coletados. Com relação ao número de amostras utilizadas para a validação da aplicação o trabalho de Alqassim et al. (2012) destaca-se por contar com 55 amostras, seguido pelo trabalho de Oliver e Flores-Mangas (2007) que conta com 20 amostras para a realização dos testes. Apesar de todos os trabalhos correlatos apresentarem resultados positivos em relação aos resultados das análises realizadas, em nenhum deles é feito um comparativo com o resultado de um exame clínico ou da polissonografia.

### 3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo são apresentadas as etapas de desenvolvimento do aplicativo para detecção de sintomas da SAOS. Na seção 3.1 são enumerados os principais requisitos do projeto desenvolvido. A seção 3.2 apresenta sua especificação, a seção 3.3 apresenta detalhes da implementação e por fim, na seção 3.4 são listados os resultados, discussões e sugestões de melhorias.

#### 3.1 REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO

O aplicativo para detecção de sintomas da SAOS deverá:

- a) permitir que o usuário capture as informações referentes ao seu ronco através do gravador de áudio contido no *smartphone* (Requisito Funcional - RF);
- b) permitir que o usuário exporte os dados coletados ao servidor (RF);
- c) permitir que a aplicação servidora faça análise dos dados coletados e indique possíveis sintomas da SAOS a partir das métricas definidas baseadas na polissonografia (RF);
- d) permitir que o usuário visualize as informações referentes aos dados coletados, indicando onde foram encontrados os problemas e sugerindo a procura de atendimento especializado, caso seja necessário (RF);
- e) ser implementado utilizando a linguagem de programação Java (Requisito Não Funcional - RNF);
- f) construir a aplicação cliente utilizando o *Android Developers Tools* (ADT) (RNF);
- g) construir a aplicação servidora utilizando a ferramenta Netbeans (RNF).

#### 3.2 ESPECIFICAÇÃO

Nesta seção é apresentada a especificação do sistema de identificação de sintomas da SAOS utilizando diagramas da *Unified Modeling Language* (UML) criados no ambiente Enterprise Architect 11.0. Foram utilizados os diagramas de classe, diagrama de casos de uso, diagrama de pacotes, diagrama de atividades e um fluxograma para representar a metodologia utilizada no desenvolvimento do projeto. Primeiro será apresentada a especificação do aplicativo cliente e em seguida será apresentada a especificação da aplicação servidora.

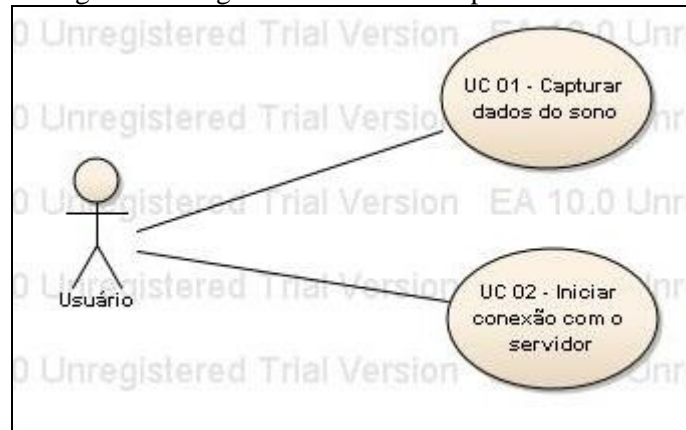
##### 3.2.1 Cliente

Nesta seção é apresentada a especificação do aplicativo cliente, onde é feita a captura dos sinais referentes ao ronco do usuário e o envio dos dados coletados ao servidor.

### 3.2.1.1 Casos de uso

A Figura 8 demonstra o diagrama de casos de uso da aplicação cliente que conta com apenas com duas ações necessárias para o funcionamento do aplicativo.

Figura 8 - Diagrama de classes do aplicativo cliente



O caso de uso UC 01 - Capturar dados do sono descreve o processo de inicialização, configuração e realização da captura dos dados do sono do usuário. Os detalhes deste caso de uso são descritos no Quadro 2.

Quadro 2 - Caso de uso UC 01 do aplicativo cliente

UC 01 – Capturar dados do sono	
Descrição	O usuário prepara-se para dormir, posiciona o microfone e registra em qual hora o registro do sono deve ser iniciado
Pré condições	O aplicativo deve estar em execução, o microfone do dispositivo deve estar disponível e dispositivo deve estar sendo carregado.
Cenário principal	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O usuário deita-se em sua cama;</li> <li>2. O usuário conecta o microfone no dispositivo;</li> <li>3. O usuário prende o microfone em sua roupa;</li> <li>4. O usuário informa em qual hora ele deseja que o registro do sono seja iniciado;</li> <li>5. O usuário pressiona o botão salvar hora de início;</li> <li>6. O usuário tem sua noite de sono;</li> <li>7. O usuário desperta;</li> <li>8. O usuário pressiona o botão finalizar registro do sono;</li> <li>9. O aplicativo exibe uma mensagem informando que o registro foi realizado com sucesso.</li> </ol>
Exceção 1	Após o início do registro do sono, caso o microfone desconecte-se do dispositivo a gravação terá sido prejudicada
Exceção 2	No passo 8, caso a gravação seja finalizada sem que o tempo mínimo de gravação tenha sido realizado, o registro será descartado.

O caso de uso UC 02 - Iniciar conexão com o servidor descreve o processo de inicialização de conexão e envio de dados ao servidor do aplicativo. Os detalhes deste caso de uso são descritos no Quadro 3.

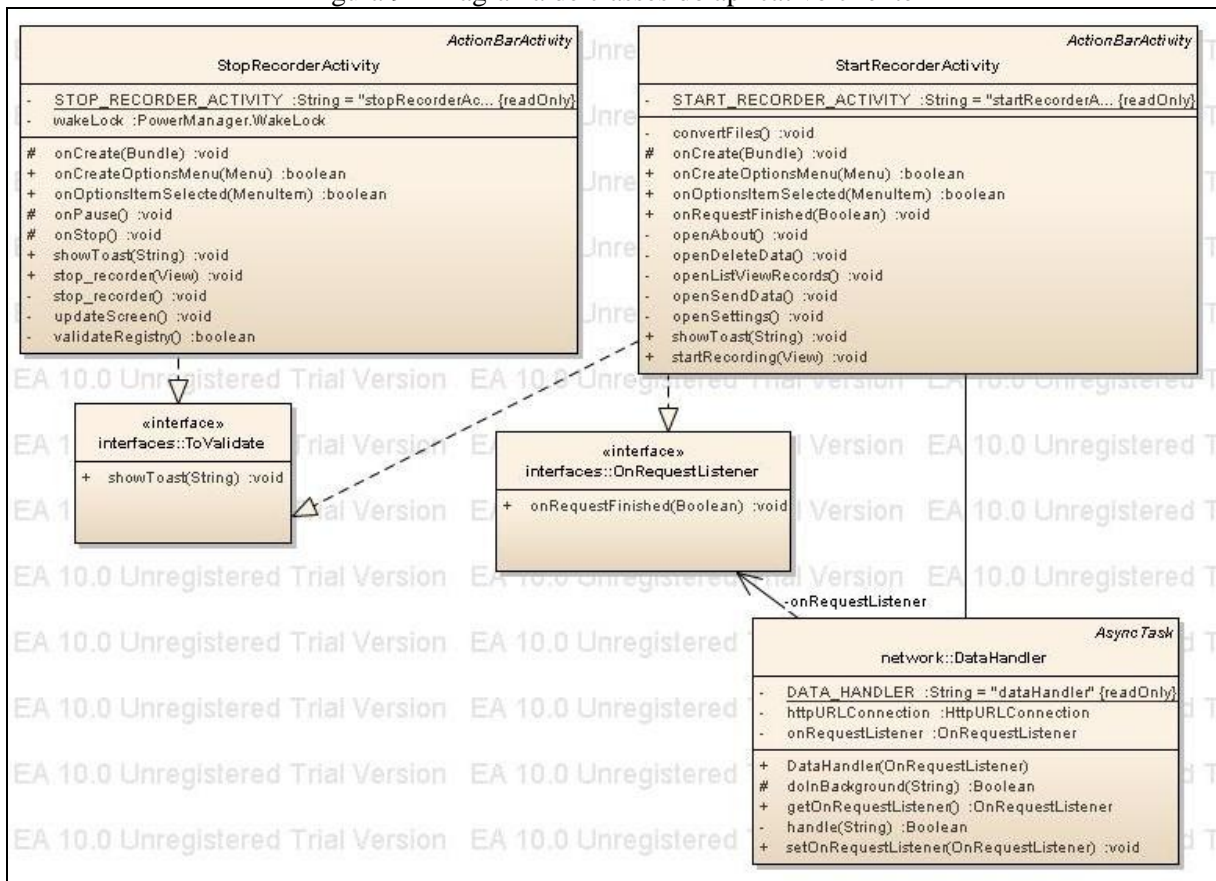
Quadro 3 - Caso de uso UC 02 do aplicativo cliente

UC 02 – Iniciar transferência dos dados para o servidor	
Descrição	Inicializar a conexão e transferir os dados para a aplicação servidora.
Pré condições	O aplicativo deve estar em execução e possuir conexão com a internet.
Cenário principal	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O usuário pressiona o botão de menu;</li> <li>2. O usuário pressiona o botão enviar dados;</li> <li>3. Os dados são enviados ao servidor.</li> </ol>
Exceção 1	Após o passo 2, caso não haja conexão com a internet, a transferência será abortada.
Exceção 2	No passo 2, caso o aplicativo não consiga estabelecer conexão com o servidor, a transferência será abortada.

3.2.1.2 Diagrama de classes

Nesta seção são descritas as principais classes do aplicativo cliente. A Figura 9 demonstra as principais classes que compõem o conjunto de interfaces gráficas da aplicação cliente.

Figura 9 - Diagrama de classes do aplicativo cliente



O aplicativo cliente conta com duas telas. A classe StartRecordActivity exibe as recomendações para a realização da gravação dos dados no sono, o menu de opções e o botão salvar hora de inicio. O menu conta com as opções de deletar dados e enviar dados.

A opção de deletar dados, apaga todos os dados coletados por aquele usuário. A opção enviar dados, inicializa uma nova instância de `DataHandler` para cada arquivo de áudio gerado pela coleta efetuada e envia o arquivo para a aplicação servidora.

Após o início da registro do sono do usuário, a tela `StopRecordActivity` é exibida ao usuário. Essa tela conta apenas com um botão que é responsável por parar o registro dos dados do sono. A interface `onRequestListener`, define o método `onRequestFinish` que tem a finalidade de comunicar as *activities* quando as tarefas realizadas pelos *handlers* terminaram.

### 3.2.1.3 Fluxograma

Nesta seção é apresentado um fluxograma que descreve o processo necessário para a realização da captura dos dados do usuário. A Figura 10 demonstra as etapas realizadas na coleta dos dados.

Figura 10 - Processo necessário para a captura dos dados



Para realizar a coleta dos dados o usuário informa o horário no qual a coleta de dados deve ser iniciada, então a captura de dados será iniciada no horário informado. Após despertar o usuário deve encerrar a gravação e selecionar a opção de enviar dados ao servidor. Caso a

captura de dados não tenha atingido o mínimo de uma hora, os dados são descartados e é necessária a realização de uma nova coleta.

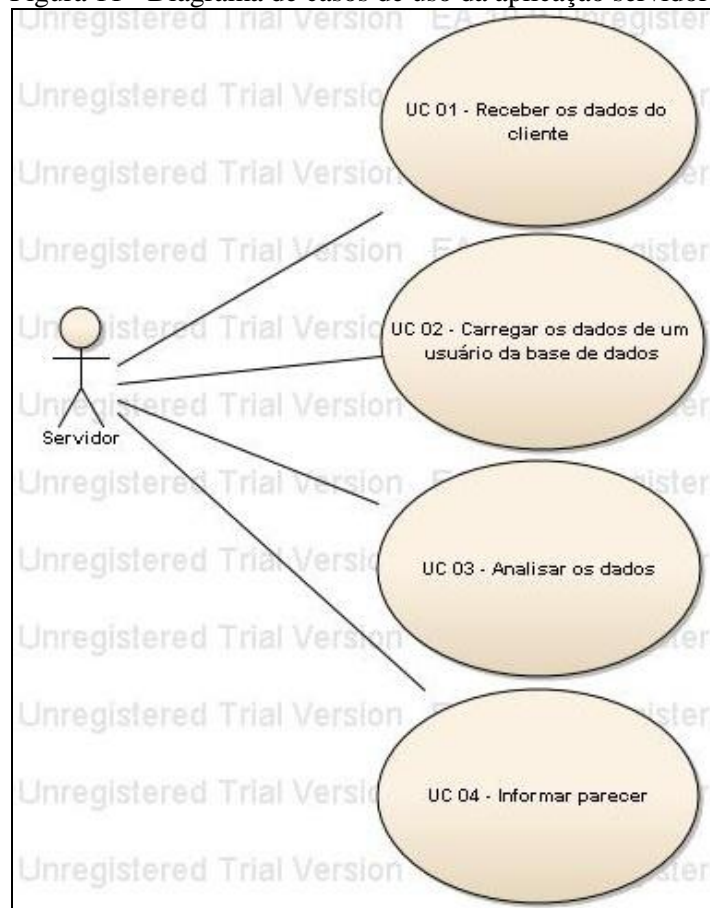
### 3.2.2 Servidor

Nesta seção é apresentada especificação do servidor, onde é feita a recepção e a análise dos dados coletados pelo usuário.

#### 3.2.2.1 Casos de uso

Nesta seção são demonstrados e detalhados os casos de uso da aplicação servidora. A Figura 11 exibe o diagrama de casos de uso do servidor.

Figura 11 - Diagrama de casos de uso da aplicação servidora



O caso de uso UC 01 - Receber dados do cliente descreve o processo de transferência dos dados coletados pelo aplicativo cliente para a aplicação servidora. Os detalhes deste caso de uso são descritos no Quadro 4.



UC 01 – Receber dados do aplicativo cliente	
Descrição	Disponibilizar uma conexão para receber os dados enviados.
Pré condições	A aplicação deve estar em execução e possuir conexão com a internet.
Cenário principal	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A aplicação é iniciada;</li> <li>2. O servidor é iniciado;</li> <li>3. O aplicativo cliente envia os dados coletados;</li> <li>4. O servidor manda um <i>status</i> sobre o recebimento dos arquivos.</li> </ol>
Exceção 1	Após o passo 2, caso o não haja conexão com a internet, a transferência será abortada.
Exceção 2	No passo 2, caso o cliente não consiga estabelecer conexão com o servidor, a transferência será abortada.

O caso de uso UC 02 - Carregar dados de um usuário da base de dados descreve o processo de seleção e carregamento das informações do usuário para a aplicação servidora. Os detalhes deste caso de uso são descritos no Quadro 5.

Quadro 5 - Caso de uso UC 02 da aplicação servidora

UC 02 – Carregar dados de um usuário da base de dados	
Descrição	O usuário seleciona seu registro na base de dados.
Pré condições	Estar com o software aberto, a transferência dos dados do cliente para o servidor deve estar encerrada.
Cenário principal	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O usuário pressiona o botão Arquivo ;</li> <li>2. O usuário pressiona o botão abrir;</li> <li>3. O usuário pressiona a pasta correspondente ao seu registro;</li> <li>4. O usuário pressiona o botão abrir;</li> </ol>
Exceção 1	Caso o usuário selecione uma pasta que não seja correspondente a um registro da base a aplicação servidora exibirá uma mensagem de erro.

O caso de uso UC 03 - Analisar os dados descreve o processo de análise dos dados carregados para a aplicação. Os detalhes deste caso de uso são descritos no Quadro 6.

Quadro 6 - Caso de uso UC 03 da aplicação servidora

UC 03 – Analisar os dados	
Descrição	O usuário aplica os algoritmos aos dados do registro.
Pré condições	Estar com o software aberto, o registro da noite de sono do usuário da deve ter sido carregado da base de dados.
Cenário principal	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O usuário seleciona a aba informações do registro;</li> <li>2. O usuário pressiona sobre o botão localizar sons;</li> <li>3. O usuário pressiona sobre o botão localizar silêncios;</li> </ol>
Exceção 1	Após o passo 2, caso o registro do sono do usuário não tenha sido carregado a aplicação servidora sofrerá exceção.

O caso de uso UC 04 - Informar parecer descreve o processo de análise e informação de parecer do usuário em relação à SAOS. Este caso de uso é descrito no os no Quadro 7.

Quadro 7 - Caso de uso UC 04 da aplicação servidora

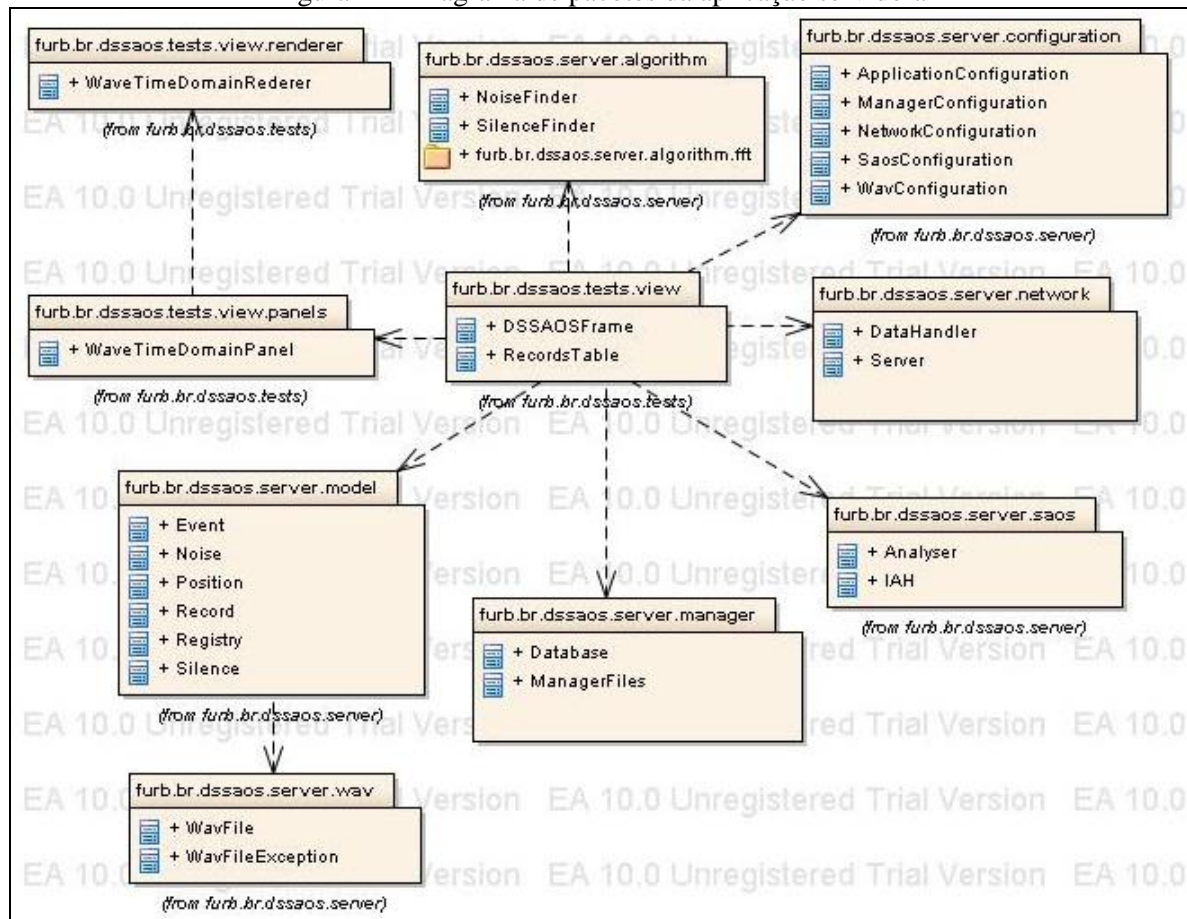
UC 04 – Informar parecer	
Descrição	A aplicação servidora exibe um parecer sobre a condição do usuário
Pré condições	O registro da noite de sono do usuário, os algoritmos já devem ser sido aplicados.
Cenário principal	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O usuário pressiona o botão analisar gravações;</li> <li>2. A aplicação servidora informa o parecer da análise realizada.</li> </ol>
Exceção 1	Após o passo 2, caso o registro do sono do usuário não tenha sido carregado a aplicação servidora sofrerá exceção.

### 3.2.2.2 Diagrama de pacotes

Nesta seção estão descritos os pacotes, classes e as estruturas que compõem o funcionamento da aplicação servidora. Para facilitar a organização do código, as classes foram separadas em dois grandes pacotes, são eles: `tests` e `server`, conforme pode ser visto na Figura 12, existem os sub-pacotes que agrupam as classes que possuem mesma funcionalidade.

O pacote `server` contém as classes utilizadas para realizar o recebimento, processamento e análise dos dados do usuário. As classes utilizadas para permitir ao usuário visualizar as informações sobre os dados coletados estão contidas no pacote `tests`.

Figura 12 - Diagrama de pacotes da aplicação servidora

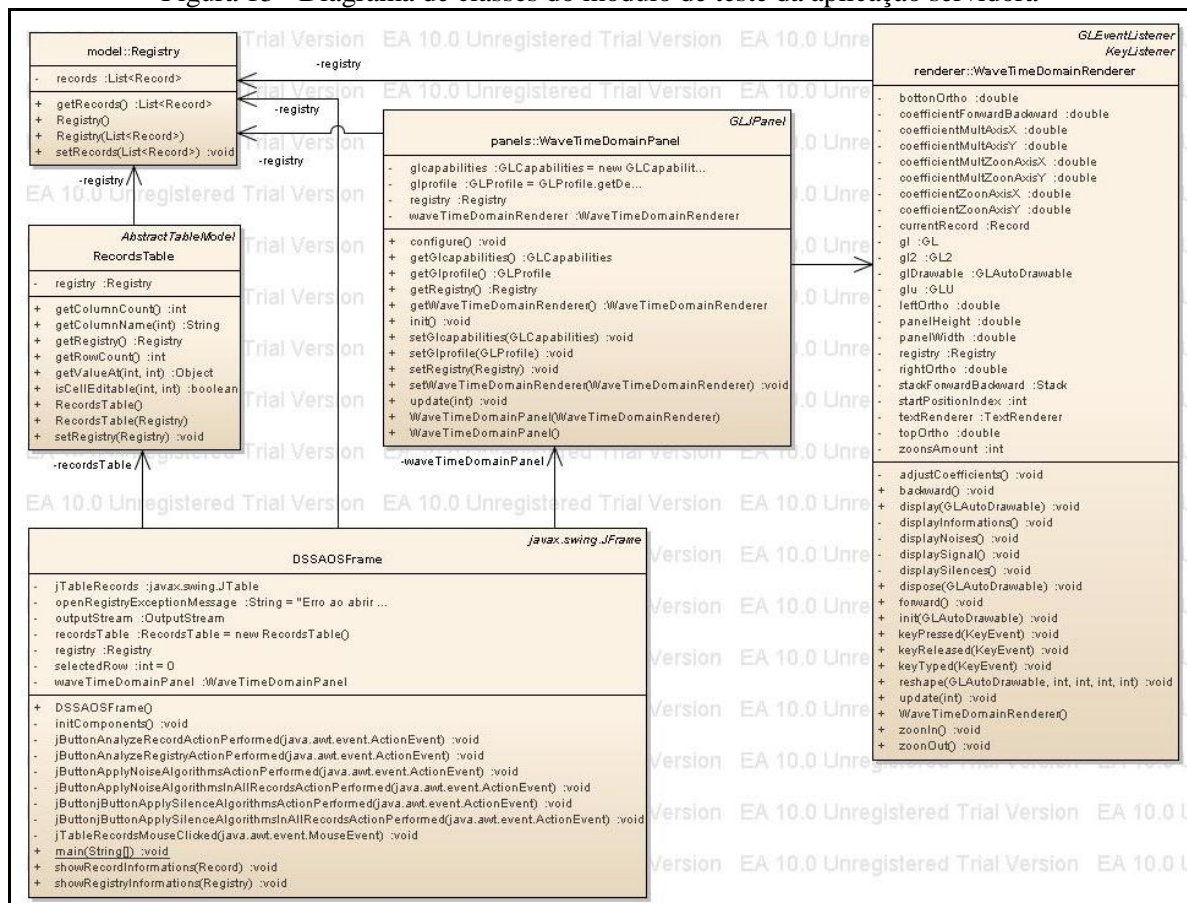


### 3.2.2.3 Diagrama de classes

A partir de diagramas de classes, serão demonstrados os principais componentes da aplicação servidora. O diagrama de classes mostrado na Figura 13, mostra as classes envolvidas na exibição das informações ao usuário.

A principal classe de interação com o usuário é a `DSSAOSFrame`, a partir dela o usuário pode abrir um registro da base de dados. A classe `Registry` representa um registro que é uma coleta realizada pelo usuário da base de dados. Após a escolha de um registro da base de dados, a classe `RecordsTable` exibe a lista de arquivos de áudio do registro selecionado. Os espectros dos sinais dos arquivos de áudio coletados são renderizados pela classe `WaveTimeDomainRenderer` e exibidos pela classe `WaveTimeDomainPanel`.

Figura 13 - Diagrama de classes do módulo de teste da aplicação servidora

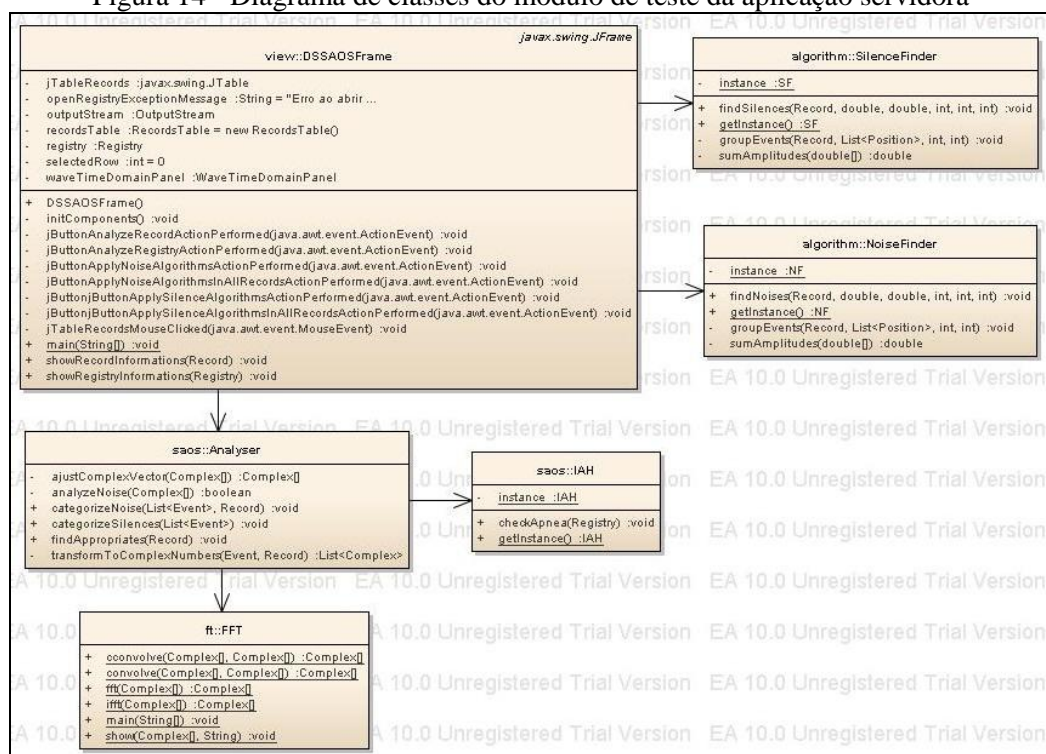


O diagrama da Figura 14 corresponde às principais classes envolvidas no processamento e análise e dos dados do registro do usuário.

Após a abertura e leitura dos arquivos de áudio, os algoritmos `findSilences` e `findNoises` das classes `SilenceFinder` e `SoundFinder` são aplicados. Esses algoritmos são baseados técnicas de localização de picos e selecionam as áreas com informações relevantes para a análise. A classe `Analyser` é responsável por fazer a análise dos dados das informações

relevantes, para tal são utilizados os métodos `analyzeNoise`, `categorizeNoise`, `categorizeSilences`, `findAppropriates`, `ajustComplexVector`, `transformToComplexNumbers`. Os métodos `categorizeNoise`, `categorizeSilences` são utilizados para classificar os eventos selecionados pelos algoritmos `findSilences` e `findNoises` como eventos de apneia e eventos de ronco. Os métodos `ajustComplexVector` e `transformToComplexNumbers` são métodos que auxiliam no ajuste das informações para a aplicação da transformada rápida de Fourier através do método `fft()` da classe `FFT` que é utilizado pelo método `categorizeNoise`.

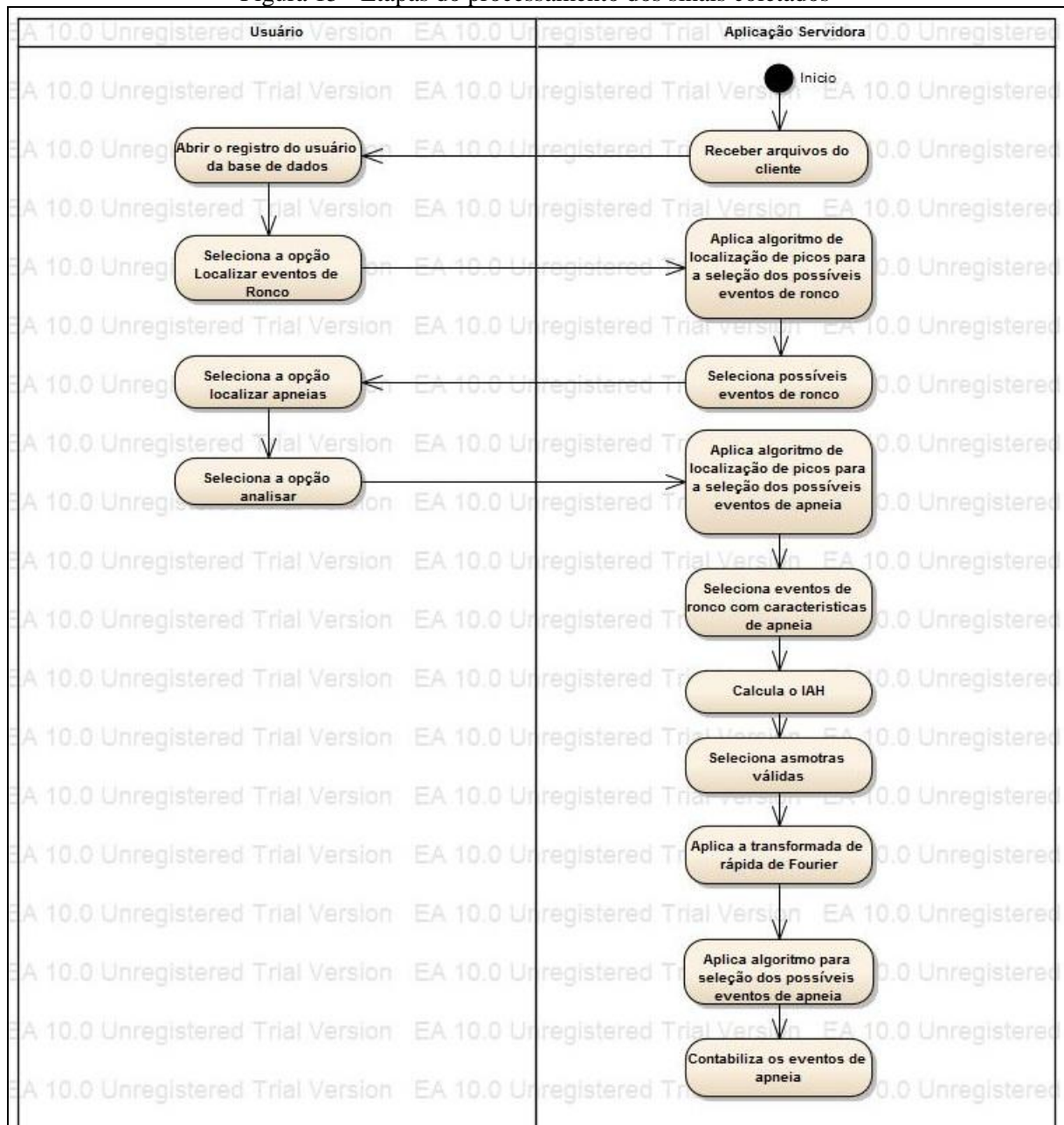
Figura 14 - Diagrama de classes do módulo de teste da aplicação servidora



### 3.2.2.4 Diagrama de atividades

O diagrama de atividades demonstrado na Figura 15 apresenta as principais etapas no processamento dos sinais coletados.

Figura 15 - Etapas do processamento dos sinais coletados



### 3.3 IMPLEMENTAÇÃO

Nesta seção são descritas técnicas e ferramentas utilizadas e a operacionalidade da implementação. Na seção 3.3.1 são apresentadas as ferramentas e técnicas utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho. A seção 3.3.2 apresenta a operacionalidade da implementação.

#### 3.3.1 Técnicas e ferramentas utilizadas

O aplicativo para detecção de sintomas da SAOS foi construído baseado em uma estrutura cliente-servidor. O cliente é o aplicativo responsável por realizar a captura dos sinais

referentes à noite de sono do usuário e o servidor é a aplicação responsável por processar os sinais coletados. Ambas as aplicações foram construídas utilizando a linguagem Java.

### 3.3.1.1 Cliente

Para a construção do aplicativo cliente, foi utilizada a IDE *Android Developers Tools* e sistema operacional Android KitKat. Para a comunicação e transferência dos arquivos com o servidor, foram utilizadas as classes de conexão *HyperText Transfer Protocol* (HTTP) disponibilizadas nativamente com o *Software development kit* (SDK) do Android.

A captura dos roncos foi realizada utilizando o microfone contido no próprio dispositivo. Para tal, uma *thread* é disparada na hora de início agendada pelo usuário e o método `writeAudioDataToTempFile` (Quadro 8) é chamado. Neste momento, a gravação do sono do usuário é iniciada e a partir dos dados coletados são gerados arquivos mono aurais com taxa de amostragem de 44100 HZ de dois minutos de duração.

Quadro 8 - Captura dos sinais e geração dos arquivos temporários

01	...
02	//Enquanto a gravação não for parada
03	while(isRecording){
03	
04	//Se o número de samples lidas ultrapassar o tamanho determinado
05	//para os arquivos.
06	if(samplesRead >= WavConfiguration.DEFAULT_SIZE_WAV){
07	fileOutputStream.close();
08	numTempFiles += 1;
09	samplesRead = 0;
10	//Cria um novo stream de gravação a partir de um novo arquivo
11	fileOutputStream = new FileOutputStream(
12	ManagerFiles.insertTempFile(ManagerConfiguration.DEFAULT_USER +
13	"-" + numTempFiles, ManagerConfiguration.DEFAULT_USER));
14	}
15	//Lê os dados do microfone
16	read = audioRecord.read(data, 0,
17	WavConfiguration.MIN_BUFFER_SIZE);
18	samplesRead += read;
19	if(read != AudioRecord.ERROR_INVALID_OPERATION){
20	//Grava os dados lidos no arquivo temporário.
21	fileOutputStream.write(data);
22	}
23	//Encerra o stream de gravação.
24	fileOutputStream.close();
25	}

Após a captura dos sinais referentes ao sono do usuário, no momento em que o usuário seleciona a opção de enviar os dados ao servidor, cada arquivo de áudio gerado pela captura dos sinais passa pelo método `convert` (Quadro 9), que converte os arquivos temporários em arquivos `.wav` utilizando a *Application Programming Interface* (API) Java WaveFile IO (GREENSTED, 2010).

Quadro 9 - Conversão dos arquivos temporários

```

01 public static void convert(File tempFile){
02     //Cria um stream de entrada com o arquivo temporário
03     FileInputStream fileInputStream = new FileInputStream(tempFile);
03     WavFile wavFile =
04         WavFile.newWavFile(ManagerFiles.insertFile(tempFile.getName()),
05             ManagerConfiguration.DEFAULT_USER),
06             WavConfiguration.NUM_CHANNELS,
07             (tempFile.length() / 2),
08             WavConfiguration.VALID_BITS,
09             WavConfiguration.SAMPLE_RATE);
10
11     byte[] buffer = new byte[WavConfiguration.MIN_BUFFER_SIZE];
12     //Enquanto o stream de entrada tiver dados para ser lidos, lê os
13     //dados
14     while(fileInputStream.read(buffer) != -1){
15         //Grava dos dados no arquivo de áudio
16         wavFile.writeFrames(buffer, (buffer.length/2));
17     }
18     //Encerra o stream de entrada
19     fileInputStream.close();
20     //Encerra a escrita no arquivo de áudio
21     wavFile.close();
22 }

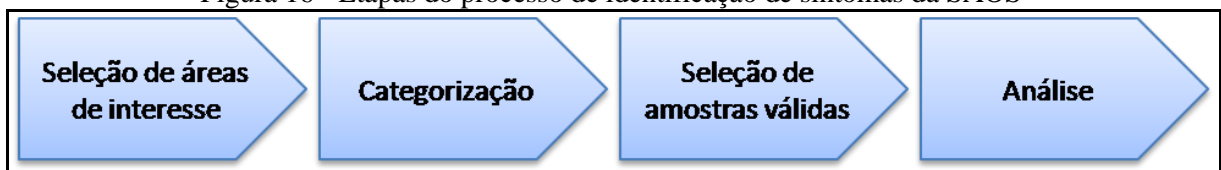
```

### 3.3.1.2 Servidor

A construção do servidor foi realizada utilizando a IDE de desenvolvimento Netbeans 7.2 e o sistema operacional Windows 7. A conexão do servidor foi realizada utilizando as classes nativas de HTTP do Java 7. Para realizar a leitura dos arquivos de áudio foi utilizada a mesma API utilizada na aplicação cliente.

O processo de identificação de sintomas da SAOS passa por quatro etapas, conforme demonstrado na Figura 16.

Figura 16 - Etapas do processo de identificação de sintomas da SAOS



As seções subsequentes descrevem detalhadamente cada uma das etapas, mostrando as técnicas e métodos utilizados.

#### 3.3.1.2.1 Seleção das áreas de interesse

Para realizar a etapa de seleção de áreas de interesse, os algoritmos `findSilences` da classe `SilenceFinder` e `findNoises` da classe `SoundFinder` são aplicados a cada um dos arquivos de áudio dos registros da base de dados. Os dois algoritmos são similares, diferenciando-se apenas entre as linhas 20 e 21 que correspondem às comparações para classificação dos eventos de som e silêncio. Eles possuem duas fases distintas, são elas:

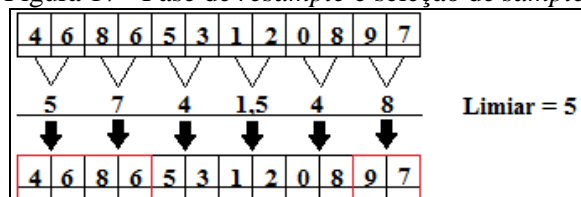
*resample*/seleção de *samples* e a fase de agrupar eventos. A primeira fase corresponde a um processo de realizar um *resample* das *samples* originais de determinado registro e selecionar quais destas novas *samples* estão dentro dos limiares especificados conforme pode ser visualizado no Quadro 10.

Quadro 10 - *Resample* e seleção de *samples*

01	public void findNoises(Record record, double levelAsNoiseMinimum_db,
02	double levelAsNoiseMaximum_dB, int minimumDurationOfNoise_slp,
03	int numberOfSamplesPerEvent_slp, int labelPlacement_slp) throws
03	IOException, WavFileException, InterruptedException {
04	
05	double[] data = record.getData();
06	double[] temporaryData;
07	int temporaryDataSize = 0;
08	List<Position> temporaryPositions = new ArrayList<>();
09	
10	//Para da sample do array de dados
11	for (int i = 0; i < data.length; i += minimumDurationOfNoise_slp) {
12	//Verificar qual será o tamanho do array temporário
13	if ((i + minimumDurationOfNoise_slp) > data.length) {
14	//Define o tamanho do array temporário
15	temporaryDataSize = ((minimumDurationOfNoise_slp
16	- ((i + minimumDurationOfNoise_slp) - (data.length - 1)));
17	} else {
18	temporaryDataSize = minimumDurationOfNoise_slp
19	}
20	temporaryData = new double[temporaryDataSize];
21	System.arraycopy(data, i, temporaryData, 0, temporaryDataSize);
22	double sumAmplitudes = sumAmplitudes(temporaryData);
23	
24	//Verificar se o novo sample gerado está dentro dos limiares
25	if (sumAmplitudes > levelAsNoiseMinimum_db && sumAmplitudes <
26	levelAsNoiseMaximum_dB) {
27	//Cria um novo evento e adiciona no array
28	Position position = new Position(i, i + temporaryDataSize);
29	temporaryPositions.add(position);
30	}
31	} //Inicia a segunda fase do algoritmo
32	groupEvents(record, temporaryPositions, numberOfSamplesPerEvent_slp,
33	temporaryDataSize);

Caso a nova *sample* esteja dentro dos limiares definidos, o conjunto de *samples* originais são demarcados como um evento conforme o exemplo demonstrado pela Figura 17.

Figura 17 - Fase de *resample* e seleção de *samples*



Após a realização deste processo em todos os arquivos de áudio do registro, a segunda fase do algoritmo é iniciada, onde os eventos detectados são agrupados. Caso o número de eventos sequenciais esteja dentro dos limiares, é criada uma marcação para registrar que



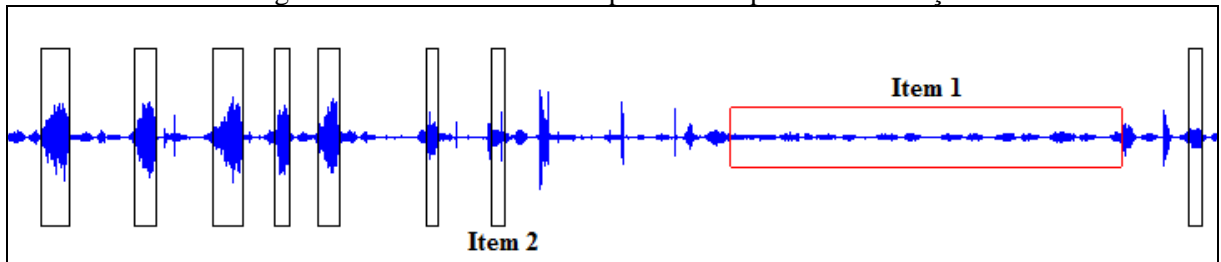
naquele trecho houve um evento de som ou de silêncio, conforme pode ser visto no Quadro 11.

Quadro 11 - Agrupar eventos e identificar incidentes

01	private void groupEvents(Record record, List<Position>
02	temporaryPositions, int numberOfSamplesPerEvent_slp, int
03	temporaryDataSize) {
03	
04	int eventsCounts = 0;
05	//Para cada evento selecionado na fase anterior
06	for (int i = 0; i < temporaryPositions.size() - 1; i++) {
07	Position currentPosition = temporaryPositions.get(i);
08	Position temporaryCurrentPosition = currentPosition;
09	Position nextPosition;
10	
11	//Verifica quantos eventos ocorreram sequencialmente
12	for (int j = i + 1; j < temporaryPositions.size() - 1; j++) {
13	nextPosition = temporaryPositions.get(j);
14	
15	if ((temporaryCurrentPosition.getFinalPosition()) ==
16	nextPosition.getInitialPosition()) {
17	temporaryCurrentPosition = nextPosition;
18	eventsCounts++;
19	} else {
20	//Se o número de eventos está dentro da duração mínima e máxima
21	//estabelecida
22	if ((eventsCounts
23	>=(SaosConfiguration.NUMBER_SAMPLES_NOISE_EVENT_MINIMUM /
24	numberOfSamplesPerEvent_slp))
25	&& (eventsCounts
26	<=(SaosConfiguration.NUMBER_SAMPLES_NOISE_EVENT_MAXIMUM /
27	numberOfSamplesPerEvent_slp))) {
28	//Cria um evento de ronco a partir do primeiro o do ultimo evento
29	//sequencial
30	record.getSnoreIncident().add(
31	new Noise(new Position(
32	currentPosition.getInitialPosition(),
33	temporaryCurrentPosition.getFinalPosition())));
34	i = j;
35	currentPosition = nextPosition;
36	temporaryCurrentPosition = currentPosition;
37	}
38	eventsCounts = 0;
39	}
40	{...}
41	}
42	}

Ao final desta etapa, as áreas de interesse, que são os momentos de silêncio (Item 1) e os possíveis roncós (Item 2), terão sido isoladas conforme demonstrado na Figura 18, podendo assim o processamento passar para a próxima etapa.

Figura 18 - Resultado final da primeira etapa de identificação



### 3.3.1.2.2 Categorização

A segunda etapa do processo de identificação de sintomas é a categorização. Nela as áreas de interesse demarcadas até o momento são avaliadas para verificar se tais eventos são mesmo eventos de roncos e de apneias. Para categorizar os silêncios, é verificado se os tempos de duração dos eventos estão dentro dos limites mínimos e máximos especificados nas características da síndrome, assim como é demonstrado no Quadro 12.

Quadro 12 - Classificação dos eventos de silêncio

```

01 public void categorizeSilences(List<Event> eventsSilence) {
02     //Para cada evento identificado
03     for (Event event : eventsSilence) {
03         //Verifica se o evento possui a duração mínima e máxima
04         //estabelecida
05         if ((event.getPosition().getFinalPosition() -
06             event.getPosition().getInitialPosition()) >
07             SaosConfiguration.NUMBER_SAMPLES_SILENCE_EVENT_MINIMUM
08             && (event.getPosition().getFinalPosition() -
09             event.getPosition().getInitialPosition()) <
10             SaosConfiguration.NUMBER_SAMPLES_SILENCE_EVENT_MAXIMUM) {
11             ((Silence) event).setApneaEvent(true);
12         } else {
13             ((Silence) event).setApneaEvent(false);
14         }
15     }
}

```

Para a categorização dos eventos de ronco, é verificado se o tempo de duração do evento está dentro dos limites mínimos e máximos especificados pelo limiar, após esta verificação é aplicada a FFT (Segewick, 2011), a fim de obter-se o espectro de potência do evento de ronco. A partir de espectro de potência, é possível afirmar se este evento de ronco caracteriza-se como um ronco de um paciente portador da SAOS (PEVERNAGIE, p. 139, 2010). O Quadro 13 apresenta o trecho de código utilizado para categorizar os eventos de ronco.

Quadro 13 - Classificação dos eventos de ronco

01	public void categorizeNoise(List<Event> eventsNoise, Record record) {
02	//Para cada evento identificado
03	for (Event event : eventsNoise) {
03	if ((event.getPosition().getFinalPosition() -
04	event.getPosition().getInitialPosition()) >
05	SaosConfiguration.NUMBER_SAMPLES_NOISE_EVENT_MINIMUM
06	&& (event.getPosition().getFinalPosition() -
07	event.getPosition().getInitialPosition()) <
08	SaosConfiguration.NUMBER_SAMPLES_NOISE_EVENT_MAXIMUM) {
09	//Gera uma List<Complex>de numerous complexos a partir das
10	//samples do array de dados
11	List<Complex> complexsValues = transformToComplexNumbers(event,
12	record);
13	Complex[] complexArray = new Complex[complexsValues.size()];
14	//Transforma a List<Comlex> em um array
14	for(int i = 0; i < complexsValues.size(); i++){
15	complexArray[i] = complexsValues.get(i);
16	}
17	//Verifica pela aplicação da FFT se este é um evento de ronco
18	boolean isApneaSnore =
19	analyzeNoise(FFT.fft(ajustComplexVector(complexArray)));
20	
21	if (isApneaSnore) {
22	((Noise) event).setSnoreEvent(true);
23	} else {
24	((Noise) event).setSnoreEvent(false);
25	}
26	} else {
27	((Noise) event).setSnoreEvent(false);
28	}
29	record.setData(null);
30	}
31	}

### 3.3.1.2.3 Seleção de amostras válidas

A terceira etapa do processo de identificação de sintomas da SAOS, esta na seleção de amostras válidas. Esta etapa visa excluir as amostras que não possuam informações suficientes para a fase de análise. Para que uma amostra seja considerada válida, é preciso que ela contenha cinco eventos de roncos, caso contrário a amostra é descartada.

### 3.3.1.2.4 Análise

A última fase do processo de identificação de sintomas de SAOS é a análise. A partir dos dados gerados pelas etapas anteriores, é realizado o calculo do IAH com o intuito de verificar a gravidade da apneia do usuário. A Figura 19 exhibe o esquema de classificação de gravidade da SAOS.

Figura 19 - Classificação da gravidade da IAH

Gravidade da AOS	IAH (eventos/hora)
Leve	5-15
Moderada	> 15-30
Grave	> 30

Fonte: Bittencourt (2008).

Para a realização do cálculo do IAH é realizada uma média do número de eventos de apneia por hora de sono do usuário e a partir do resultado dessa análise é indicada a gravidade da síndrome do usuário, conforme demonstrado no Quadro 14.

Quadro 14 - Verificação do IAH

```

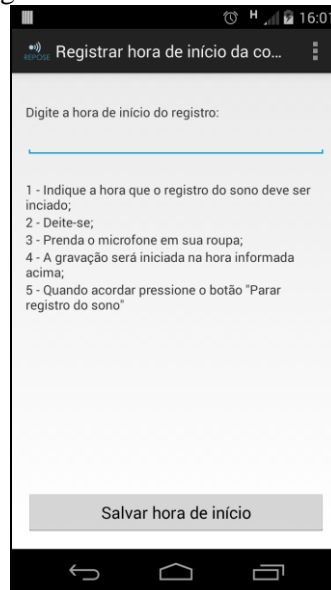
01 public void checkApnea(Registry registry) {
02     List<Record> records = registry.getRecords();
03     int recordsAprorpiatteCount = 0;
03     double apneaEventsCounts = 0;
04     //Contabiliza o número de amostras válidas e o número de eventos
05     for (Record record : records) {
06         if (record.isAppropriate()) {
07             recordsAprorpiatteCount++;
08             apneaEventsCounts += record.getApneaIncident().size();
09         }
10     }
11     if (recordsAprorpiatteCount < 30) {
12         JOptionPane.showMessageDialog(null, "Gravações não mostraram
13         presença de roncos ou não haviam informações suficientes");
14     } else {
15         //Calcula o IAH
16         double levelApnea = apneaEventsCounts/
17         (recordsAprorpiatteCount * 2);
18         levelApnea= levelApnea * 60;
19     if (levelApnea < 2) {
20         JOptionPane.showMessageDialog(null, "Apnéia grave");
21     }
22     if (levelApnea > 2 && levelApnea < 4) {
23         JOptionPane.showMessageDialog(null, "Apnéia moderada");
24     }
25     if (levelApnea > 4 && levelApnea < 12) {
26         JOptionPane.showMessageDialog(null, "Apnéia leve");
27     }
28 }

```

### 3.3.2 Operacionalidade da implementação

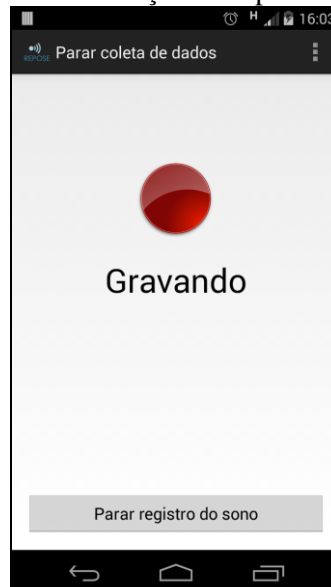
Ao executar o aplicativo cliente, a tela da Figura 20 é mostrada ao usuário. Nela o usuário cadastra o horário no qual o registro da noite de sono do usuário deve ser iniciado.

Figura 20 - Tela de registro da hora de início da coleta dos dados do sono



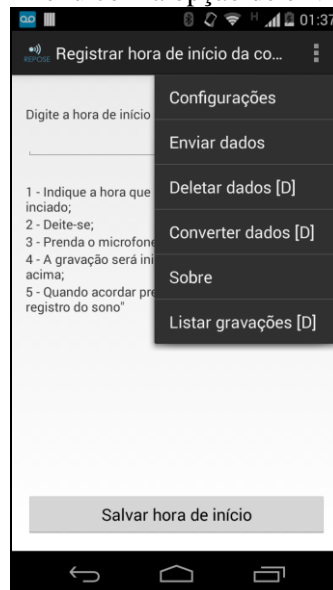
Na manhã seguinte, ao despertar, o usuário visualizará a tela exibida na Figura 21 e então ele pode encerrar o registro da noite de sono.

Figura 21 - Tela de finalização da captura de dados do sono



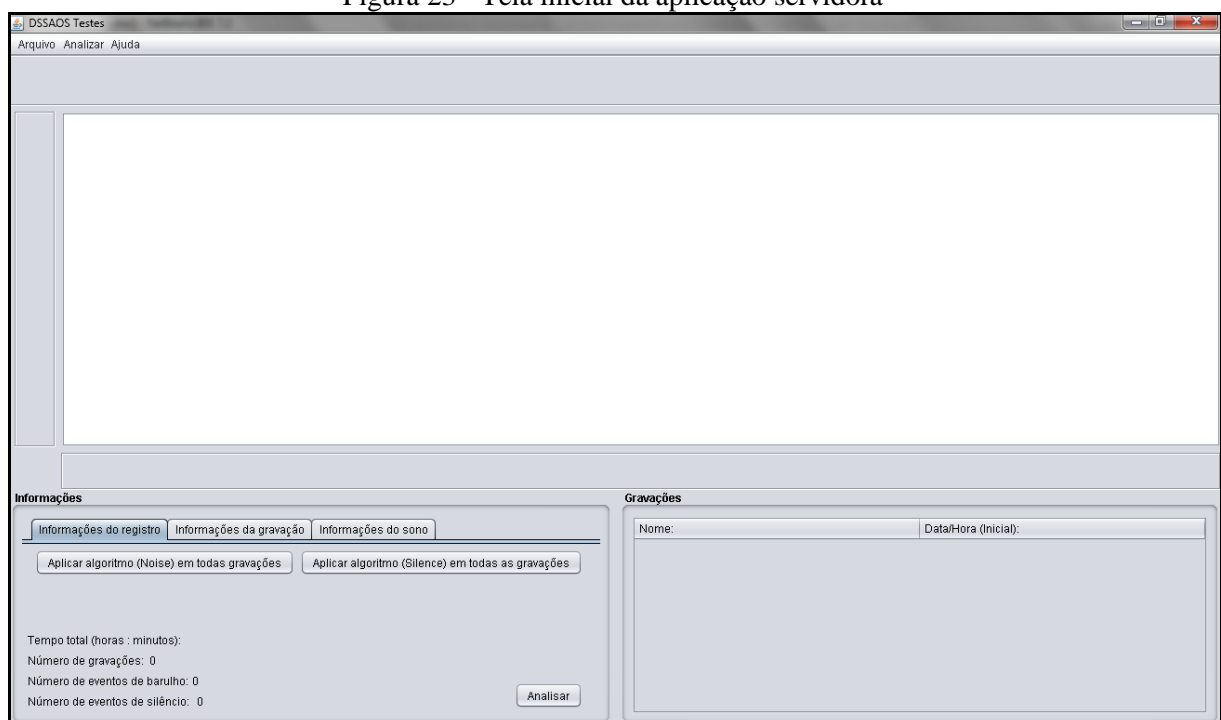
Após finalizar a gravação o usuário voltará para a tela de cadastro de horário de início da registro da noite de sono do usuário. Essa tela conta com um botão de menu posicionado no canto direito da barra de menus, conforme demonstrado pela Figura 22. Após clicar no botão de menu a opção enviar dados deve ser selecionada para que os dados sejam enviados para a aplicação servidora.

Figura 22 - Menu com a opção de envio dos dados



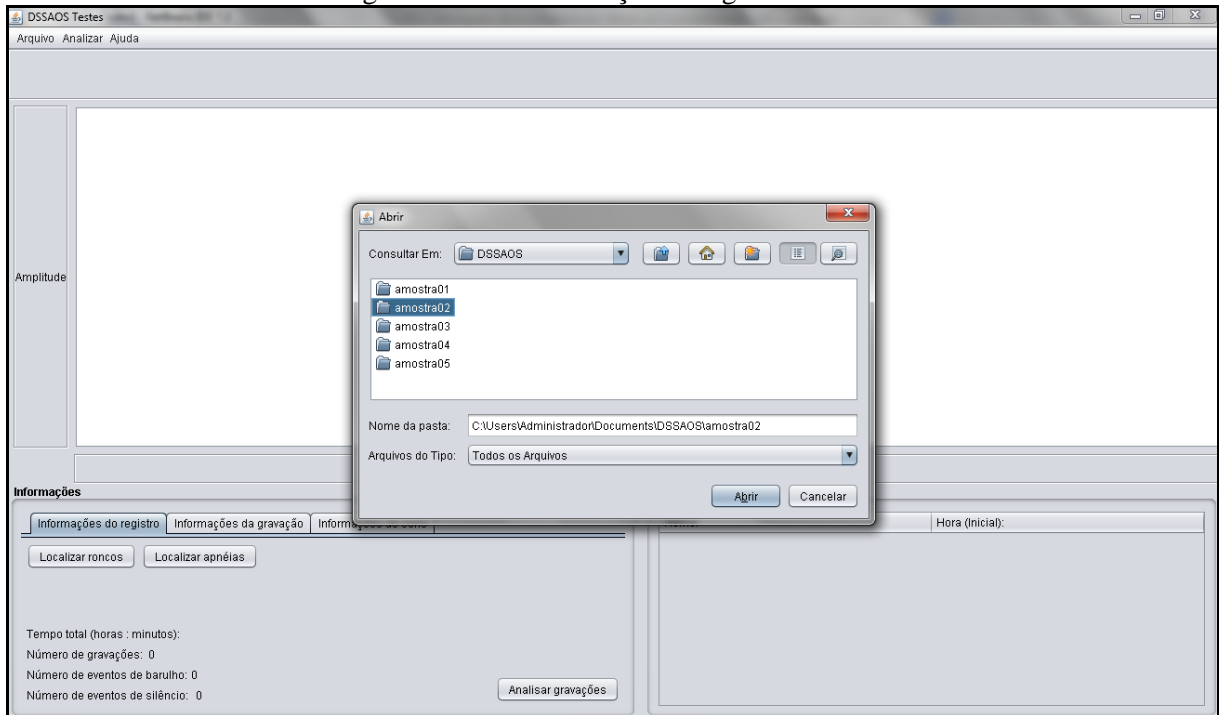
Ao executar a aplicação servidora, a tela da Figura 23 é apresentada ao usuário.

Figura 23 - Tela inicial da aplicação servidora



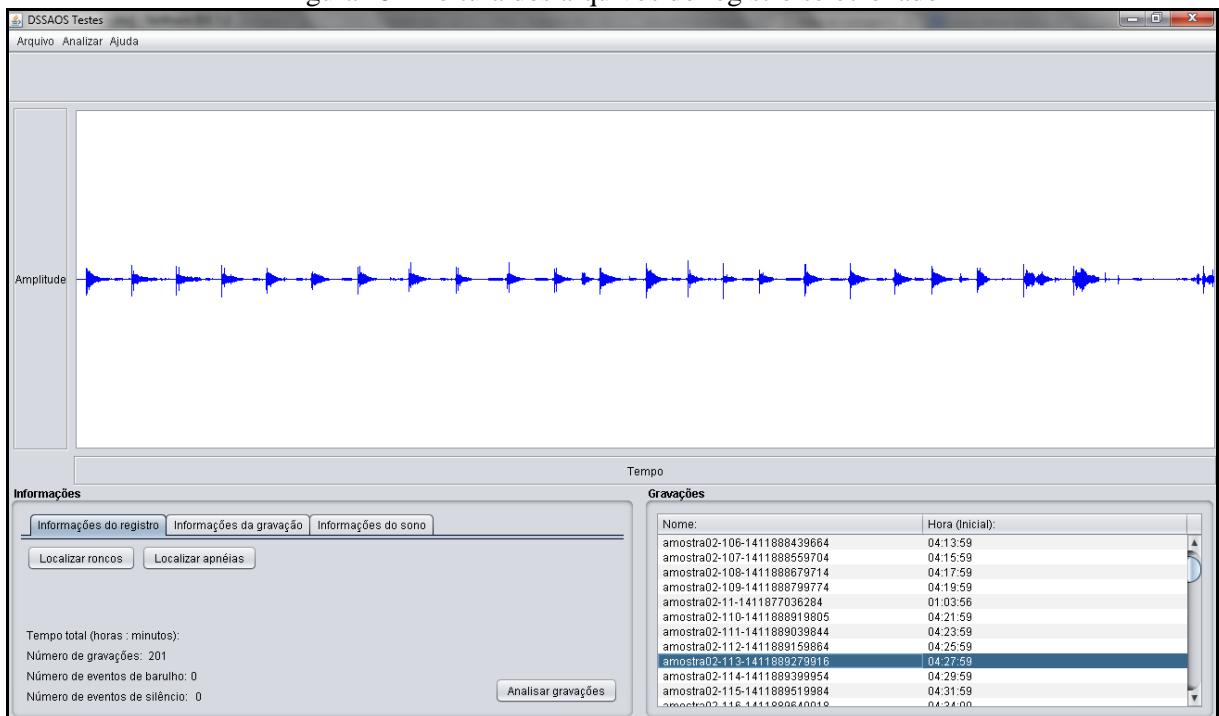
O próximo passo é a seleção de um registro na base de dados. Na base de dados estão contidas todas as amostras recebidas pela aplicação servidora. A Figura 24 apresenta a tela para seleção de um registro na base de dados.

Figura 24 - Tela de seleção de registro da base



Após a seleção de um registro na base de dados, é possível visualizar o espectro de todos os arquivos de áudio do registro selecionado conforme pode ser visto na Figura 25.

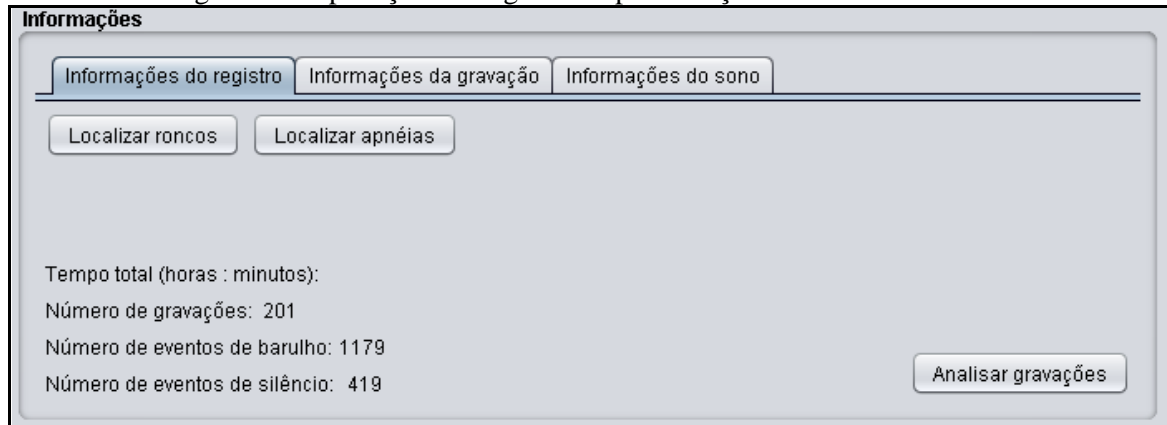
Figura 25 - Leitura dos arquivos do registro selecionado



A partir da seleção de um registro da base de dados, é possível aplicar os algoritmos para a seleção de áreas de interesse, além de realizar a análise dos dados. Para a seleção das áreas de interesse o usuário deve clicar sobre o botão Localizar roncros e Localizar

apneias. Após esta etapa o usuário pode clicar sobre o botão *Analisar gravações*, para que análise dos dados seja iniciada. A Figura 26 demonstra o resultado da aplicação dos algoritmos para seleção das áreas de interesse.

Figura 26 - Aplicação dos algoritmos para seleção de áreas de interesse



### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tendo em vista validar a implementação planejou-se utilizar uma base de dados de roncos. A princípio foi encontrada a MIT-BIH Polysomnographic Database (Physionet, 2012), porém, esta base não conta com gravações dos sons dos roncos. Em função disto, a utilização desta base de dados foi descartada e os testes foram realizados a partir de coletas realizadas com cinco pessoas de ambos os gêneros com idade na faixa etária de entre 40 a 60 anos as quais se dispuseram a participar do experimento. A decisão da seleção de pessoas nessa faixa etária deu-se em função de que é nessa faixa de idade que há uma maior incidência da síndrome. Das cinco amostras coletadas, apenas a amostra 01, já realizou um exame de polissonografia e tem um parecer clínico sobre a síndrome. É uma pessoa do sexo masculino e foi diagnosticado com apneia grave e hoje utiliza um *Continuous positive airway pressure* (CPAP<sup>1</sup>) para auxílio na sua respiração durante a noite de sono. A Tabela 1 apresenta a relação de amostras coletadas para composição da base de dados.

<sup>1</sup> O CPAP é um aparelho portátil que serve para evitar que as vias respiratórias se fechem durante o sono, impedindo que ocorra ronco e apneia do sono. Ele funciona como compressor silencioso que forma um coxim pneumático fazendo com que as vias aéreas superiores fiquem “infladas” durante o sono, permitindo a respiração adequada. O aparelho usa o próprio ar ambiente e o transfere para a máscara do paciente através de uma longa mangueira flexível, permitindo liberdade de se movimentar normalmente durante o sono. É ligado em tomada comum e não oferece qualquer risco na eventualidade de falta de energia elétrica, situação em que o paciente dorme como em uma noite quando ainda não usava o aparelho.

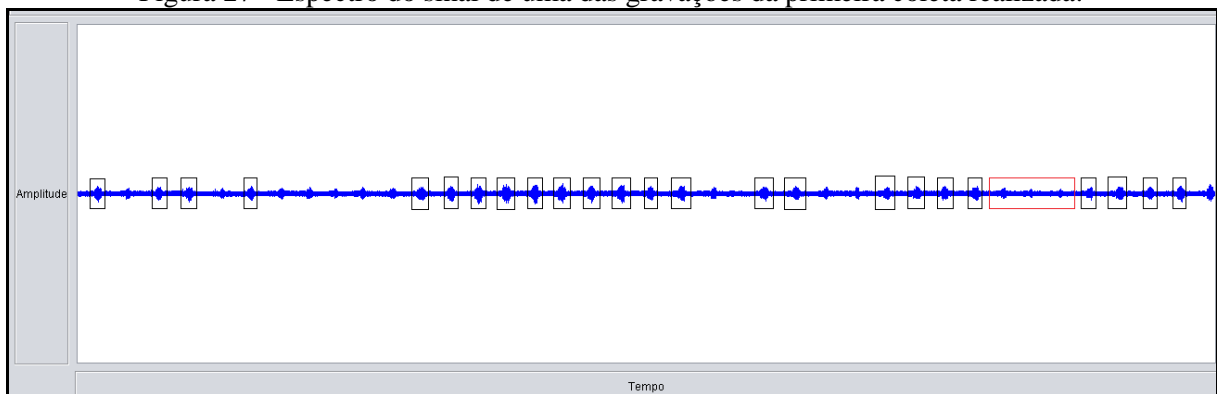


Tabela 1 - Amostras da base de dados criada

Número da amostra	Tempo de gravação (min)	Tamanho do registro (MB)	Diagnosticado	Grau da apneia
Amostra 01	352	1863	Sim	Grave
Amostra 02	402	2124	Não	-
Amostra 03	358	1895	Não	-
Amostra 04	108	572	Não	-
Amostra 05	474	2509	Não	-

Para a realização da coleta, foi disponibilizado o aplicativo para cada um dos cinco usuários e os mesmos receberam instruções de utilização do aplicativo. A coleta foi realizada em uma noite inteira do sono. Para poder participar da coleta os usuários não poderiam estar sob o efeito de álcool, pois isso influenciaria nos eventos de ronco do usuário. O resultado da primeira coleta não mostrou-se satisfatório, pois a diferença entre os valores de amplitude do sinal dos momentos de silêncio e dos momentos de ronco mostraram uma diferença muito pequena. Isso torna difícil definir um limiar com um desempenho satisfatório para os algoritmos da fase de seleção das áreas de interesse, conforme pode ser visto na Figura 27.

Figura 27 - Espectro do sinal de uma das gravações da primeira coleta realizada.



Em função disto, optou-se pelo uso de um microfone plugado no *smartphone* para melhorar a qualidade da captura. Assim, a partir da segunda coleta, o microfone foi preso a roupa do usuário, conforme pode ser visto na Figura 28.

Figura 28 - Utilização do microfone do *smartphone* para a captura dos dados do sono



A mudança na forma de captura mostrou um resultado satisfatório, pois a diferença entre os valores de amplitude do sinal sofreu um ganho significativo, conforme pode ser visto na Figura 29. Nela é apresentado o espectro do sinal de uma das gravações da primeira coleta realizada com o auxílio do microfone do *smartphone*.

Figura 29 - Espectro do sinal de uma das gravações



Foram realizados testes com todas as amostras coletadas. A Tabela 3 demonstra a relação do número de eventos de roncos e de eventos de apneia, bem como o IAH de cada uma das amostras da base de dados. Os testes realizados utilizaram os limiares mostrados na Tabela 2 para a seleção das áreas de interesse.

Tabela 2 - Limiares utilizados

Limiar	Seleção de eventos de ronco	Seleção de eventos de apneia
Valor máximo	1.0	0.003
Valor mínimo	0.05	0.0
Taxa de <i>resample</i>	1000	1000

As técnicas utilizadas na seleção de áreas de interesse mostraram-se parcialmente satisfatórias conforme os resultados apresentados na Tabela 3. A partir dos testes realizados, foi possível confirmar que a amostra 01 é portadora da síndrome. O mesmo resultado foi

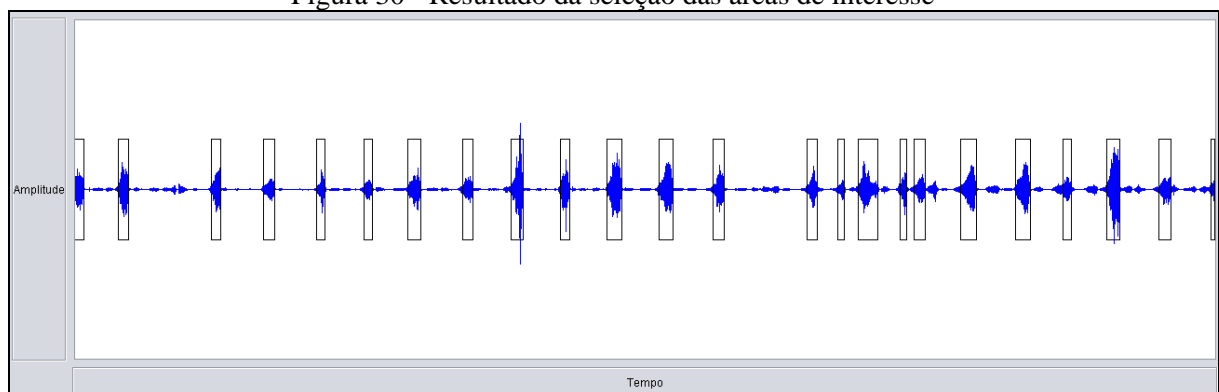
obtido na análise clínica realizada, porém, houve diferenciações entre o grau da apneia do usuário.

Tabela 3 - Resultado da análise realizada

Número da amostra	Número de eventos de ronco	Número de eventos de apneia	IAH	Indicativo
Amostra 01	1779	77	13.125/hora	apneia leve
Amostra 02	1159	21	3.134/hora	sem apneia
Amostra 03	999	41	6,871/hora	apneia leve
Amostra 04	1098	0	0/hora	sem apneia
Amostra 05	766	117	16.714/hora	apneia moderada

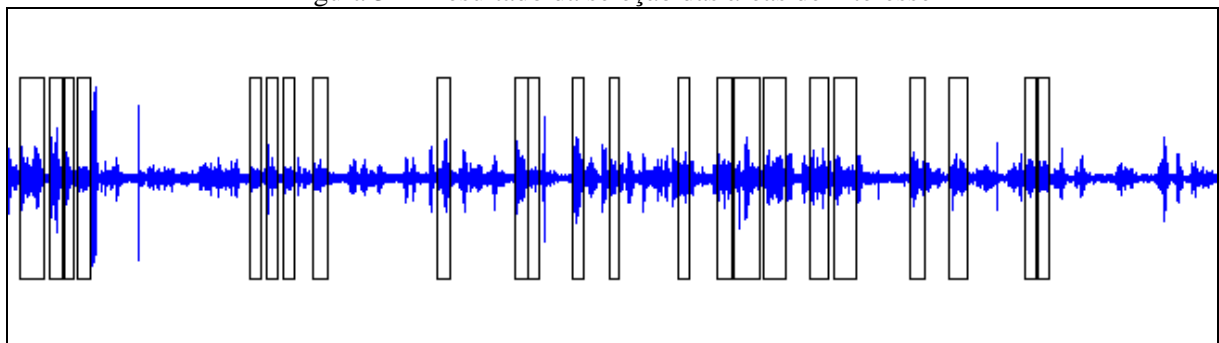
Os algoritmos para seleção de áreas de interesse conseguiram isolar os momentos de roncos e de silêncios conforme demonstrado na Figura 30, porém, os algoritmos apresentaram falhas em sinais ruidosos. A seleção dos eventos de ronco é prejudicada conforme pode ser visualizado na Figura 31, pois há a seleção de áreas onde não houve eventos de roncos, prejudicando o resultado final da análise.

Figura 30 - Resultado da seleção das áreas de interesse



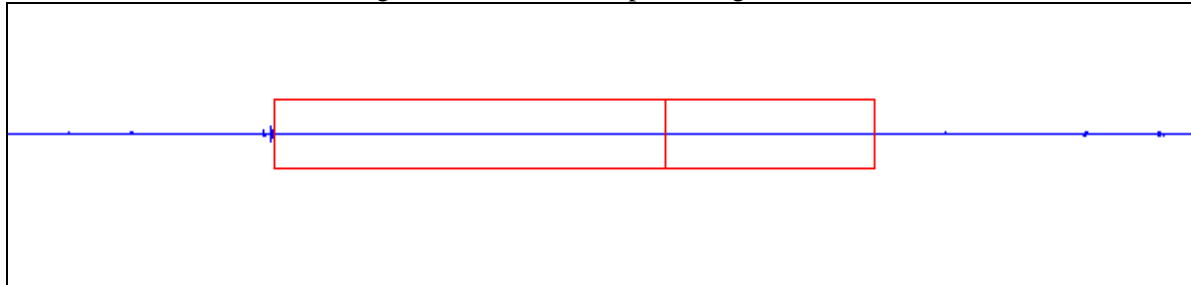
Essas falhas na seleção das áreas de interesse ocorrem por conta do limiar de taxa de *resample* utilizado nos algoritmos `findSounds` e também o limiar que define a duração mínima e máxima dos eventos de roncos.

Figura 31 - Resultado da seleção das áreas de interesse



O mesmo ocorre na seleção dos eventos de silêncio, porém, nesse momento, não há a seleção de áreas que não correspondem a eventos de silêncio, mas sim uma fragmentação dos mesmos, conforme demonstrado na Figura 32.

Figura 32 - Evento de apneia fragmentado



Objetivando avançar nos testes de validação do modelo, buscou-se um contato com o pneumologista, o qual se propôs a identificar pacientes com indicativo de exame de polissonografia e que se dispusessem a participar da pesquisa.

Foram realizadas coletas no dias 20 e 21 de novembro com pacientes com idades na faixa etária de 40 a 60 anos.

A partir do laudo (disponibilizado no Anexo A e Anexo B) dos exames realizados e comparando-se com os dados coletados, se obteve os resultados apresentados na Tabela 4. Os testes realizados utilizaram os mesmo limiares definidos para os testes anteriores.

Tabela 4 - Resultado comparativo

Número da amostra	Polissonografia				Este trabalho			
	Número de eventos de ronco	Número de eventos de apneia	IAH	Indicativo	Número de eventos de ronco	Número de eventos de apneia	IAH	Indicativo
Amostra 06	748	43	9.8/hora	apneia leve	387	693	76.59	Apneia grave

Como o resultado entre o comparativo entre a polissonografia e este trabalho obteve um resultado com grande diferença, novos testes foram realizados para as amostras 06 (utilizando os limiares exibidos pela Tabela 5) e para a amostra 07 (utilizando os limiares exibidos pela Tabela 6).

Tabela 5 - Limiares utilizados para a amostra 06

Limiar	Seleção de eventos de ronco	Seleção de eventos de apneia
Valor máximo	1.0	0.003
Valor mínimo	0.05	0.0
Taxa de <i>resample</i>	1000	1000

Tabela 6 - Limiares utilizados para a amostra 07

Limiar	Seleção de eventos de ronco	Seleção de eventos de apneia
Valor máximo	1.0	0.003
Valor mínimo	0.05	0.0
Taxa de <i>resample</i>	1000	1000

A partir dos novos testes realizados com o ajuste nos limiares foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 7.

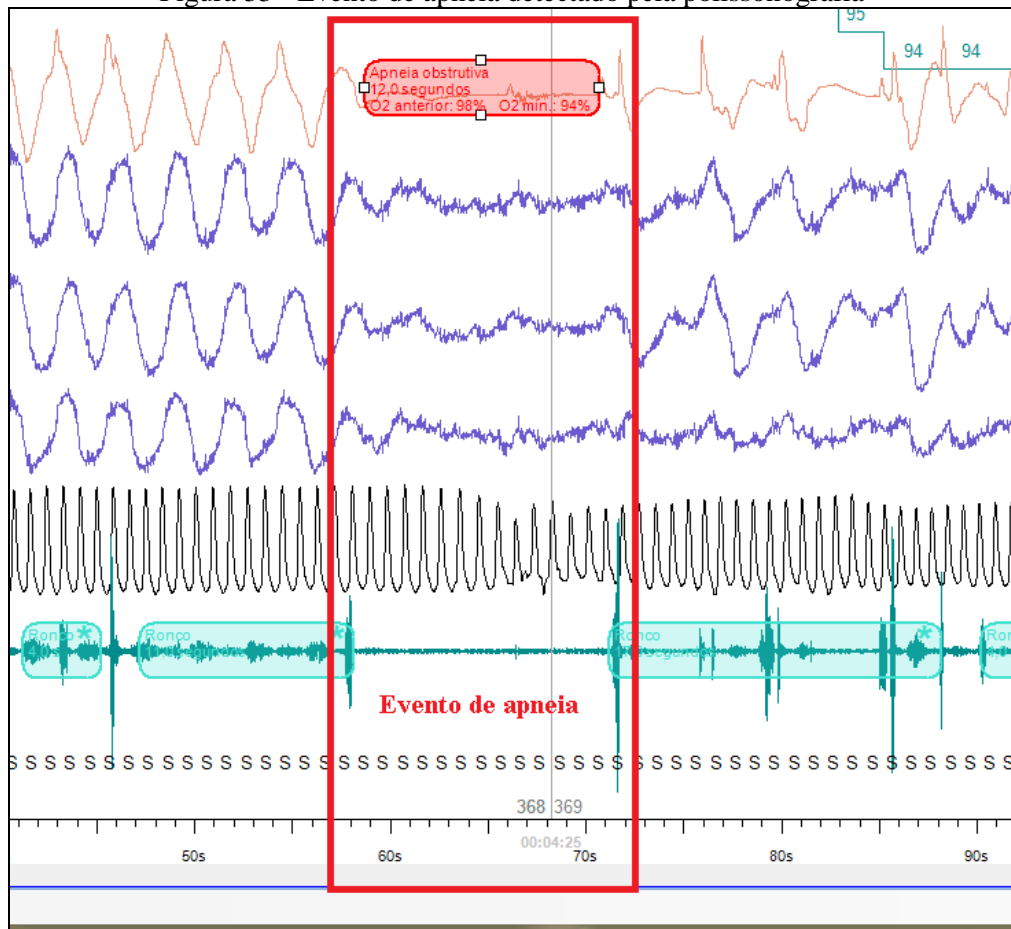
Tabela 7 - Resultado comparativo com ajuste nos limiares

Amostra	Características	Polissonografia	Este trabalho
Amostra 06	Número de eventos de ronco	748	511
	Número de eventos de apneia	43	74
	IAH	9.8/hora	13.06/hora
	Indicativo	apneia leve	apneia leve
Amostra 07	Número de eventos de ronco	1661	1531
	Número de eventos de apneia	85	89
	IAH	9.9/hora	11.45/hora
	Indicativo	apneia leve	apneia leve

Visando comprovar a precisão da análise foram selecionados alguns gráficos disponibilizados pela polissonografia realizada pela amostra 07 e comparados com os gráficos gerados pela análise realizada por este trabalho.

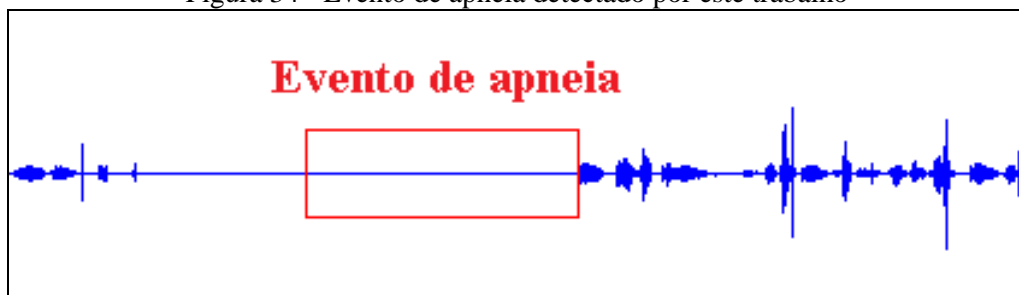
A partir da Figura 33 é possível observar que a polissonografia detectou um evento de apneia com duração de 12 segundos com início as 00:04:15 horas e termino as 00:04:27 horas.

Figura 33 - Evento de apneia detectado pela polissonografia



A análise realizada por este trabalho também apontou a presença de um evento de apneia no mesmo momento indicado pela polissonografia, conforme demonstrado na Figura 34.

Figura 34 - Evento de apneia detectado por este trabalho



Conforme se pode observar na Tabela 7, os algoritmos adotados chegaram próximos aos valores obtidos pelo equipamento profissional, o que pode confirmar que o modelo construído é válido.

Naturalmente, o equipamento profissional trabalha com um conjunto de informações complementares as quais permitem eliminar situações de ruídos e falsos positivos. De qualquer modo, os resultados obtidos foram satisfatórios e indicam uma possibilidade real de continuidade da pesquisa.

## 4 CONCLUSÕES

Este trabalho propôs o desenvolvimento de um aplicativo para detecção de sintomas da síndrome da apneia obstrutiva do sono, a partir de uma estrutura cliente/servidor, onde o cliente é responsável por realizar a coleta dos dados e o servidor responsável por exibir os dados ao usuário e analisar os mesmos.

O aplicativo foi construído sobre a plataforma Android e a aplicação servidora foi construída sobre o sistema operacional Windows, ambos utilizando a linguagem Java.

Para a seleção das áreas de interesse foi utilizado um algoritmo de localização de picos, juntamente com a transformada de Fourier para análise dos dados coletados. As métricas de avaliação foram baseadas na polissonografia e nas definições da própria síndrome, identificadas a partir do levantamento bibliográfico.

Os resultados obtidos na fase de seleção de áreas de interesse podem ser considerados aceitáveis, porém os resultados ficam comprometidos em situações com sinais muito ruidosos. A hipótese levantada é que a introdução de outras métricas de avaliação como o movimento corpóreo ou também o nível de oxigenação sanguíneo podem contribuir para uma análise mais detalhada e mais precisa do estado do usuário em relação à síndrome.

Apesar dos algoritmos isolarem as áreas de interesse, ainda seria necessário uma análise da acústica dos eventos de ronco para realmente se afirmar que foram eventos de roncos, pois os algoritmos utilizados não fornecem essa precisão.

Ainda que os resultados obtidos não tenham apresentado isolamento a ruídos, considera-se que o aprofundamento da pesquisa utilizando técnicas de visão computacional para identificar movimentos corpóreos e a adoção de outros aparatos de hardware como o acelerômetro e o oxímetro podem produzir uma solução de baixo custo que venha permitir a identificação da síndrome da apneia obstrutiva do sono.

Por fim, este trabalho apresentou funcionalidades que podem servir como base para futuros trabalhos em áreas como visão computacional, processamento de sinais e detecção de sintomas de apneia.

### 4.1 EXTENSÕES

Como sugestão de extensão para o aplicativo, propõe-se:

- a) melhoria na exibição das informações ao usuário;
- b) análise dos estágios do sono;
- c) implementação de mais métricas de avaliação a partir das definições da síndrome;
- d) desenvolvimento de algoritmos para análise da acústica dos roncos;

- e) experimentos verificando a eficiência da aplicação a partir de limiares adaptativos.



## REFERÊNCIAS

- ALQASSIM , Shamma et al. Sleep apnea monitoring using mobile phones. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON E-HEALTH NETWORKING, APPLICATIONS AND SERVICES (HEALTHCOM), 14., 2012, Beijing. **Proceedings...** Beijing: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2012. p. 443-446.
- AMERICAN ACADEMY OF SLEEP MEDICINE. **The international classification of sleep disorders: diagnostic and coding manual.** Chicago, Illinois: American academy of sleep medicine, 2005.
- AMERICAN SLEEP DISORDERS ASSOCIATION. Practice parameters for the use of portable recording in the assessment of obstructive sleep apnea. **Sleep**, Rochester, v. 17, n. 4, p. 372-377, 1994.
- BITTENCOURT Lia, R, A. **Diagnóstico e tratamento da síndrome da apneia obstrutiva do sono: guia prático.** São Paulo: Livraria médica paulista; 2008.
- BOMFIM, Marco A. G. **ABC da saúde: a importância do sono e as principais interferências.** 2010. Disponível em: <<http://www.abcdasaude.com.br/artigo.php?3047>>. Acesso em: 20 out. 2013.
- CHESSON, Jr. Andrew L. et al. Practice parameters for the use of portable monitoring devices in the investigation of suspected obstructive sleep apnea in adults. **Sleep**, v. 26, n. 7, p. 907-913, 2003.
- CRESSPAHL**, simple algorithm for 2d peak finding. [S,l], 2012. Disponível em: <<http://cresspahl.blogspot.com.br/2012/03/simple-algorithm-for-2d-peakfinding.html>>. Acesso em: 14/12/2014.
- GREENSTED, Andrew. **The lab book pages: Java wave file IO.** 2010, Disponível em: <<http://www.labbookpages.co.uk/audio/javaWavFiles.html>>. Acesso em: 20 out. 2013.
- INSTITUTO DO SONO. **Polissonografia (adultos e crianças).** [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://www.sono.org.br/paciente/exames.php>>. Acesso em: 12 set. 2013.
- JANÉ, Raimon et al. Snoring analysis for the screening of sleep apnea hypopnea syndrome with a single-channel device developed using polysomnographic and snoring databases. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE EMBS, 33., 2011, Boston. **Proceedings...** Boston: [s.n], 2011. p. 8331-8333.
- KOBUSZEWSKI, André. **Protótipo de software para ocultar textos compactados em arquivos de áudio utilizando esteganografia.** 2004. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

- LOPES, C. et al. Relationship between the quality of life and the severity of obstructive sleep apnea syndrome. **Brazilian journal of medical and biological research**, vol. 41, n. 10, p. 908-913, set. 2008.
- LYONS, Richard G. **Understanding digital signal processing**. 3rd ed. United States of America: Prentice Hall, 2012.
- MITSUYA, Márcia M. F. et al. **Síndrome da apneia obstrutiva do sono: Uma revisão bibliográfica sobre conceitos, sintomatologia, tratamento e qualidade de vida**. São Paulo, 2009.
- OLIVER, Nuria; FLORES-MANGAS Fernando. HealthGear: automatic sleep apnea detection and monitoring with a mobile phone. **Journal of communications**, v, 2, n. 2, p.1-9, mar. 2007.
- PALSHIKAR, Girish Keshav. **Simple algorithms for peak detection in time-series**. India, p. 1, 2009.
- PEREZ-PADILLA, J. R. et al. Characteristics of the snoring noise in patients with and without occlusive sleep apnea. **The american review of respiratory disease**, v. 147, n. 3, p. 635-644, mar. 1993.
- PEVERNAGIE, Dirk. AART, Ronald M. DE MEYER, Micheline. The acoustics of snoring. **Sleep Medicine Reviews**, n. 14, p.131-144, 2010.
- PHYSIONET. **MIT-BIH arrhythmia database**, [S.l.], [2012?]. Disponível em <<http://physionet.org/physiobank/database/mitdb/>>. Acesso em: 12 out. 2014.
- SCHOLKMANN, Felix. BOSS, Jens. WOLF, Martin. An efficient algorithm for automatic peak detection in noisy periodic and quasi-periodic signals. **Algorithms**, v. 5, p. 588-603, 2012.
- SCHÜTZ, Cristiano A. **Sistema de esteganografia em áudio digital que utiliza técnicas eficientes de inserção de dados**. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <[http://tede.pucrs.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=2132](http://tede.pucrs.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2132)>. Acesso em: 14 set. 2013.
- SEDGEWICK, Robert; WAYNE, Kevin. **Introduction to programming in java an interdisciplinary approach**. Princeton University, 2011. Disponível em: <<http://introcs.cs.princeton.edu/java/97data/>>. Acesso em: 20 out. 2014.
- SMITH, StevenW. **The scientist and engineer's guide to digital signal processing**. 2nd ed. California: Technical Publishing San Diego, 1999.
- TAMESAWA, Carolina S. **Apneia do sono**. São Paulo, 2012. Disponível em: < [http://pt-br.infomedica.wikia.com/wiki/Apneia\\_do\\_sono](http://pt-br.infomedica.wikia.com/wiki/Apneia_do_sono) >. Acesso em: 15 set. 2013.

TOGEIRO, Sônia. M. G. P.; MARTINS, A. B.; TUFIK, S. Síndrome da apneia obstrutiva do sono: abordagem clínica. **Revista brasileira de hipertensão**. São Paulo, v. 12, n. 3, p. 196-199, jul. 2005.

TOGEIRO, Sônia M. G. P.; SMITH, Anna K. Métodos diagnósticos nos distúrbios do sono. **Revista brasileira de psiquiatria**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 8-15, maio 2005.

TUFANO, Douglas. **Dicionário prático da língua portuguesa**. São Paulo: Melhoramentos, 2008.

TUFIK, Sergio et al. Obstructive sleep apnea syndrome in the Sao Paulo epidemiologic sleep study. **Sleep Medicine Reviews**, São Paulo, n. 11, p.441-446, 2010.

VEGTE, Joyce V. de. **Fundamentals of digital signal processing**. United States of America: Prentice Hall, 2001.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global surveillance, prevention and control of chronic respiratory diseases**: a comprehensive approach chronic respiratory diseases. Lisboa, 2008.

## ANEXO A – Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 06

Laudo disponibilizado pela polissonografia realizada na amostra 06.

Figura 35 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 06

<b>Polissonografia de Noite Inteira</b>		
<b>Identificação</b>		
Idade: 60 anos	Sexo: M	
Peso: 90.0 kg	Estatura: 168.0 cm	IMC: 31.9 kg/m <sup>2</sup>
Exame indicado por: DPOC grave / suspeita clínica de SAOS		
Medicamentos em uso com influência no sono: hemitartrato de zolpidem 10 mg		
<b>Análise resultados</b>		
<p>O exame foi iniciado as 23:00:31 e finalizado as 05:19:43. O tempo total de registro foi de 379.2 minutos. A latência para início do sono foi de 18.9 minutos e latência para o sono REM foi de 175.5 minutos. O tempo total de sono (TSS) foi de 264.5 minutos, com eficiência do sono de 69.8%. A distribuição dos estágios do sono mostrou 7.9% de estágio N1, 56.1% de estágio N2, 21.7% de estágio N3 e 14.2% de sono REM. O tempo acordado após adormecer foi de 95.8 minutos.</p> <p>Ocorreram 93 despertares, sendo o índice de 15.6 /hora.</p> <p>O índice de movimentos periódicos de membros inferiores foi de 60.7/hora, sendo 1 (n<sup>o</sup>/h) associados a despertares.</p> <p>O número total de eventos respiratórios foi de 43, sendo 1 apneias obstrutivas, 1 apneias centrais, 0 apneias mistas e 41 hipopneias.</p> <p>O índice de apneias/hipopneias (IAH) foi de 9.8/hora, sendo 0.5 apneia/hora e 9.3 hipopneia/hora.</p> <p>A saturação basal da oxi-hemoglobina (SpO<sub>2</sub>) foi de 88, a média foi de 88% e mínima de 80%. Permaneceu 89.0% do tempo total de sono com SpO<sub>2</sub> abaixo de 90%.</p> <p>A frequência cardíaca média foi de 96.1 bpm. Ritmo sinusal com registro muito frequente de extrasístoles ventriculares monomórficas isoladas ou pareadas (episódios de quadrigeminismo).</p> <p>Não houve respiração de Cheyne-Stokes durante o registro.</p>		
<b>Conclusão</b>		
<p>Polissonografia de noite inteira evidenciando:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Índice apnéia-hipopnéia discretamente elevado (9.8 eventos por hora), à custa de apnéias e hipopnéias obstrutivas;</li> <li>2. Evidenciado, não associado aos eventos respiratórios, dessaturação da oxihemoglobina;             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Obs: SpO<sub>2</sub> média de 88%, sendo que permaneceu 89% do tempo total de sono com SpO<sub>2</sub> abaixo de 90%;</li> </ol> </li> <li>3. Registro de ronco intermitente;</li> <li>4. Eficiência do sono reduzida devido ao tempo passado acordado após o adormecer;</li> <li>5. Distribuição dos estágios do sono mostra redução do sono REM;</li> <li>6. Latência normal para início do sono. Aumento da latência para o sono REM;</li> <li>7. Número de despertares dentro da normalidade;</li> <li>8. Ausência de movimentos periódicos de membros inferiores durante o sono.</li> </ol>		
Página 1 de 6		

Figura 36 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 06

### Aquisição do exame

Exame polissonográfico noturno registrado no Sistema Alice pDX®, utilizando os registros de: EEG (C4M1, O1M2); EOG bilateral; EMG mentoniano/submentoniano; EMG tibial bilateral; ECG (montagem D2 modificada); fluxo aéreo nasal por cânula de pressão e oral por termistor; esforço respiratório torácico e abdominal por pletismografia de indutância não calibrada; saturação da oxihemoglobina (SpO<sub>2</sub>) por oximetria de pulso; sensor de ronco; sensor de posição corporal.

Parâmetros de registro e análise recomendados pela Academia Americana de Medicina do Sono (v 2.1 – 2014).

### Arquitetura do sono

Hora do boa noite	23:00:31	Hora do bom dia	05:19:43
Tempo total de registro (TTR)	379.2 minutos	Tempo total de sono (TTS)	264.5 minutos
Eficiência do sono	69.8 %	Tempo acordado após início sono	95.8 minutos
Latência do sono (N1)	18.9 minutos	Latência de REM (após início sono)	175.5 minutos

Fases do sono	Duração	% (TTS)
– N1	21.0 minutos	7.9 %
– N2	148.5 minutos	56.1 %
– N3	57.5 minutos	21.7 %
– REM	37.5 minutos	14.2 %

### Despertares

	REM	NREM	Total
Relacionado a eventos respiratórios	1	26	27
Relacionado a movimento de pernas	0	0	0
Relacionado a ronco	5	25	30
Espontâneo	2	32	36
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>83</b>	<b>93</b>
Índice (nº/h)	12.8	21.9	15.6

### Movimentos dos membros

	Número	Índice (Nº/h de sono)
Total	389	65.4
Não periódicos	28	4.7
<b>Periódicos</b>	<b>361</b>	<b>60.7</b>
Periódicos com despertar	1	0.2

### Resumo cardíaco

Média de frequência cardíaca durante o sono	96.1 bpm
Frequência cardíaca mais elevada durante o sono	111 bpm
Frequência cardíaca mais elevada durante a gravação	135 bpm

Figura 37 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 06

**Eventos Respiratórios**

	AC	AO	AM	Apneia	Hipopnéia	A + H
Número	1	1	0	2	41	43
Duração média (seg)	16.0	13.0	0.0	14.5	20.0	19.8
Duração máxima (seg)	16.0	13.0	0.0	16.0	36.0	36.0
Duração total (min)	0.3	0.2	0.0	0.5	13.7	14.2
% de TTS com eventos	0.1	0.1	0.0	0.2	5.2	5.4
<b>Índice (Nº/hora de sono)</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.0</b>	<b>0.5</b>	<b>9.3</b>	<b>9.8</b>
Índice em REM	1.6	0.0	0.0	1.6	9.6	11.2
Índice em NREM	0.0	0.3	0.0	0.3	9.3	9.5

\* Hipopneia conforme definição do manual da AASM (3% dessaturação e/ou despertar).

**Eventos Respiratórios e Decúbito**

	Duração (min.)	Sono (%)	REM (%)	NREM (%)	AC (Nº)	AO (Nº)	AM (Nº)	HIP (Nº)	IAH (Nº/h)	Dessat. (Nº)
Supino	17.5	68.6	0.0	68.6	0	0	0	0	0.0	0
Prono										
Direita	180.3	94.6	15.0	79.6	0	1	0	29	10.0	5
Esquerda	77.3	91.8	13.6	78.3	1	0	0	8	7.0	3

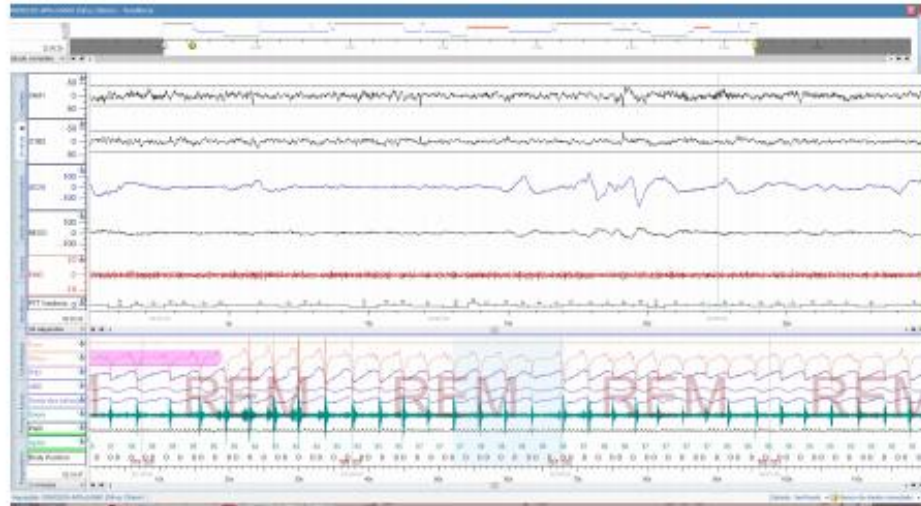
**Saturação de oxigênio**

	VIGÍLIA		NREM		REM		TTR	
Número de dessaturações	3		1		7		11	
SaO <sub>2</sub> média	88		88		87		88	
SaO <sub>2</sub> mínima	-		-		-		<b>80</b>	
	VIGÍLIA		NREM		REM		TTR	
	Minutos	%TTR	Minutos	%TTR	Minutos	%TTR	Minutos	%TTR
<95%	107.5	28.3	226.3	59.7	37.5	9.9	371.3	97.9
<90%	91.0	24.0	209.7	55.3	36.7	9.7	<b>337.4</b>	<b>89.0</b>
<85%	7.7	2.0	0.6	0.2	2.0	0.5	10.3	2.7
<80%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<75%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<70%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

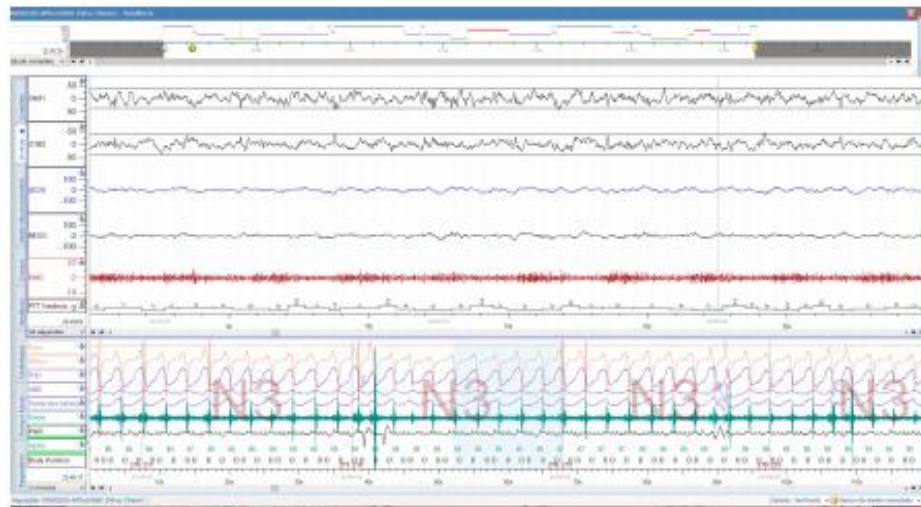
**Ronco**

Número total de episódios de ronco	: 748
Duração media episódios de ronco	: 10.5 segundos
Duração total episódios de ronco	: 130.8 minutos (36.6 % do TTS)

Figura 38 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 06

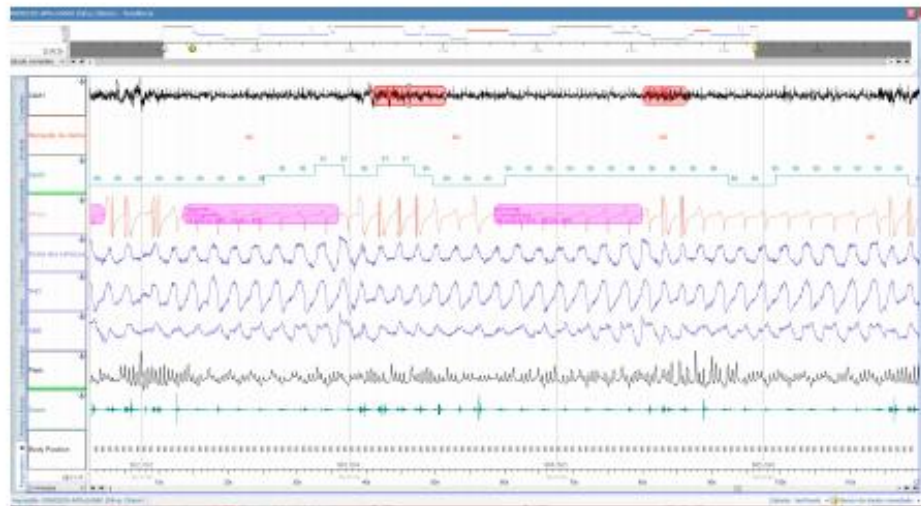


Registro de sono REM

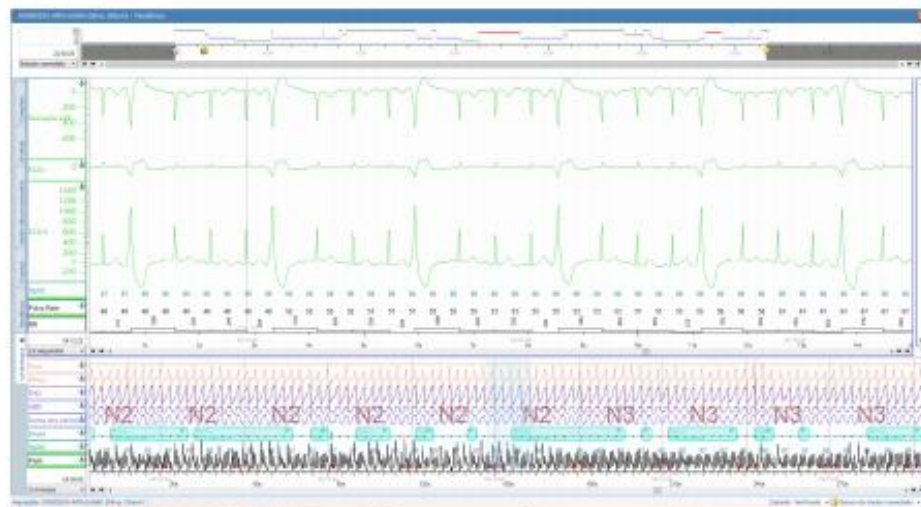


Registro de sono de ondas lentas (N3)

Figura 39 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 06



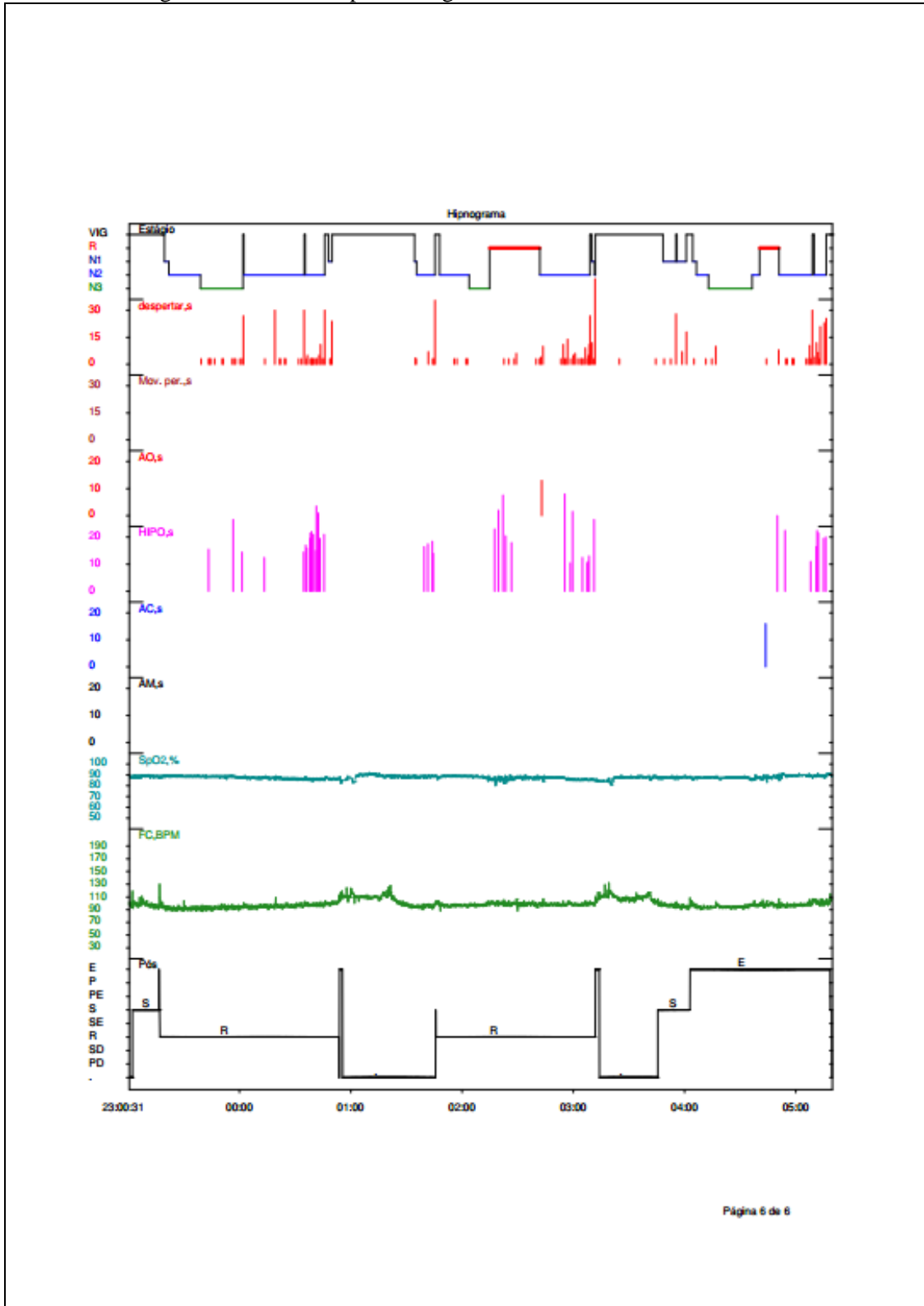
Registro de hipopnéias obstrutiva



Registro ECG – Extra-sístoles ventriculares monomórficas quadrigeminadas



Figura 40 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 06



## ANEXO B – Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 07

Laudo disponibilizado pela polissonografia realizada na amostra 07.

Figura 41 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 07

<b>Polissonografia de Noite Inteira</b>		
<b>Identificação</b>		
Idade: 66 anos	Sexo: M	Médico: xxx
Peso: 71.0 kg	Estatura: 175.0 cm	IMC: 23.2 kg/m <sup>2</sup>
Exame indicado por: Síndrome das pernas inquietas, hipersonolência diurna		
Medicamentos em uso com influência no sono: paroxetina		
<b>Análise resultados</b>		
<p>O exame foi iniciado as 21:24:31 e finalizado as 06:24:55. O tempo total de registro foi de 540.4 minutos. A latência para início do sono foi de 12.9 minutos e latência para o sono REM foi de 127.0 minutos. O tempo total de sono (TSS) foi de 514.5 minutos, com eficiência do sono de 95.2%. A distribuição dos estágios do sono mostrou 2.6% de estágio N1, 47.7% de estágio N2, 18.6% de estágio N3 e 31.1% de sono REM. O tempo acordado após adormecer foi de 13.0 minutos.</p> <p>Ocorreram 178 despertares, sendo o índice de 20.3 /hora.</p> <p>O índice de movimentos periódicos de membros inferiores foi de 51.7/hora, sendo 22 (n<sup>o</sup>/h) associados a despertares.</p> <p>O número total de eventos respiratórios foi de 85, sendo 28 apneias obstrutivas, 0 apneias centrais, 0 apneias mistas e 57 hipopneias.</p> <p>O índice de apneias/hipopneias (IAH) foi de 9.9/hora, sendo 3.3 apneia/hora e 6.6 hipopneia/hora.</p> <p>A saturação basal da oxi-hemoglobina (SpO<sub>2</sub>) foi de 96, a média foi de 97% e mínima de 91%. Permaneceu 0.0% do tempo total de sono com SpO<sub>2</sub> abaixo de 90%.</p> <p>A frequência cardíaca média foi de 65.1 bpm. Ritmo sinusal com eventual registro de extra-sístoles supraventriculares.</p> <p>Não houve respiração de Cheyne-Stokes durante o registro.</p>		
<b>Conclusão</b>		
<p>Polissonografia de noite inteira evidenciando:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Índice apnéia-hipopnéia discretamente elevado (9.9 eventos por hora), à custa de apnéias e hipopnéias obstrutivas;             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Obs: predomínio dos eventos respiratórios durante o sono REM (IAH REM 16.9 x IAH 6.8 NREM);</li> </ol> </li> <li>2. Não foi evidenciado dessaturação significativa da oxihemoglobina;</li> <li>3. Registro de ronco intermitente, muito frequente durante o estudo;</li> <li>4. Eficiência do sono normal;</li> <li>5. Distribuição dos estágios do sono normal;</li> <li>6. Latência normal para início do sono. Discreto aumento da latência para o sono REM;</li> <li>7. Aumento do número de despertares;</li> <li>8. Presença de movimentos periódicos de membros inferiores durante o sono.</li> </ol>		
Página 1 de 6		

Figura 42 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 07

### Aquisição do exame

Exame polissonográfico noturno registrado no Sistema Alice pDX®, utilizando os registros de: EEG (C4M1, O1M2); EOG bilateral; EMG mentoniano/submentoniano; EMG tibial bilateral; ECG (montagem D2 modificada); fluxo aéreo nasal por cânula de pressão e oral por termistor; esforço respiratório torácico e abdominal por pletismografia de indutância não calibrada; saturação da oxihemoglobina (SpO<sub>2</sub>) por oximetria de pulso; sensor de ronco; sensor de posição corporal.

Parâmetros de registro e análise recomendados pela Academia Americana de Medicina do Sono (v 2.1 – 2014).

### Arquitetura do sono

Hora do boa noite	21:24:31	Hora do bom dia	06:24:55
Tempo total de registro (TTR)	540.4 minutos	Tempo total de sono (TTS)	514.5 minutos
Eficiência do sono	95.2 %	Tempo acordado após início sono	13.0 minutos
Latência do sono (N1)	12.9 minutos	Latência de REM (após início sono)	127.0 minutos

Fases do sono	Duração	% (TTS)
- N1	13.5 minutos	2.6 %
- N2	245.5 minutos	47.7 %
- N3	95.5 minutos	18.6 %
- REM	160.0 minutos	31.1 %

### Despertares

	REM	NREM	Total
Relacionado a eventos respiratórios	21	19	40
Relacionado a movimento de pernas	0	22	22
Relacionado a ronco	22	33	57
Espontâneo	39	18	59
<b>Total</b>	<b>82</b>	<b>92</b>	<b>178</b>
<b>Índice (n°/h)</b>	<b>30.8</b>	<b>15.6</b>	<b>20.3</b>

### Movimentos dos membros

	Número	Índice (N°/h de sono)
Total	454	51.7
Não periódicos		
Periódicos	454	51.7
Periódicos com despertar	22	2.5

### Resumo cardíaco

Média de frequência cardíaca durante o sono	65.1 bpm
Frequência cardíaca mais elevada durante o sono	92 bpm
Frequência cardíaca mais elevada durante a gravação	99 bpm

Figura 43 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 07

**Eventos Respiratórios**

	AC	AO	AM	Apneia	Hipopnéia	A + H
Número	0	28	0	28	57	85
Duração média (seg)	0.0	15.6	0.0	15.6	18.4	17.5
Duração máxima (seg)	0.0	26.5	0.0	26.5	40.0	40.0
Duração total (min)	0.0	7.3	0.0	7.3	17.5	24.8
% de TTS com eventos	0.0	1.4	0.0	1.4	3.4	4.8
<b>Índice (Nº/hora de sono)</b>	0.0	3.3	0.0	3.3	6.6	<b>9.9</b>
Índice em REM	0.0	5.6	0.0	5.6	11.3	16.9
Índice em NREM	0.0	2.2	0.0	2.2	4.6	6.8

\* Hipopneia conforme definição do manual da AASM (3% dessaturação e/ou despertar).

**Eventos Respiratórios e Decúbito**

	Duração (min.)	Sono (%)	REM (%)	NREM (%)	AC (Nº)	AO (Nº)	AM (Nº)	HIP (Nº)	IAH (Nº/h)	Dessat. (Nº)
Supino	273.3	98.9	25.9	73.0	0	26	0	42	14.9	12
Prono										
Direita	233.9	97.1	35.1	61.9	0	2	0	10	3.1	0
Esquerda	19.8	86.9	35.4	51.5	0	0	0	5	15.2	1

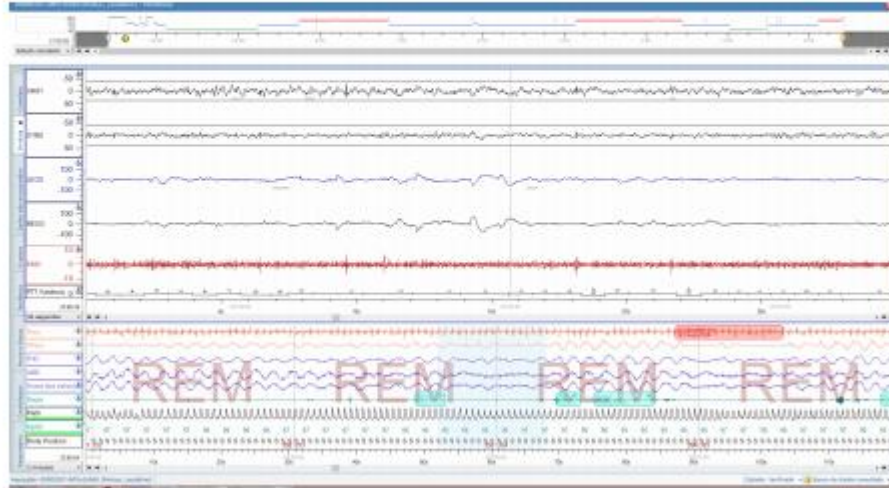
**Saturação de oxigênio**

	VIGÍLIA		NREM		REM		TTR	
Número de dessaturações	0		5		8		13	
SaO <sub>2</sub> média	96		97		97		97	
SaO <sub>2</sub> mínima	-		-		-		<b>91</b>	
	VIGÍLIA		NREM		REM		TTR	
	Minutos	%TTR	Minutos	%TTR	Minutos	%TTR	Minutos	%TTR
<95%	2.0	0.4	9.6	1.8	7.2	1.3	18.8	3.5
<90%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<85%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<80%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<75%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<70%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

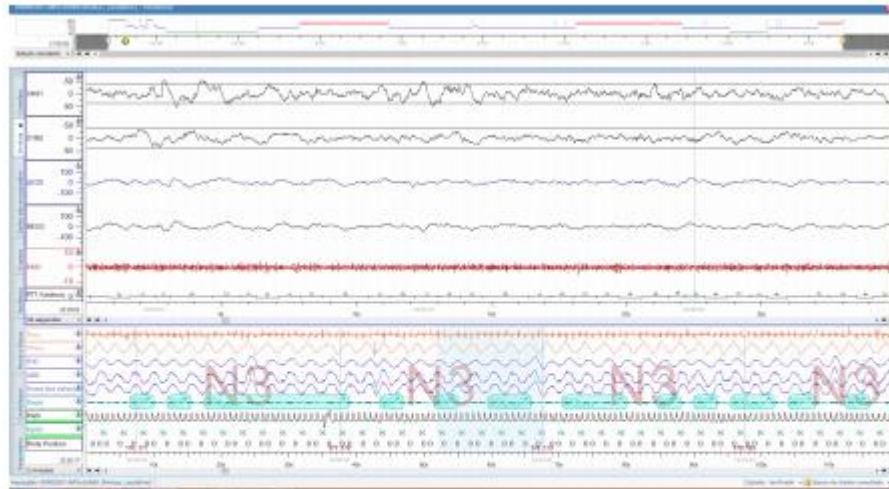
**Ronco**

Número total de episódios de ronco	: 1661
Duração média episódios de ronco	: 8.8 segundos
Duração total episódios de ronco	: 242.9 minutos (46.1 % do TTS)

Figura 44 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 07

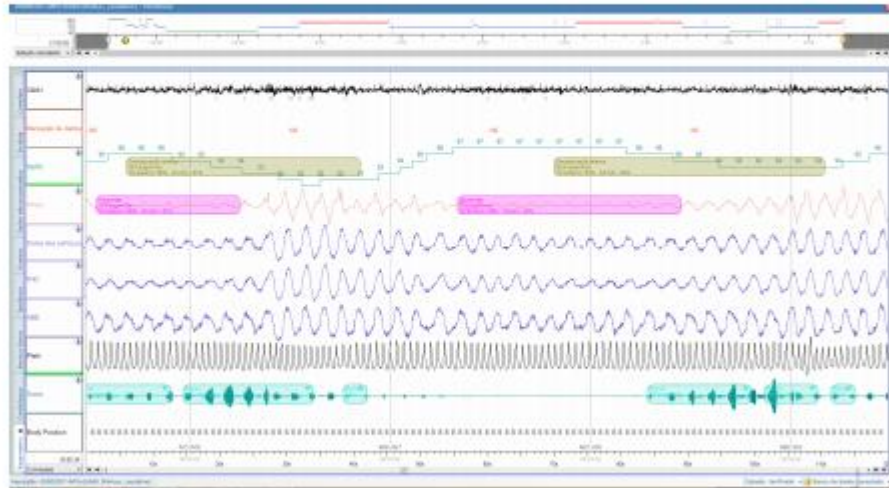


Registro de sono REM

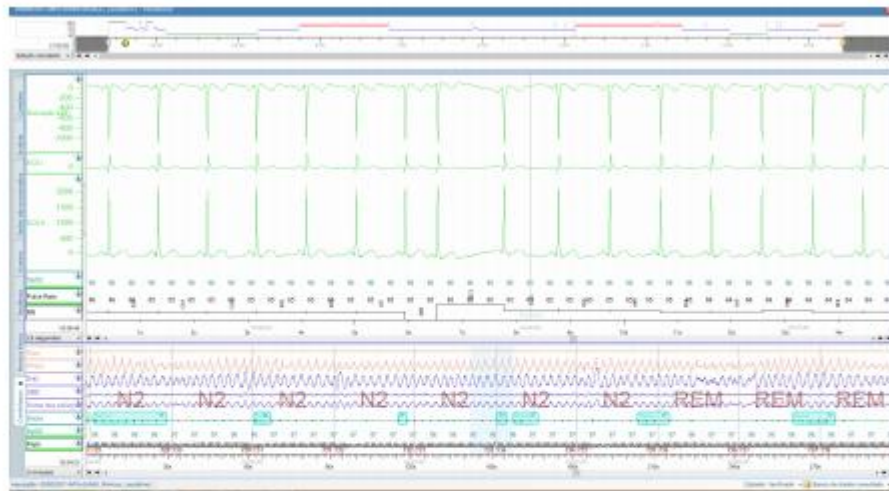


Registro de sono de ondas lentas (N3)

Figura 45 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 07



Registro de hipopnéias obstrutivas



Registro ECG – Extra-sístole supraventricular isolada

Figura 46 - Laudo da polissonografia de noite inteira da amostra 07

