

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
Programa de Pós-Graduação em  
Computação Aplicada

Dissertação de Mestrado

**SLEEPWEB: UMA PLATAFORMA  
WEB PARA SUPORTE NO  
MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DE  
QUALIDADE DE SONO**

MATHEUS RIGONI HERNANDES





**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA**

**SLEEPWEB: UMA PLATAFORMA WEB PARA  
SUPORTE NO MONITORAMENTO E  
AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DE SONO**

**Matheus Rigoni Hernandes**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Computação Aplicada na Universidade de Passo Fundo.

**Orientador: Prof. Dr. Marcelo Trindade Rebonatto**

**Coorientador: Prof. Dr. Adriano Pasqualotti**

Passo Fundo

2020

CIP – Catalogação na Publicação

---

H557s    Hernandez, Matheus Rigoni  
SleepWeb [recurso eletrônico] : uma plataforma web para  
suporte no monitoramento e avaliação de qualidade de sono /  
Matheus Rigoni Hernandez. – 2020.  
5.2 MB ; PDF.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Trindade Rebonatto.  
Coorientador: Prof. Dr. Adriano Pasqualotti.  
Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) –  
Universidade de Passo Fundo, 2020.

1. Sistemas de computação. 2. Sono – Monitorização.  
3. Sono – Qualidade. 4. Polissonografia. I. Rebonatto, Marcelo  
Trindade, orientador. II. Pasqualotti, Adriano, coorientador.  
III. Título.

CDU: 004:61

---

Catalogação: Bibliotecária Juliana Langaro Silveira – CRB 10/2427

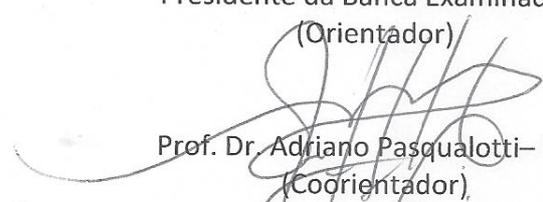
**ATA DE DEFESA DO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DO ACADÊMICO**

**MATHEUS RIGONI HERNANDES**

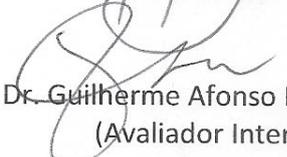
Aos vinte e quatro dias do mês de março do ano de dois mil e vinte, às quatorze horas, realizou-se, no prédio D1 sala 01, da Universidade de Passo Fundo (UPF), a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso "Sleepweb: uma plataforma web para suporte no monitoramento e avaliação de qualidade de sono", de autoria do acadêmico **MATHEUS RIGONI HERNANDES** do Curso de Mestrado em Computação Aplicada do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada – PPGCA. Segundo as informações prestadas pelo Conselho de Pós-Graduação e constantes nos arquivos da Secretaria do PPGCA, o aluno preencheu os requisitos necessários para submeter seu trabalho à avaliação. A banca examinadora foi composta pelos doutores Marcelo Trindade Rebonatto, Adriano Pasqualotti, Guilherme Afonso Madalozzo e Cristiano André da Costa. Concluídos os trabalhos de apresentação e arguição, a banca examinadora considerou o candidato APROVADO. Foi concedido o prazo de até quarenta e cinco (45) dias, conforme Regimento do PPGCA, para o acadêmico apresentar ao Conselho de Pós-Graduação o trabalho em sua redação definitiva, a fim de que sejam feitos os encaminhamentos necessários à emissão do Diploma de Mestre em Computação Aplicada. Para constar, foi lavrada a presente ata, que vai assinada pelos membros da banca examinadora e pela Coordenação do PPGCA.



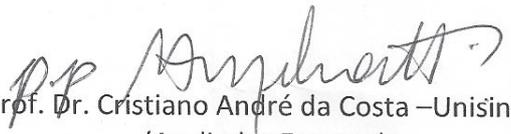
Prof. Dr. Marcelo Trindade Rebonatto – UPF  
Presidente da Banca Examinadora  
(Orientador)



Prof. Dr. Adriano Pasqualotti – UPF  
(Coorientador)



Prof. Dr. Guilherme Afonso Madalozzo – UPF  
(Avaliador Interno)



Prof. Dr. Cristiano André da Costa – Unisinos  
(Avaliador Externo)



Prof. Dr. Rafael Rieder  
Coordenador do PPGCA



Dedico este trabalho à minha mãe, por anos de apoio incondicional e pela ajuda com correções gramaticais. Te amo mãe :)



# **SLEEPWEB: UMA PLATAFORMA WEB PARA SUPORTE NO MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DE SONO**

## **RESUMO**

O sono é estágio fisiológico de grande importância para saúde, responsável pela regeneração do organismo humano. O crescente número de problemas de saúde correlacionados com a má qualidade de sono faz do monitoramento deste uma tarefa importante para medicina preventiva. Hoje a forma mais difundida para o monitoramento do sono é a polissonografia, uma técnica de monitoramento que exige que pacientes repousem conectados por cabos e sensores em salas especializadas para o exame. Este cenário invasivo dificulta a realização do exame e coloca em dúvida a confiabilidade de seus resultados. Propondo soluções, pesquisadores das áreas da saúde e engenharia biomédica, vem propondo técnicas alternativas menos invasivas, que possam auxiliar no monitoramento e possivelmente substituir o exame tradicional de polissonografia. Porém, muitas destas técnicas carecem de formas mais eficazes para avaliação de seus resultados, uma vez que em sua maioria não oferecem sistemas de suporte ao monitoramento, nem formas de validação e comparação de resultados. Buscando solucionar este problema entra a proposta deste trabalho, a especificação e construção de ambiente de suporte ao monitoramento do sono, ambiente este chamado SleepWeb. Através do SleepWeb, médicos e pesquisadores poderão realizar exames por meio de técnicas de monitoramento alternativas e validá-los. O objetivo do trabalho é a construção de um ambiente, que ofereça uma estrutura dinâmica e expansível, capaz de trabalhar com dados obtidos por diferentes tipos de sensores e algoritmos de processamento. Durante a pesquisa, foram identificados componentes e elementos teóricos, para a sustentação do projeto, bem como algumas técnicas de monitoramento alternativas, em fase de desenvolvimento e prototipação, compatíveis a proposta do SleepWeb. O projeto de SleepWeb, foi implementado e testado, em um cenário simulado, com integração de dois ambientes conceituais, sendo um deles baseado em um outro projeto em desenvolvimento. Como contribuição adicional, foi implementado um sistema de índice para detecção de distúrbios do sono. Uma proposta de padronizar resultados do monitoramento, com base na coleta de indicadores variados.

Palavras-Chave: monitoramento do sono, sistema de suporte, qualidade do sono.



# **SLEEPWEB: A WEB PLATFORM FOR SUPPORT MONITORING AND EVALUATION OF SLEEP QUALITY**

## **ABSTRACT**

The sleep is physiologic state, fundamental for human health, and responsible for regeneration of the nervous system and human organism. The growing number of diseases related with poor sleep quality, has brought importance to sleep monitoring. Currently, the polysomnography is the gold standard for sleep monitoring. This technique demands that the patient stays for sleep session under supervision of a team of nurses or doctors, and connected to several sensors. This invasive scenario makes the polysomnography uncomfortable and hard to long-term sleep monitoring. Looking for alternatives for polysomnography, researchers from biomedical engineering fields have been working on development of new techniques for monitoring sleep. Techniques less invasive and capable to conduce remote and long-term exams. However, most of these alternative monitoring techniques lacks of support system, to help doctors and researchers to conduct studies and exams. Aiming to offer a solution for this problem, comes the main goal of this project, the specification and development of an environment to support sleep monitoring, called SleepWeb. Through the SleepWeb, doctors and researchers are able to conduce exams, with different alternative sleep monitoring techniques, and qualify it results. The main goal of this project was the development of and environment, that offers dynamic and expansive structure, capable to be distributed across different locations and institutions, and also able to work with different types of hardware and software. During the research, theoretical components was researched, aiming to support the project, and also alternative sleep monitoring techniques, able to be integrated with the environment. When finished, the project was tested and simulated, with integration with two conceptual monitoring systems, one of then based in parallel project in development. Also, as contribution from this project, comes the index of sleep disturb detection. A proposal to standardize sleep monitoring results in a simple value, based on collect of multiple sleep quality indicators.

Keywords: sleep, monitoring, system, analyzis.



## LISTA DE FIGURAS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figura 1.  | Qualificação para despertares do sono. [16] . . . . .  | 21 |
| Figura 2.  | Paciente conectado por cabos durante um exame de polissonografia [17]. . . . .   | 22 |
| Figura 3.  | Exemplo de um hipnograma, baseado no modelo apresentado na publicação de Scherz Et Al. [2]. . . . .  | 23 |
| Figura 4.  | Exemplo do processo de cálculo com base no espectro de frequência cardíaca, de cima para baixo pode ser visto: razão entre baixa frequência (LF) e alta frequência (HF), Força relativa da banda de alta frequência e sua variabilidade [2]. . . . . | 24 |
| Figura 5.  | ActTrust fabricado pela Condor [20]. . . . .   | 25 |
| Figura 6.  | Respironics fabricado pela Philips [21]. . . . .   | 25 |
| Figura 7.  | Actigrafo ACT1 fabricado pela EMSA [22]. . . . .   | 25 |
| Figura 8.  | Fluxograma do algoritmo MSD proposto por Domingues Et Al. [8]. . . . .   | 26 |
| Figura 9.  | Fluxograma do algoritmo proposto por Islam et al [3]. . . . .  | 27 |
| Figura 10. | Exemplo de um sensor força FSR [25]. . . . .   | 28 |
| Figura 11. | De cima para baixo: frequência de movimentos respiratórios, movimentações do corpo, sensor totalmente carregado e sensor em estado normal. . . . .   | 29 |
| Figura 12. | Interface do sistema para análise e visualização de dados e resultados coletados. . . . .  | 30 |
| Figura 13. | Arquitetura do ambiente Web do SleepWeb . . . . .  | 33 |
| Figura 14. | Modelo conceitual da comunicação entre cliente e serviço. . . . .  | 34 |
| Figura 15. | Representação linear da organização dos serviços. . . . .  | 35 |
| Figura 16. | Exemplo de mensagem para sincronização de dados de monitoramento. . . . .  | 36 |
| Figura 17. | Diagrama de caso de uso para os níveis de usuários . . . . .   | 38 |
| Figura 18. | Representação visual de um grupo de compartilhamento de dados . . . . .  | 39 |
| Figura 19. | Representação de uma curva de qualidade para eficiência do sono. . . . .   | 40 |
| Figura 20. | Representação de uma regra de avaliação, com destaque para o fator de cálculo. . . . .   | 41 |
| Figura 21. | Organização dos componentes do serviço de principal . . . . .  | 44 |
| Figura 22. | Leiaute básico da tela inicial do sistema. . . . .   | 45 |
| Figura 23. | Formulário de cadastro e edição de dados de pacientes . . . . .  | 46 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figura 24. | Organização dos componentes do serviço de monitoramento conceitual (SMC) . . . . . | 47 |
| Figura 25. | Tela de análise de exames de monitoramento individuais . . . . .                   | 51 |
| Figura 26. | Tela de cadastro de períodos de monitoramento . . . . .                            | 52 |
| Figura 27. | Tela de cadastro de períodos de monitoramento . . . . .                            | 53 |
| Figura 28. | Balão com informações adicionais sobre o monitoramento . . . . .                   | 54 |
| Figura 29. | Tela de ligação de referência entre pacientes cadastrados externamente . . . . .   | 55 |

## LISTA DE TABELAS

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabela 1. | Indicadores de qualidade do sono . . . . .                         | 20 |
| Tabela 2. | Faixas etárias observadas pelo estudo da National Sleep Foundation | 21 |
| Tabela 3. | Enumeração dos indicadores de qualidade do sono . . . . .          | 37 |
| Tabela 4. | Índice de Detecção de Distúrbios do Sono . . . . .                 | 42 |



# SUMÁRIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....                                  | <b>17</b> |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....                       | <b>19</b> |
| 2.1      | O SONO E SUA IMPORTÂNCIA .....                           | 19        |
| 2.2      | INDICADORES DE DEFINIÇÃO DE QUALIDADE DE SONO .....      | 20        |
| 2.3      | POLISSONOGRRAFIA .....                                   | 22        |
| 2.4      | TÉCNICAS ALTERNATIVAS .....                              | 23        |
| 2.4.1    | <b>FREQUÊNCIA CARDÍACA</b> .....                         | 23        |
| 2.4.2    | <b>FREQUÊNCIA DE MOVIMENTOS</b> .....                    | 25        |
| 2.4.3    | <b>FREQUÊNCIA RESPIRATÓRIA</b> .....                     | 28        |
| 2.5      | AMBIENTES DE APOIO .....                                 | 30        |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....                         | <b>33</b> |
| 3.1      | PROJETO E ARQUITETURA .....                              | 33        |
| 3.2      | ESPECIFICAÇÕES .....                                     | 36        |
| 3.2.1    | <b>PADRÕES DE COMUNICAÇÃO</b> .....                      | 36        |
| 3.2.2    | <b>CADASTRO DE PACIENTES E INTEGRAÇÃO DE DADOS</b> ..... | 37        |
| 3.2.3    | <b>PERMISSÕES E COMPARTILHAMENTO DE DADOS</b> .....      | 38        |
| 3.2.4    | <b>REGRAS DE AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DO SONO</b> .....    | 40        |
| 3.2.5    | <b>ÍNDICE DE DETECÇÃO DE DISTÚRBIOS DO SONO</b> .....    | 42        |
| 3.3      | IMPLEMENTAÇÃO .....                                      | 44        |
| 3.3.1    | <b>SISTEMA PRINCIPAL</b> .....                           | 44        |
| 3.3.2    | <b>SERVIÇO DE MONITORAMENTO CONCEITUAL</b> .....         | 47        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS</b> .....                                  | <b>49</b> |
| 4.1      | BASE DE DADOS UTILIZADA E INTEGRAÇÃO DO AMBIENTE .....   | 49        |
| 4.2      | ANÁLISE DE EXAMES DE MONITORAMENTO .....                 | 50        |
| 4.3      | ANÁLISE DE PERÍODOS DE MONITORAMENTO .....               | 52        |
| 4.4      | COMPARTILHAMENTO DE DADOS .....                          | 54        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO</b> .....                                   | <b>57</b> |
| 5.1      | CONSIDERAÇÕES .....                                      | 57        |

|     |                          |           |
|-----|--------------------------|-----------|
| 5.2 | TRABALHOS FUTUROS .....  | 58        |
|     | <b>REFERÊNCIAS</b> ..... | <b>59</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

O sono é estágio fisiológico de grande importância para saúde, responsável pela regeneração e limpeza do organismo humano. O crescente número de problemas de saúde, correlacionados com a má qualidade de sono, vem motivando médicos e pesquisadores a investir em exames de monitoramento do sono. Estes exames tem por objetivo, tentar identificar distúrbios do sono e suas causas, possibilitando um tratamento mais ágil e preciso.

Hoje, a técnica de monitoramento do sono, mais respeitada e difundida, é a polissonografia, baseada em uma série de exames diferentes, conduzidos em um ambiente controlado, durante um período (noite por exemplo) de sono. No entanto, a polissonografia apresenta problemas e limitações, que tornam seu uso pouco prático. A polissonografia é baseada na realização simultânea de diversos exames, coletando dados de frequência cardíaca, respiratória, cerebral, entre outros. Estes exames em simultâneo, colocam o paciente em uma posição desconfortável para o sono, por estarem conectados em diversos equipamentos, por meio de fios e cabos. Além disto, a polissonografia é realizada em ambiente controlado, como sala ou consultório, onde uma equipe de médicos ou enfermeiros possam monitorar os equipamentos, o paciente e conduzir os exames. Este cenário torna a polissonografia pouco prática para monitoramentos diários, durante longos períodos de tempo [1, 2].

Motivados pelas limitações da polissonografia, durante a última década, pesquisadores das áreas de engenharia e saúde humana, de diversas partes do mundo, vem buscando novos modelos de exames de monitoramento do sono [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Interesse relacionado às limitações das técnicas mais tradicionais de monitoramento como a polissonografia e a possibilidade do monitoramento do sono durante longos períodos. Estas técnicas costumam ser relacionadas à exploração das capacidades de dispositivos de hardware como *smartbands* [2], ou outros tipos de sensores miniaturizados [3, 4], buscando coletar dados como frequências cardíacas [2], respiratória [7] ou motoras [7, 8]. Uma vez coletadas, estas frequências são então processadas por algoritmos, capazes de extrair informações mais relevantes, como duração do sono, oscilações entre os seus diferentes estágios, despertares, e outros indicadores.

No entanto, durante a fase de prototipação, estas técnicas carecem de recursos para validação de seus resultados e de precisão. Uma vez que grande parte destas pesquisas, são baseadas na implementação de hardware e software, para obtenção de indicadores de qualidade do sono, muitas destas técnicas carecem de um sistema de suporte, para apoiar a realização de exames e visualização de seus resultados. Neste contexto chega-se ao escopo deste trabalho, focado na construção e especificação de um ambiente de suporte ao monitoramento do sono, este ambiente é o SleepWeb.

O ambiente SleepWeb é um ambiente, formado por diversos serviços, distribuídos via web. Através do ambiente, dados de monitoramento do sono de diferentes locais poderão ser reunidos e processados, em um serviço principal, por onde poderão então ser avaliados de acordo com regras especificadas por seus usuários (médicos e pesquisadores). Através da interface de usuário oferecida pelo ambiente, usuários poderão cadastrar e customizar regras de avaliação de qualidade do sono, podendo aplicá-las sobre dados de monitoramento e conduzir pesquisas e exames diversos.

O objetivo deste trabalho, foi a especificação e construção do ambiente SleepWeb. Este ambiente oferece suporte ao monitoramento do sono, por meio de funcionalidades analíticas e gráficas, e uma interface de serviços que permita a distribuição e a fácil expansão do ambiente. Para construção deste ambiente foram levantados requisitos, que sustentem as funcionalidades como avaliação de qualidade do sono e sistemas de monitoramento que sejam aptos a integração.

Através do ambiente SleepWeb, médicos e pesquisadores poderão conduzir exames, visualizar dados e avaliá-los em um resultado simplificado. O suporte do sistema permite a realização de exames em ambiente real e a visualização e avaliação dos resultados de forma rápida e eficiente, trazendo maior agilidade na validação de alterações de projeto, ou implementações nas técnicas de monitoramento. Também, será possível por meio do ambiente, conduzir exames reais, de modo a apoiar a identificação de distúrbios do sono, ou mesmo, acompanhar a evolução durante ao longo do tratamento para problemas de sono.

Nesta Dissertação será apresentado o estudo e o projeto realizado para o desenvolvimento e implementação do ambiente SleepWeb. Na Seção 2 será apresentada a revisão bibliográfica consultada, com enfoque no conceito de qualidade do sono e os problemas e limitações da polissonografia. Também serão apresentadas algumas técnicas de monitoramento em fase de pesquisa e desenvolvimento, que encaixam-se com o conceito do ambiente SleepWeb. Na Seção 3, serão apresentados o projeto e as especificações para o desenvolvimento do ambiente, bem como alguns exemplos da interface e seu funcionamento. Já na Seção 4, serão apresentados resultados obtidos por meio de simulação do ambiente e integração com uma técnica de monitoramento em fase inicial de desenvolvimento. Por fim, na Seção 5, serão apresentados conceitos importantes aprendidos com a pesquisa e sugestões para trabalhos futuros relacionados.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste Capítulo serão brevemente descritos, a importância do sono para saúde, a classificação de qualidade do sono, polissonografia e seus problemas, e serão apresentadas algumas técnicas de monitoramento aplicáveis ao projeto SleepWeb.

### 2.1 O SONO E SUA IMPORTÂNCIA

O sono é um estado fisiológico responsável por diversas funções reparadoras, protetoras e conservadoras de energia do organismo [9, 10]. Este estado fisiológico é denotado pela transição do estado de consciência para inconsciência, passando diferentes estágios com funções e características distintas [11]. Estes estágios se dividem em dois grupos principais: sono REM e não-REM, expressão REM derivada do inglês *Rapid Eye Moviment* [2, 11, 12].

O sono não-REM, é dividido em até quatro estágios internos, tradicionalmente descritos por N1, N2, N3 e N4, organização proposta pelos pesquisadores Rechtschaffen e Kales em 1968. Ainda que alguns autores defendam uma divisão em apenas três níveis (N1,N2,N3), o conceito destes estágios internos é amplamente aceito pela comunidade científica [2, 11, 12]. Os estágios N1 e N2 são tradicionalmente chamados de sono leve, enquanto estágios N3 e N4 são chamados de sono profundo [11].

O sono REM, destaca-se por uma atividade cerebral quase tão alta quanto durante o estágio de consciência (desperto). Durante esta fase os olhos movimentam-se rapidamente em frequências e direções variáveis, caracterizando o nome do estágio. É tipicamente a fase do sono apontado como o momento onde ocorrem os sonhos [9, 11].

A importância do sono pode ser verificada, tanto em seu reflexo na saúde física quanto, na mental. O sono vem sendo relacionado com fundamental importância para fixação da memória [13], além de auxiliar a limpeza de toxinas cerebrais acumuladas ao longo do dia [14]. Além dos benefícios causados ao cérebro, o sono é essencial para a manutenção da saúde física do corpo, em especial o sistema cardiovascular e o equilíbrio de hormônios [14].

A má qualidade do sono vem sendo amplamente relacionada a perda de memória e desenvolvimento precoce de doenças como Alzheimer [13, 15] e doenças psicológicas como depressão e demência, especialmente em pessoas mais velhas. Este cenário tende a ser agravado visto que idosos são mais propensos a distúrbios do sono em função de mudanças fisiológicas e comportamentais causadas pelo envelhecimento [13].

No cenário da prevenção do desenvolvimento de doenças relacionadas à má qualidade de sono, o monitoramento torna-se importante na identificação de distúrbios que

deflagram esta situação. Atualmente a técnica de monitoramento mais difundida e aceita, tanto pelo meio acadêmico quanto por profissionais da área da saúde, é o exame de polissonografia [2].

## 2.2 INDICADORES DE DEFINIÇÃO DE QUALIDADE DE SONO

A definição de qualidade do sono é uma questão complexa, não limitando-se apenas à sua duração. O sono humano possui diversas fases distintas, com importâncias e funções diferentes na recuperação do organismo [11, 12]. Com isso em vista, a instituição americana *National Sleep Foundation*, publicou em 2017, uma revisão dos principais indicadores quantitativos utilizados por pesquisadores para medir a qualidade de sono [16]. Os indicadores apresentados pela publicação podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Indicadores de qualidade do sono [16]

| INDICADOR                       | DEFINIÇÃO   |
|---------------------------------|---|
| Eficiência do sono              | Percentual total de inconsciência enquanto estiver deitado.                                   |
| Latência do sono                | Tempo em minutos da transição do estado de consciência para o inconsciência.                  |
| Sono REM                        | Percentual de sono REM.   |
| Sono não-REM                    | Percentual de cada fase do sono não-REM.  |
| Cochilos                        | Número de cochilos em um período de 24 horas.   |
| Duração de cochilo              | Duração média dos cochilos em minutos.  |
| Frequência de cochilo           | Quantidade de dias com episódios de cochilos em um período de 7 dias.                         |
| Excitações                      | Mudanças abruptas do estágio de sono, de um mais profundo para um menos profundo.             |
| Despertar                       | Número de despertares com duração maior de 5 minutos ao longo da noite.                       |
| Consciência após início do sono | Duração em minutos do estado de consciência após o início do sono e antes do despertar final. |

Porém, a avaliação da qualidade de sono deve relevar também o grupo etário do paciente monitorado. Diferentes faixas etárias tendem a possuir diferentes necessidades de sono, não limitando-se apenas em uma duração absoluta [16]. Desta maneira, a revisão da *National Sleep Foundation* apresentou quais as faixas etárias mais comumente são citadas em artigos, com apontamentos de valores diferentes para os indicadores de qualidade do sono. Na Tabela 2 é possível observar as faixas etárias destacadas pela publicação [16].

Tabela 2. Faixas etárias observadas pelo estudo da *National Sleep Foundation* [16]

| Estágio de desenvolvimento    | Faixa etária    |
|-------------------------------|-----------------|
| Recém-nascidos                | de 0 a 3 meses  |
| Bebês                         | de 4 a 11 meses |
| Crianças pequenas             | de 1 a 2 anos   |
| Crianças em idade pré-escolar | de 3 a 5 anos   |
| Crianças em idade escolar     | de 6 a 13 anos  |
| Adolescentes                  | de 14 a 17 anos |
| Jovens                        | de 18 a 25 anos |
| Adultos                       | de 26 a 64 anos |
| Idosos                        | acima de 65     |

Com o uso dos indicadores de qualidade do sono (Tabela 1), e das faixas etárias mais significantes (Tabela 2), a revisão da *National Sleep Foundation* apresentou um conjunto de tabelas para classificação da qualidade. Cada tabela é baseada em um dos indicadores enumerados, e dividida em faixas etárias. Para cada faixa etária, um intervalo é definido, classificado como *apropriado*, *inapropriado* ou *incerto*. Sendo o intervalo *apropriado*, o intervalo onde os valores quantitativos estão entre os números recomendáveis para um sono de qualidade, enquanto no intervalo *inapropriado*, estes valores encontram-se abaixo do recomendado. O intervalo *incerto* é destinado a valores que não podem ser classificados com segurança, por poderem variar de pessoa para pessoa, ou não serem de grande valor acadêmico. Na Figura 1 pode-se observar uma tabela para padrões ideais de **despertares** durante o sono.

#### Despertares (Mais de 5 minutos)

| Faixa Etária           | 1          | 2 | 3       | 4            | 5            | 6 |
|------------------------|------------|---|---------|--------------|--------------|---|
| Crianças pequenas      | Apropriado |   | Incerto |              | Inapropriado |   |
| Crianças Pré-escolares | Apropriado |   | Incerto |              | Inapropriado |   |
| Crianças               | Apropriado |   | Incerto |              | Inapropriado |   |
| Adolescentes           | Apropriado |   | Incerto | Inapropriado |              |   |
| Jovens                 | Apropriado |   | Incerto |              | Inapropriado |   |
| Adultos                | Apropriado |   | Incerto |              | Inapropriado |   |
| Idosos                 | Apropriado |   |         | Incerto      | Inapropriado |   |

Apropriado

Incerto

Inapropriado

Figura 1. Qualificação para despertares do sono. [16]

## 2.3 POLISSONOGRAFIA

A Polissonografia é um exame para diagnosticar distúrbios do sono, conduzido a partir da realização simultânea de exames como eletrocardiograma (ECG), eletroencefalograma (EEG), eletrooculograma (EOG), electromiografia (EMG), entre outros [2]. O exame é realizado geralmente em um ambiente controlado, como uma sala em um centro médico especializado ou hospital ao longo de um período de monitoramento, com o apoio contínuo de médicos ou enfermeiros [1].

A partir dos dados coletados com o exame de polissonografia, é possível identificar distúrbios do sono a partir da interpretação das leituras físicas e fisiológicas apresentadas. Estas leituras são referentes a ondas cerebrais, frequência cardíaca e respiratória, oxigenação do sangue e movimentos durante o sono, tanto do corpo quanto dos olhos [1].

Ainda que seja o mais tradicional exame para monitoramento e identificação de distúrbios do sono, a polissonografia revela-se um procedimento extremamente invasivo, obrigando o paciente a dormir conectado a diversos sensores e cabos em um ambiente longe do habitual. Este cenário representa um problema para a realização de um exame, uma vez que coloca um paciente com dificuldades para dormir em um ambiente estranho e desconfortável, podendo comprometer os seus resultados [2, 3]. Na Figura 2 pode-se ver um paciente conectado aos cabos e sensores de um exame tradicional de polissonografia.



Figura 2. Paciente conectado por cabos durante um exame de polissonografia [17].

Como visto na Figura 2, o grande número de sensores e cabos utilizados no exame de polissonografia revela-se um problema, dificultando o sono regular de pacientes durante uma sessão de monitoramento. O desafio de desenvolver técnicas alternativas para a polissonografia vem motivando cientistas e pesquisadores. Técnicas de monitoramento a partir do uso de um número reduzido de sensores ou dispositivos vestíveis (*wearables*) como *smartbands* e actígrafos tem ganhado atenção por serem consideravelmente menos invasi-

vos e apresentando resultados mais precisos a partir do uso de algoritmos para processar e analisar resultados.

## 2.4 TÉCNICAS ALTERNATIVAS

O conceito por trás das técnicas alternativas de monitoramento do sono é a coleta de dados quantitativos, que possam de forma algorítmica ser processados para obtenção dos estágios do sono, além de sua duração e distribuição durante um período de monitoramento. Este conceito pôde ser confirmado com base na bibliografia verificada, que apresenta algumas técnicas para obtenção destes dados.

Durante a pesquisa foram consideradas técnicas que buscassem por diferentes tipos de *frequências* monitoráveis, como: cardíaca [2], motora [3, 8, 7], respiratória [7]. Nesta Seção será apresentado brevemente um resumo sobre algumas das técnicas pesquisadas e uma análise sobre suas similaridades.

### 2.4.1 FREQUÊNCIA CARDÍACA

O monitoramento do sono a partir da medição da frequência cardíaca é possível, como mostra o estudo proposto por Scherz et al[2]. Com o uso de pulseiras inteligentes (*smartbands*) capazes de coletar a frequência cardíaca, Scherz et al[2] propõe um algoritmo que converte o espectro da frequência cardíaca de um período de monitoramento em um hipnograma (Figura 3), um gráfico que representa os estágios do sono ao longo de um período de monitoramento [2].

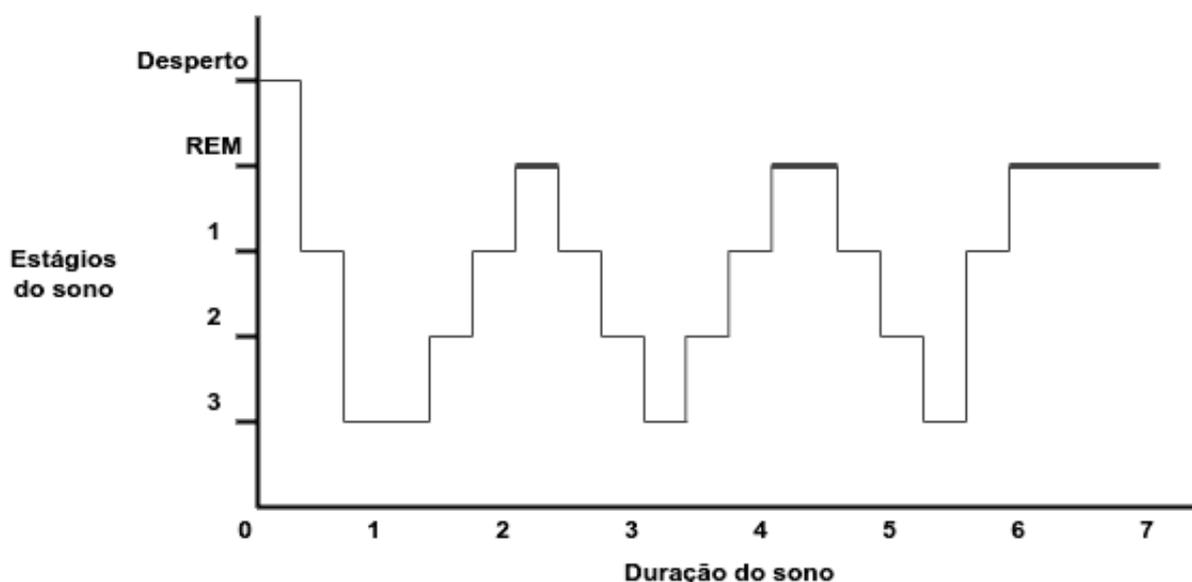


Figura 3. Exemplo de um hipnograma, baseado no modelo apresentado na publicação de Scherz Et Al. [2].

A partir do hipnograma é possível analisar a profundidade (estágios) do sono e sua distribuição ao longo do período de sono, bem como identificar despertares e abruptas mudanças de estados mais profundos para menos profundos. Na Figura 3, pode-se observar um hipnograma, com início de sono indo rapidamente aos estágios não-REM, a alternância dos estágios não-REM com os picos de sono REM, sem a ocorrência de despertares ou alterações abruptas dos estágios de sono [2, 18].

O algoritmo proposto por Scherz et al utiliza o conceito de pico de R [2]. Ele analisa a frequência cardíaca e quando ela ultrapassa o limite de 0.35 mV seguido pela queda deste é detectado o pico de R. O intervalo de RR, utilizado para calcular a variabilidade da frequência cardíaca, é calculado com a média de tempo entre dois picos de R em uma janela de um minuto. O cálculo pode ser visto na Equação 1.

$$RR_m = \frac{1}{n} \sum (r_i - r_{i-1}) \quad (1)$$

Calculado onde  $n$  é o número de picos de R em um recorte de um minuto  $m$  do sinal de frequência cardíaca, e o  $r_i$  é o valor uma marca temporal (data e hora com minutos e segundos) de um intervalo  $i$  em um minuto  $m$ . Para cada 0.25 segundos um valor é armazenado [2].

O espectro de frequência é calculado utilizando os valores dos batimentos cardíacos entre um RR  $t$  até RR  $t+4096$  onde  $t$  é a marca temporal (timestamp) inicial da amostra. Com base no espectro obtido é possível a classificação dos estágios de sono observando a variação entre baixa e alta frequência [2]. O processo da conversão pode ser visualizado na Figura 4.

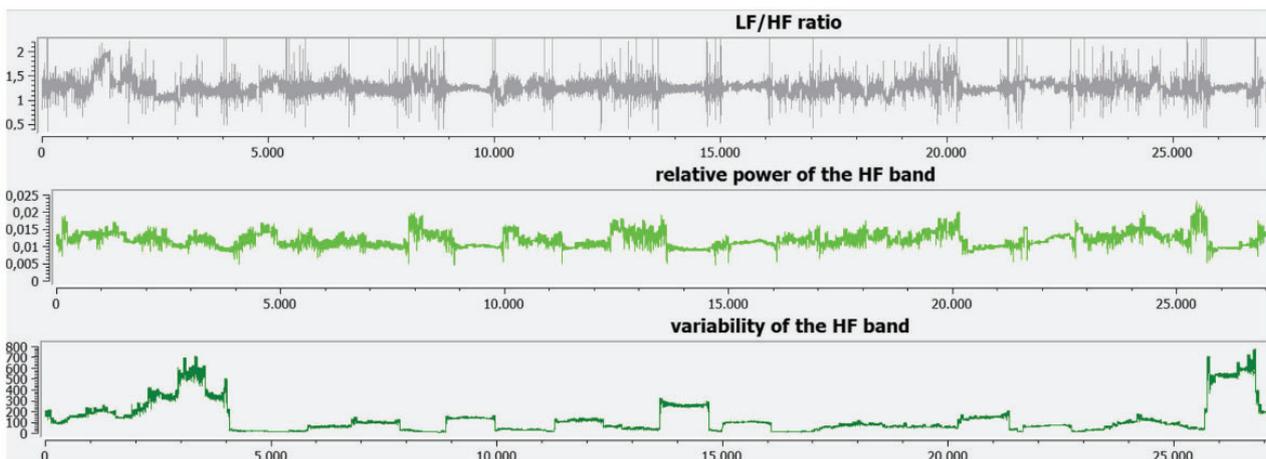


Figura 4. Exemplo do processo de cálculo com base no espectro de frequência cardíaca, de cima para baixo pode ser visto: razão entre baixa frequência (LF) e alta frequência (HF), Força relativa da banda de alta frequência e sua variabilidade [2].

Na Figura 4 é possível observar o processo de cálculo a partir de dados coletados pela base de dados Physionet. Os resultados obtidos com o experimento de Scherz et al

obtiveram um resultado de 41,3% de acerto, em comparação com os resultados obtidos pela polissonografia. Um resultado de qualidade inferior, porém promissor, considera-se que foi obtido com a análise apenas da frequência cardíaca [2].

## 2.4.2 FREQUÊNCIA DE MOVIMENTOS

O monitoramento do sono pela captura de movimentos pode ser realizado de diversas maneiras e com diferentes focos. Como exemplos temos o actigrafia [8], polissonografia por vídeo [3] e o uso de detectores de movimentos para o monitoramento da frequência respiratória (ver seção 2.4.3) [7].

Uma das técnicas mais difundidas de monitoramento da qualidade de sono pela captura de movimentos é a actigrafia, técnica que utiliza pulseiras para o monitoramento de movimentos ao longo de um período. Diferentemente das *smartbands* cujo uso é mais amplo em termos de aplicações e coleta de dados, actígrafos são dispositivos especializados em monitoramento do sono, utilizando a detecção de movimentos e outros dados, dependendo do modelo e fabricante [8, 19]. Nas Figuras 5, 6 e 7 é possível ver alguns modelos de actígrafos.



Figura 5. ActTrust fabricado pela Condor [20].



Figura 6. Respironics fabricado pela Philips [21].



Figura 7. Actígrafo ACT1 fabricado pela EMSA [22].

Além de movimentos, actígrafos podem detectar diferentes tipos de informações. Os modelos vistos nas Figuras 5, 6 e 7, apresentam certas funcionalidades como detecção de luminosidade, temperatura corporal, e do ambiente. Os diferentes dados coletados podem auxiliar no entendimento do ambiente que o paciente tipicamente dorme e sua rotina de sono [8]. Os dados coletados com os dispositivos podem ser então sincronizados com computadores, por meio de cabo USB, onde podem ser analisados em softwares proprietários [20, 21, 22].

O exame de actigrafia vem sendo redescoberto com recentes evoluções em sua qualidade de monitoramento, uma vez que a técnica mais tradicional apresentava pouca

profundidade em seu monitoramento, geralmente superestimando sua duração total [8]. Sua alta portabilidade o torna ideal para longos períodos de monitoramento, permitindo a análises comportamentais, além de estimativas da eficiência do sono, sua fragmentação e a caracterização do ciclo circadiano [8, 23].

Com o objetivo de melhorar a precisão de resultados obtidos pela actigrafia vê-se a necessidade do uso de algoritmos, como por exemplo o *Movement-Base State Detection* (MSD), proposto por Domingues et al[8]. O MSD é um algoritmo desenhado para realizar a estimativa de duração dos estágios de sono e consciência durante um período de monitoramento do sono. Os dados são coletados preferencialmente no pulso do braço não dominante do paciente, e com base no espectro de frequência de movimentos o algoritmo é executado [8]. Na Figura 8 podemos ver o fluxograma do MSD.

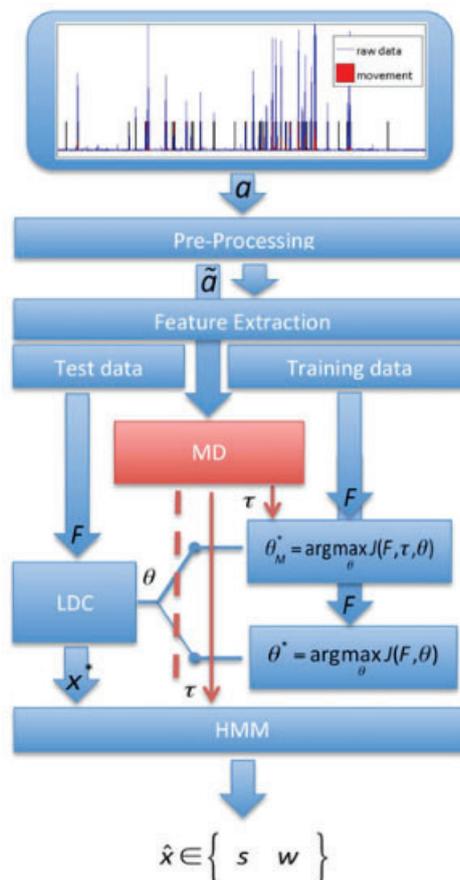


Figura 8. Fluxograma do algoritmo MSD proposto por Domingues Et Al. [8].

Como visto na Figura 8, a técnica é dividida em cinco etapas: pré-processamento, extração de informação, treino, estimação do estado e refino de resultados. O MSD gera seus resultados refinando a derivação dos dados do espectro de movimentos de entrada e refinando a precisão com o uso da técnica de modelos ocultos de Markov. O resultado do processamento é um hipnograma (Figura 3) por onde dos estágios do sono, duração e distribuição, podem ser identificados [8].

Outra proposta observada foi a realização de uma polissonografia por vídeo, proposta por Islam et al [3]. A técnica de detecção de monitoramento por vídeo proposta por Islam et al [3] apresenta características bastante distintas na actigrafia, não sendo necessário nenhum tipo de sensor diretamente aplicado sobre o paciente. A vídeo-polissonografia pode ser dividida em dois estágios: monitoramento e processamento [3].

O primeiro estágio representa a captura em vídeo de um período de sono do paciente monitorado. A partir do vídeo um algoritmo processa os dados organizando de forma temporal a frequência de movimentos realizados. O fluxograma do algoritmo proposto pode ser observado na Figura 9 [3].

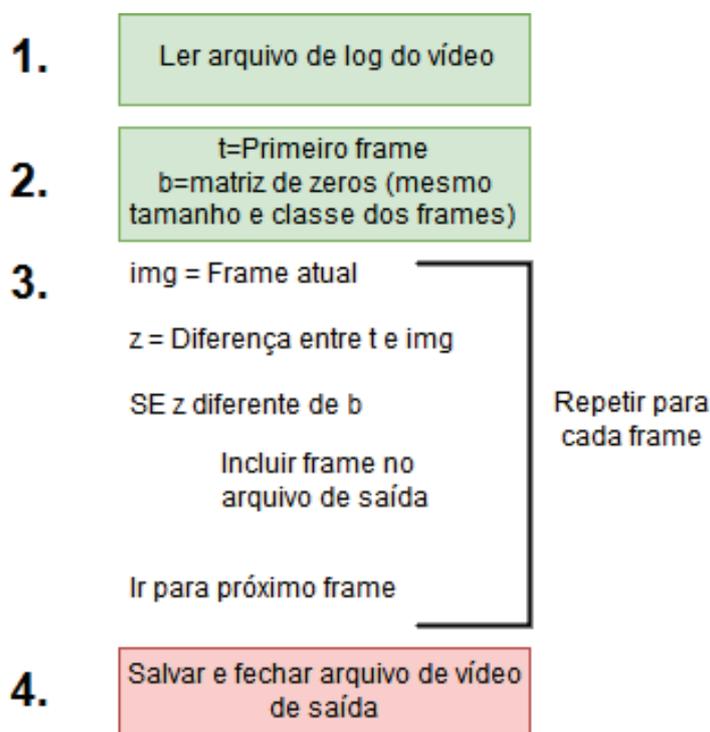


Figura 9. Fluxograma do algoritmo proposto por Islam et al [3].

Como observado na Figura 9, o algoritmo realiza uma contagem de episódios de movimento ao longo de um período de monitoramento, armazenando a distribuição temporal de movimentos em um vídeo de saída. O algoritmo foi desenvolvido para operar junto ao MATLAB [24], que oferece a ferramenta *imabsdiff* para comparar duas imagens. O arquivo de saída é um vídeo temporalmente resumido com os episódios de movimentos [3].

Os testes realizados por Islam et al [3] utilizam-se de uma gravação de pouco menos de 5 minutos em resolução de 640x480 pixels, devido a limites computacionais para o processamento de vídeo. Após o processamento o vídeo de saída conteve 37 segundos de duração. A partir deste processamento um gráfico é gerado, apresentando a distribuição e quantidade de movimentos ao longo do período monitorado. A quantidade, intensidade e

distribuição de movimentos pode então ser utilizada para realização de análise e identificação de distúrbios do sono [3].

A vídeo-polissonografia proposta por Islam et al [3] apresenta certos problemas, como a ausência de uma validação mais refinada por parte da frequência de movimentos. No projeto de Islam et al [3] o gráfico final obtido se mostra um espectro de frequência bruto, necessitando de uma etapa de refino do resultado como observado no modelo de actigrafia proposto por Domingues et al [8]. Porém o resultado final revela-se promissor, apresentando uma técnica diferente para detecção de movimentos e que pode ser combinada com outras, como a própria actigrafia, visando resultados mais consistentes.

### 2.4.3 FREQUÊNCIA RESPIRATÓRIA

O monitoramento da frequência respiratória durante o sono revela-se de significativa importância comparado às outras técnicas, uma vez que problemas respiratórios como roncos e apneia representam grande parte dos distúrbios do sono [13, 9, 7]. Desta maneira o monitoramento da frequência respiratória durante o sono tende a apresentar informações valiosas que o monitoramento por meio de outras técnicas podem carecer [7].

Uma forma para captura de dados referentes a frequência respiratória pode ser observada no projeto desenvolvido por Lokavee et al, que propuseram uma técnica de captura a partir do monitoramento de movimentos do tórax com o uso de sensores em travesseiros [7]. O monitoramento é realizado com sensor de força (FSR), capaz de medir a variação analógica do movimento no travesseiro. Os sensores possuem uma espessura de menos de 1 cm, compactos o suficiente para não gerarem grandes transtornos durante o sono [7]. Na Figura 10 é possível ver um modelo do sensor utilizado.



Figura 10. Exemplo de um sensor força FSR [25]

Sensores FSR como o da Figura 10 operam através da detecção de forças e pesos sobre sua superfície. A pressão exercida muda a resistência elétrica (medida em ohms) de acordo com sua força. Uma vez capturados os dados coletados são enviados para um computador ou *tablet* disponível através de um dispositivo de rede ZigBee, que utiliza o padrão IEEE 802.15.4 para comunicação entre dispositivos sem fio. Uma vez armazenados um programa de computador oferece recursos para realização da análise dos dados coletados [7].

A frequência respiratória é diferenciada de movimentos por meio da detecção de interrupção sobre os sensores. Os movimentos cíclicos da respiração são então ampliados para marcação. Na Figura 11, é possível observar o sinal de força detectado pelo sensor ao longo do tempo [7].

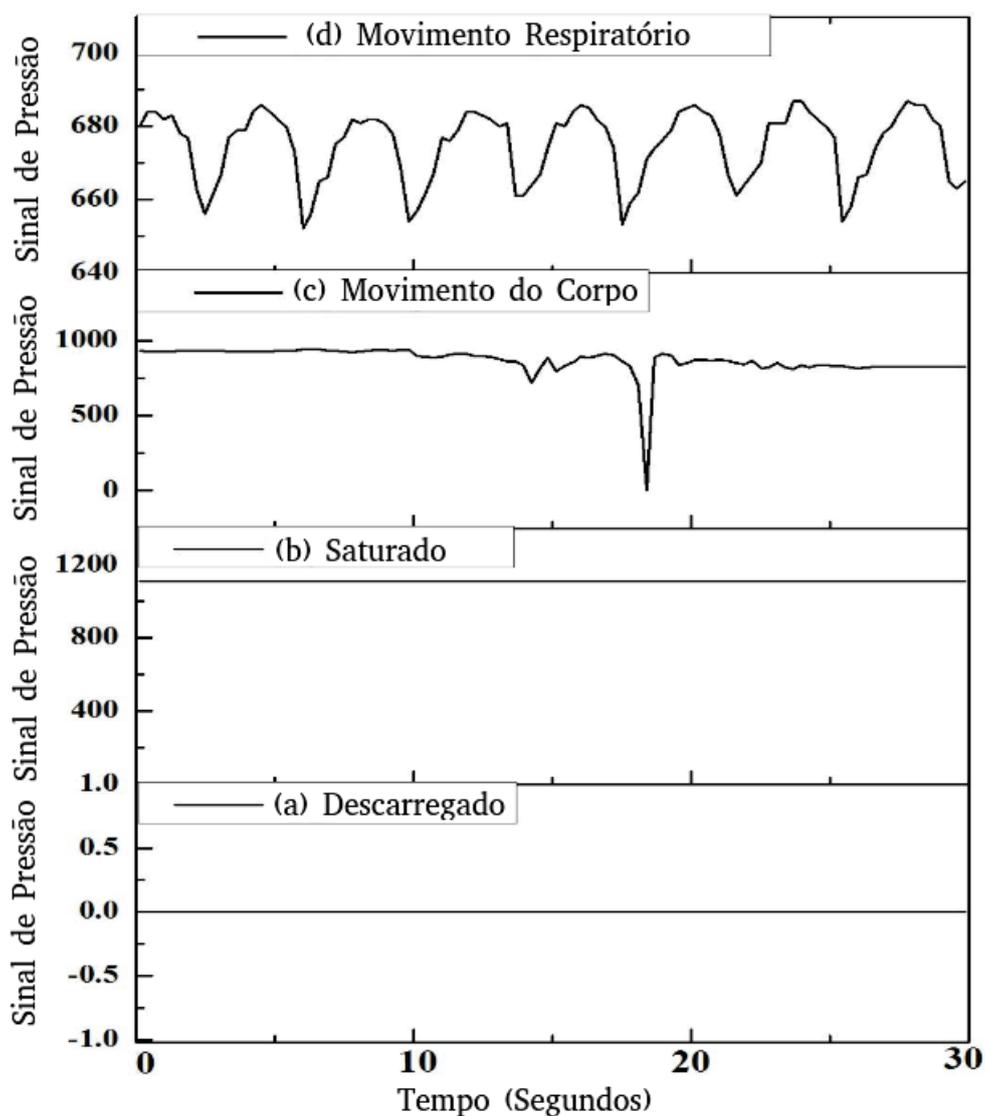


Figura 11. De cima para baixo: frequência de movimentos respiratórios, movimentações do corpo, sensor totalmente carregado e sensor em estado normal.

Como visto na Figura 11, os movimentos respiratórios são cíclicos e geram uma variação previsível de força aplicada sobre os sensores (Figura 11-A), enquanto outros movimentos corporais tendem a gerar variações maiores e não cíclicas (Figura 11-B). Na Figura 11-C e 11-D podemos ver o sensores totalmente carregados e em estado normal respectivamente [7].



Figura 12. Interface do sistema para análise e visualização de dados e resultados coletados.

Os dados coletados podem então ser analisados com o software de monitoramento, desenvolvido em *LABVIEW*, uma linguagem de programação gráfica desenvolvida pela *National Instruments*. Na Figura 12 podemos ver a interface do sistema. O software de monitoramento apresenta graficamente os dados já calculados, com informações referentes ao tempo deitado, tempo acordado e dormindo, latência do sono e sua eficiência e a porcentagem de tempo do sono com presença de roncos [7].

## 2.5 AMBIENTES DE APOIO

Em um cenário clínico real, ambientes de apoio são utilizados para auxiliar no gerenciamento e análise de exames. Sensores que coletam dados tradicionalmente oferecem apenas as informações mínimas necessárias para seu uso, delegando ao sistema de apoio o controle sobre a ferramenta, seus algoritmos e resultados. Durante a pesquisa foram le-

vantados sistemas e ambientes computacionais destinados ao suporte no monitoramento do sono.

Um exemplo pode ser observado na Seção 2.4.3, onde Lokavee et al propuseram um sistema desenvolvido em LABVIEW para o suporte e gerenciamento dos dados coletados em seu sistema de monitoramento de frequência respiratória. Este exemplo ilustra uma das necessidades de um sistema de monitoramento para uso em um ambiente real, a funcionalidade de ler informações coletadas. O sistema de Lokavee et al oferece um relatório geral, detalhando as fases do sono, sua distribuição e duração, ao longo de um período de monitoramento. Porém este sistema carece de formas mais refinadas para qualificação dos resultados, resumindo-se em informá-las [7].

*Smartphones* baseados em Android e iOS possuem uma ampla variedade de aplicativos destinados ao monitoramento do sono. Muitos deles como *Mi Fit* [26] são vinculados a dispositivos físicos como *smartbands*, pulseiras inteligentes destinadas ao monitoramento de frequência. Porém, poucos destes dispositivos e aplicativos oferecem informações públicas sobre seus algoritmos e avaliações, assim como a possibilidade de usar seus dados para aplicações distintas.

Outros dispositivos específicos como o ActTrust (Figura 7), descrito na Seção 2.4.2, costumam oferecer seus próprios softwares de apoio. A Condor Instruments oferece o software ActStudio [27], um sistema desenvolvido para dar suporte ao ActTrust. O ActStudio oferece uma série de recursos aplicáveis aos dados coletados pelo ActTrust, entre elas: leitura dos indicadores do sono (latência, eficiência, consciência após o início do sono, entre outros), análises de ritmos circadianos, relatórios customizados e validação de resultados junto a polissonografia. Assim como outros sistemas descritos neste Capítulo, o ActStudio é um sistema fechado, que não oferece suporte a ferramentas e técnicas diferentes.

Sistemas proprietários oferecem uma grande diversidade de softwares e aplicações destinadas ao suporte da polissonografia, sendo estes geralmente atrelados ao hardware envolvido no exame. Empresas como Cadwell [28], CareFusion [29], CleveMed [30], Compumedics USA [31], entre outras, oferecem equipamento de polissonografia integrados com seus softwares de gerenciamento e apoio a exames. Porém tratam-se de sistemas proprietários cujos algoritmos utilizados não permitem alterações com finalidades acadêmicas.

A partir da revisão realizada pôde ser observada a ausência de um sistema de apoio ao monitoramento do sono, aberto à academia, capaz de operar de forma genérica e transparente quanto ao tipo de monitoramento e origem dos dados coletados. Diversas técnicas de monitoramento pesquisadas não ofereciam nenhum tipo de sistema de apoio próprio [2, 3, 8], aplicações de patente proprietária foram descartadas, visto a dificuldade de serem aplicadas sobre técnicas e algoritmos alternativos.



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta Seção, será apresentado o projeto, as especificações e a implementação do ambiente SleepWeb.

#### 3.1 PROJETO E ARQUITETURA

O ambiente SleepWeb, é um ambiente para análise de dados e monitoramento do sono. Arquetado como um conjunto de serviços web, que coletam dados de diferentes localidades, processando-os e oferecendo resultados para análises qualitativas. Estes serviços comunicam-se por meio de requisições e respostas através da internet, utilizando um conjunto de padrões que permite transparência na comunicação e flexibilidade para inclusão de novas técnicas e instâncias de monitoramento. Na Figura 13, é possível observar a arquitetura do ambiente computacional.

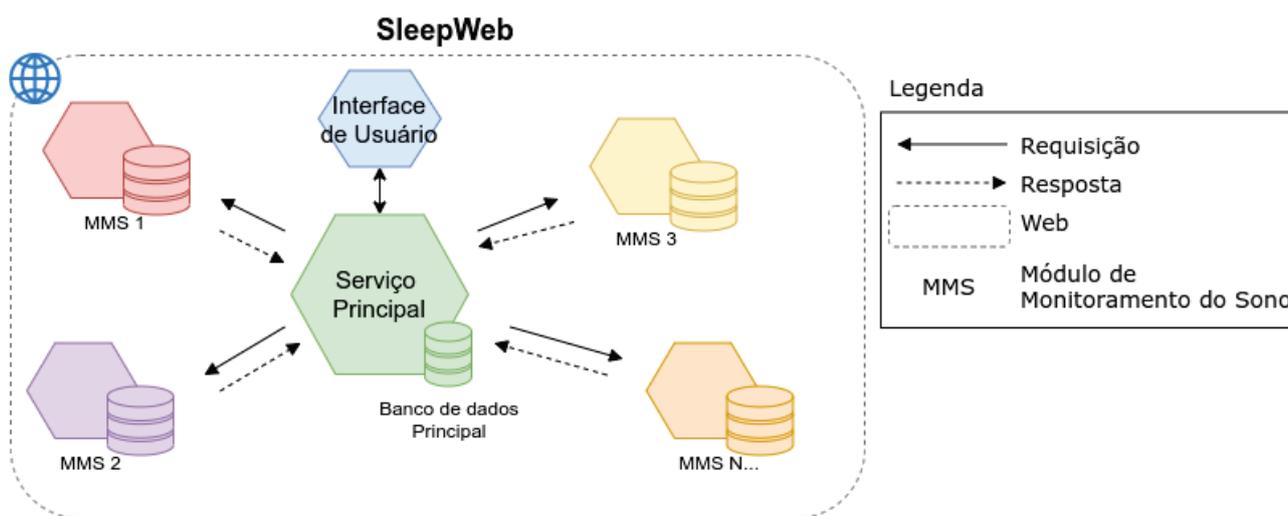


Figura 13. Arquitetura do ambiente Web do SleepWeb

Como observado na Figura 13, o ambiente SleepWeb é composto de por  $N$  serviços, centralizados por serviço principal que oferece uma interface de usuários. Cada serviço de monitoramento representa uma instância de operação de uma técnica de monitoramento. Esta instância pode ser um local ou instituições disponibilizando um serviço de monitoramento para a integração com o ambiente, por meio de uma interface de comunicação web. Uma mesma técnica de monitoramento do sono pode ter  $N$  instâncias diferentes assim como um mesmo local/instituição pode possuir  $N$  instâncias de diferentes técnicas de monitoramento.

O serviço principal opera como consumidor de cada uma das instâncias disponibilizadas. Estas instâncias poderão ser incluídas e removidas do ambiente por meio de um cadastro acessível ao administrador do ambiente. O consumo dos serviços e a sincronização de dados operam de forma automática e dinâmica. Diariamente o sistema realiza a sincronização de dados a partir das instâncias cadastradas, enquanto o usuário pode requisitar dados a partir de um paciente específico.

Um serviço de monitoramento é uma interface de serviços projetada para oferecer transparência ao consumo de dados. Cada técnica de monitoramento pode ser implementada diferentemente, de acordo com os requisitos computacionais e de hardware relativos a ela. O ambiente SleepWeb não delimita linguagens de programação, ferramentas ou hardwares para o monitoramento do sono, mas sim uma interface de serviços e mensagens padronizadas.

Os serviços implementados deverão seguir o modelo *Representational State Transfer* (REST). Um modelo de serviço web, baseado em requisição e resposta via protocolo HTTP [32]. O modelo REST oferece transparência a diversos tipos de tecnologias e linguagens de programação, por possuir uma ampla variedade de *frameworks* aptos ao suporte. Na Figura 14 podemos observar a comunicação entre um serviço REST e um cliente (consumidor do serviço).

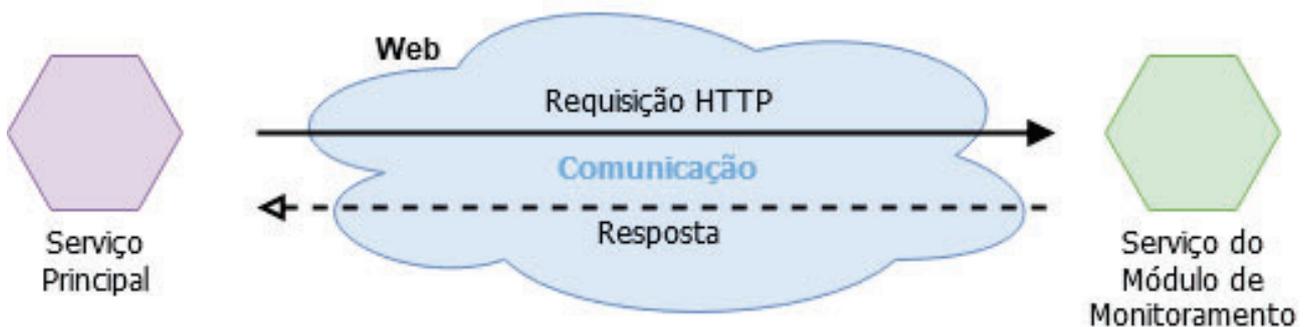


Figura 14. Modelo conceitual da comunicação entre cliente e serviço.

Como observado na Figura 14, o serviço principal opera como consumidor da relação, realizando a requisição inicial, já o serviço do módulo de monitoramento devolve uma mensagem de resposta, contendo as informações requisitadas.

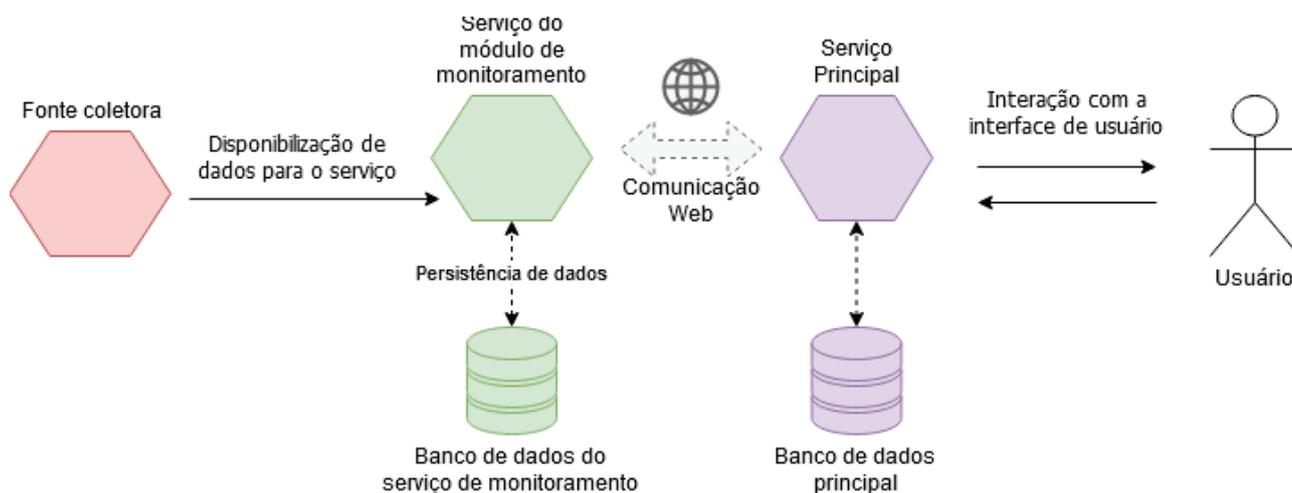


Figura 15. Representação linear da organização dos serviços.

Na Figura 15, observamos uma representação linear da organização dos serviços e componentes do ambiente. A fonte coletora referencia um sistema de monitoramento hipotético, bem como hardware, software e ferramentas envolvidas, sendo essa responsável por obter dados do paciente. Uma vez coletados os dados devem ser disponibilizados para o serviço do módulo de monitoramento, onde serão processados em resultados intermediários e aguardarão a requisição de sincronização vinda do serviço principal. No serviço principal, resultados intermediários serão processados e qualificados, gerando resultados finais.

A interação do usuário com o ambiente será através da interface web, vinculada ao serviço principal. Por meio da interface, médicos e pesquisadores poderão compartilhar dados e resultados de monitoramento, além de construir suas próprias regras de avaliação, baseadas na construção de tabelas qualificativas, utilizando indicadores de qualidade do sono e faixa etária dos pacientes. Os resultados intermediários, obtidos via sincronização, poderão ser avaliados com as regras escolhidas pelos usuários e avaliados de acordo com um índice, que indica a detecção de distúrbios do sono.

## 3.2 ESPECIFICAÇÕES

Nesta Seção será descrito de forma geral as especificações utilizadas para construção e a forma de funcionamento dos principais processos no ambiente SleepWeb.

### 3.2.1 PADRÕES DE COMUNICAÇÃO

A partir da arquitetura descrita (Seção 3.1), cada serviço de módulo de monitoramento implementará uma interface REST de comunicação. Esta interface deverá suportar duas ações: cadastro de pacientes e sincronização. Estas ações são representadas através do complemento da URL base do serviço. A comunicação entre os serviços será realizada via requisições HTTP, formatadas em *JavaScript Object Notation* (JSON) [33]. Na Figura 16, é possível observar um exemplo de requisição e resposta para o consumo de dados de monitoramento do sono.

| Requisição   | Resposta   |
|--|--|
| <pre>{   "begin": "2019-01-01 00:00:00",   "end": "2019-01-01 07:00:00", }</pre> | <pre>[   {     "uuid": "59a9af2b-b5fe-01a7-65ab-234f6936da3d",     "patient": "3e53ae20-c9ef-49a1-9581-f1ff504d66cd",     "begin": "2019-01-01 00:00:00",     "end": "2019-01-01 07:00:00",     "indicators": [       { "indicator": "1", "value": "88.32" },       { "indicator": "2", "value": "15.00" },       { "indicator": "10", "value": "0.00" }     ]   } ]</pre> |

Figura 16. Exemplo de mensagem para sincronização de dados de monitoramento.

Como observado na Figura 16, ambas as mensagens devem ser em formato JSON. No consumo do monitoramento de dados apenas duas informações são enviadas, data inicial e final. Todos os monitoramentos que iniciam-se, no período estabelecido por estas datas devem ser selecionados e convertidos para o formato da mensagem de resposta.

A mensagem de resposta deve conter um código conhecido como identificador único universal (*Universally Unique Identifier*, UUID), representando o monitoramento, e um UUID representando o paciente que foi monitorado. Além destas, deve conter a data de início do sono e a final (despertar) do sono e uma lista (Array) com os indicadores do sono que foram coletados e seus respectivos valores. O indicador do sono coletado deve ser identificado por um código sequencial, enumerado de acordo com os dados da Tabela 3. O formato decimal para a representação dos valores coletados, foi escolhido para evitar

a necessidade de transformações e conversões de tipos, durante a realização dos cálculos internos no sistema.

Tabela 3. Enumeração dos indicadores de qualidade do sono

| Indicador | Descrição                       |
|-----------|---------------------------------|
| 1         | Eficiência do sono              |
| 2         | Latência do sono                |
| 3         | Sono REM                        |
| 4         | Sono não-REM 1 e 2              |
| 5         | Sono não-REM 3 e 4              |
| 6         | Cochilos                        |
| 7         | Duração de cochilo              |
| 8         | Frequência de cochilo           |
| 9         | Excitações                      |
| 10        | Despertar                       |
| 11        | Consciência após início do sono |

### 3.2.2 CADASTRO DE PACIENTES E INTEGRAÇÃO DE DADOS

O cadastro de pacientes no ambiente SleepWeb deverá ser realizado pela interface do serviço principal, de modo a garantir a união lógica dos dados de monitoramentos dos pacientes. Uma vez cadastrado um paciente, o sistema deverá gerar uma *referência* deste paciente, na forma de um UUID. Toda vez que um paciente for cadastrado, ou quando o usuário reenviar o paciente para cadastro nos sistemas de monitoramento, uma mensagem de cadastro será enviada para os serviços de monitoramento vinculados às instituições do paciente. A mensagem de cadastro contará com as seguintes informações:

- Identificador Único Universal (UUID)
- Primeiro nome
- Segundo Nome
- Data de Nascimento
- Gênero (Sexo)

Um dos eventuais problemas que o ambiente pode enfrentar durante sua expansão é a assimetria do ambiente. Para não impedir que monitoramentos sejam realizados e armazenados antes da integração com o SleepWeb, ou, que dados anteriores sejam integrados, o SleepWeb conta com uma ferramenta para a integração de dados. Esta ferramenta será disponibilizada na tela de cadastro de pacientes, e permitirá que um paciente receba referências diferentes, de acordo com o serviço de monitoramento. O cadastro do paciente

poderá ser realizado de forma local, junto ao sistema de monitoramento relacionado ao ambiente SleepWeb. O serviço principal, contará então com uma interface REST, preparada para receber os dados do paciente. Uma vez recebidas as informações do paciente, estas poderão ser relacionadas com o registro principal do paciente.

### 3.2.3 PERMISSÕES E COMPARTILHAMENTO DE DADOS

O ambiente SleepWeb contará com níveis de usuário comum e administrador. Usuários comuns serão médicos e pesquisadores, que utilizarão a maioria das funcionalidades do sistema e conduzirão exames e pesquisas com suporte do SleepWeb. Já administradores serão responsáveis pela manutenção do ambiente, cadastro de novas instâncias de serviço de monitoramento, instituições e usuários. Vale a observação que usuários administradores terão todos os privilégios do sistema, sendo capaz de observar dados de todos os usuários e pacientes. Privilégios serão delegados de forma cumulativa, quanto maior o nível do usuário maiores seus privilégios. Na Figura 17, é possível observar os privilégios de cada usuário por meio de um diagrama de caso de uso.

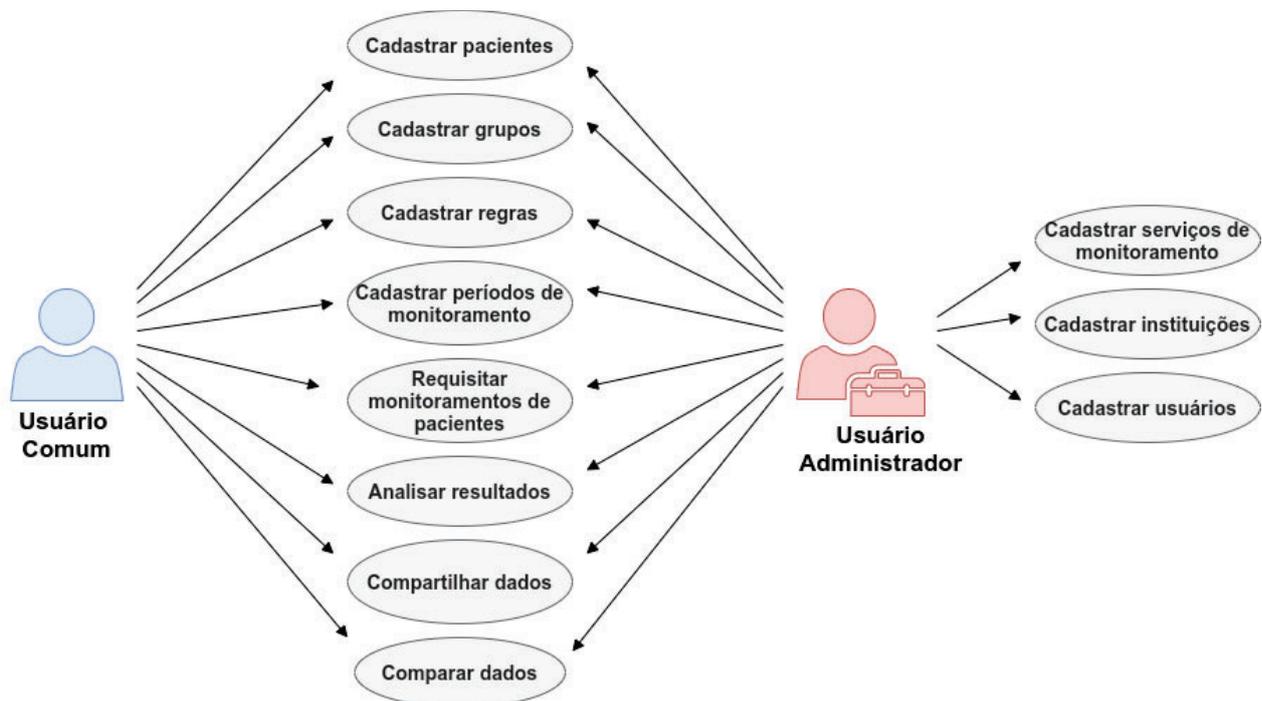


Figura 17. Diagrama de caso de uso para os níveis de usuários

Como observado na Figura 17, usuários administradores poderão utilizar todas as funcionalidades do sistema, além do acesso as funcionalidades restritas à administradores. Desta maneira a delegação do nível de administrador será dada a um grupo restrito de pessoas, responsáveis unicamente pelo gerenciamento e manutenção do ambiente SleepWeb.

No ambiente SleepWeb, os dados dos pacientes, bem como seus monitoramentos, serão sigilosos, podendo ser visualizados apenas pelo usuário que os cadastrou. No entanto, frequentemente instituições e cientistas conduzem pesquisas conjuntas, e tendo em vista a situação, o ambiente oferecerá um sistema de compartilhamento de dados. Através de um cadastro de grupos, usuários poderão compartilhar dados de pacientes selecionados, com usuários e instituições específicas. O compartilhado abrange apenas aos dados de monitoramentos realizados pelos pacientes. Esta funcionalidade visa complementar o sistema de permissões, tornando o sistema flexível para estudos conjuntos. Na Figura 18, pode ser observada a representação de um grupo de compartilhamento.

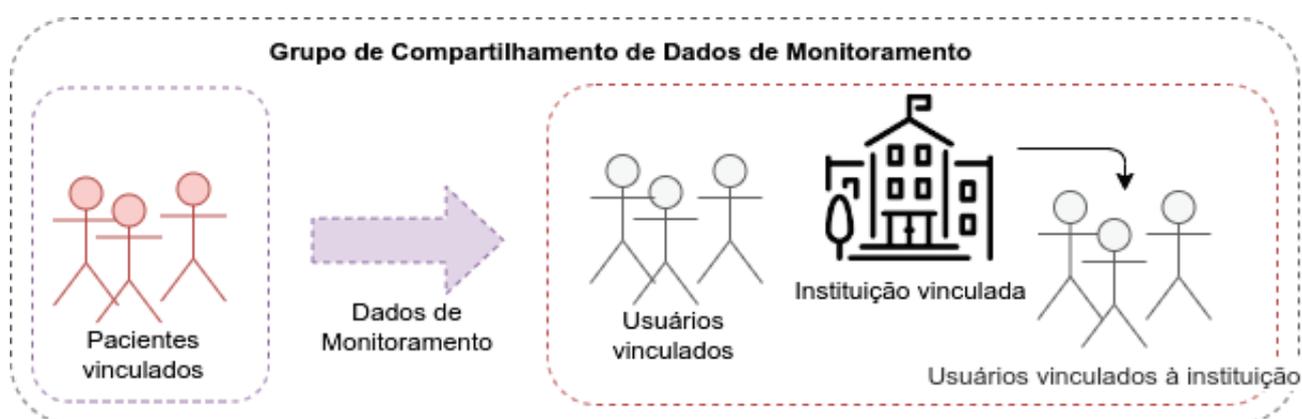


Figura 18. Representação visual de um grupo de compartilhamento de dados

Como visto na Figura 18, os dados dos pacientes vinculados ao grupo são compartilhados diretamente com o usuários vinculados ao grupo, ou, as instituições vinculadas. Quando compartilhado com instituições, todos os usuários vinculados a estas recebem acesso aos dados de monitoramento dos usuários vinculados ao grupo.

Todos os usuários terão permissão de cadastrar grupos, porém, podem editar apenas os seus próprios. Usuários também não poderão alterar os dados de pacientes, compartilhados pelo sistema de grupos. O objetivo geral do recurso, é oferecer a possibilidade do compartilhamento de dados de monitoramento, para testes de regras de avaliação, técnicas de monitoramento, e outros.

### 3.2.4 REGRAS DE AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DO SONO

O processo de avaliação da qualidade do sono será baseado no conceito das tabelas de qualificação dos indicadores do sono (Seção 2.2, Figura 1). O conceito será baseado na construção de tabelas de qualidade personalizadas, onde o usuário terá capacidade de construir suas próprias tabelas. Cada indicador de qualidade terá sua própria tabela, dividida em faixas etárias. Para cada faixa etária, um conjunto de limites definirá a porção dos valores onde os resultados serão **apropriado**, **inapropriado** e **incerto**. Na Tabela 3 podemos ver a enumeração dos indicadores que poderão ser utilizados para implementação das tabelas.

Na Tabela 3, pode-se ver que os indicadores apontados na Seção 2.2 são enumerados de **1 a 11**. Vale a observação a respeito da agregação dos estágios não-REM, reduzindo-os a dois níveis, um para "Sono não-REM 1 e 2", e outro para "Sono não-REM 3 e 4". A existência do estágio não-REM 4 é debatida na academia, além de que boa parte das técnicas de monitoramento, como a proposta por Scherz et al (Seção 2.4.1), não distingue muito bem estes estágios. Desta maneira, os estágios não-REM foram simplificados em dois níveis.

O conceito da avaliação de qualidade é mapear intervalos de valores, onde os resultados quantitativos coletados dos serviços de monitoramento possam ser qualificados. Por exemplo: Se um determinado monitoramento responder **76%** de **eficiência do sono**, o sistema consultará na tabela relativa, em qual intervalo o valor se encaixa e qual seu valor qualitativo. Na Figura 19 pode se observar a curva de qualidade com os intervalos estabelecidos.

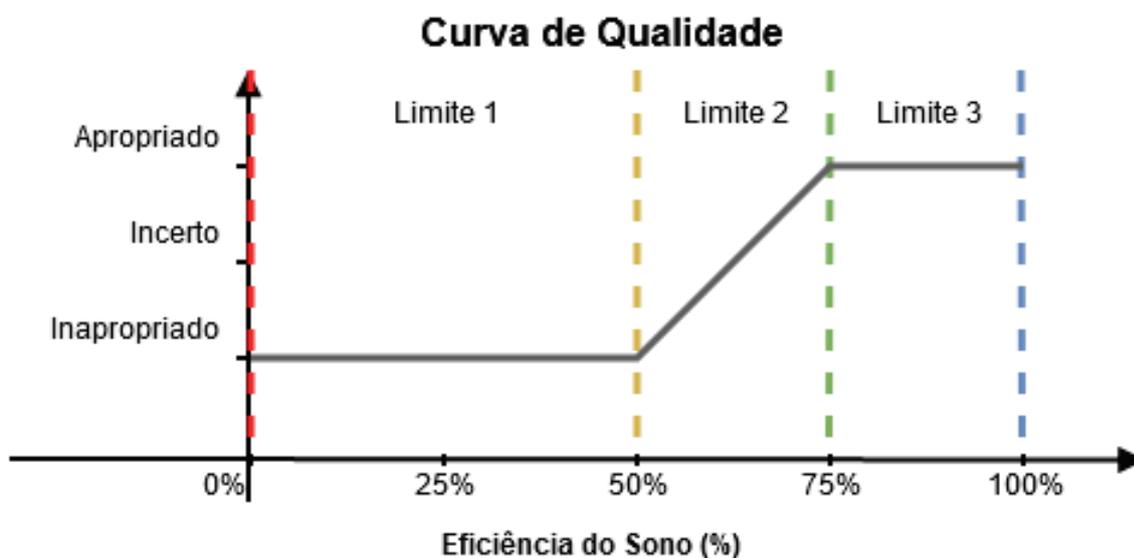


Figura 19. Representação de uma curva de qualidade para eficiência do sono.

Seguindo o exemplo com o uso da curva de qualidade observada na Figura 19, o valor **76** seria identificado como dentro do **intervalo 3** sendo qualificado como um valor **Apropriado**. No ambiente SleepWeb, estas tabelas serão construídas dentro do sistema **Regras de Avaliação**. Neste sistema, os usuários do ambiente poderão cadastrar regras de avaliação, a partir da construção de tabelas qualificativas. O sistema oferecerá flexibilidade para escolha de quais indicadores serão utilizados na regra, bastando não construir uma tabela qualificativa para os indicadores não utilizados. Desta maneira o sistema de regras de avaliação flexibiliza ao usuário definir não apenas os intervalos de qualidade, mas também quais indicadores serão utilizados.

Uma regra de avaliação é formada por um conjunto de tabelas (pelo menos uma), onde cada tabela contém os intervalos e valores qualificativos destes. Para avaliação final da qualidade de sono, qualidades obtidas para cada indicador devem ser combinadas e calculadas, para gerar um resultado final sobre um monitoramento específico. Para este procedimento final, entra o *fator de cálculo*. Na Figura 20 pode-se observar uma representação visual de uma regra de avaliação.

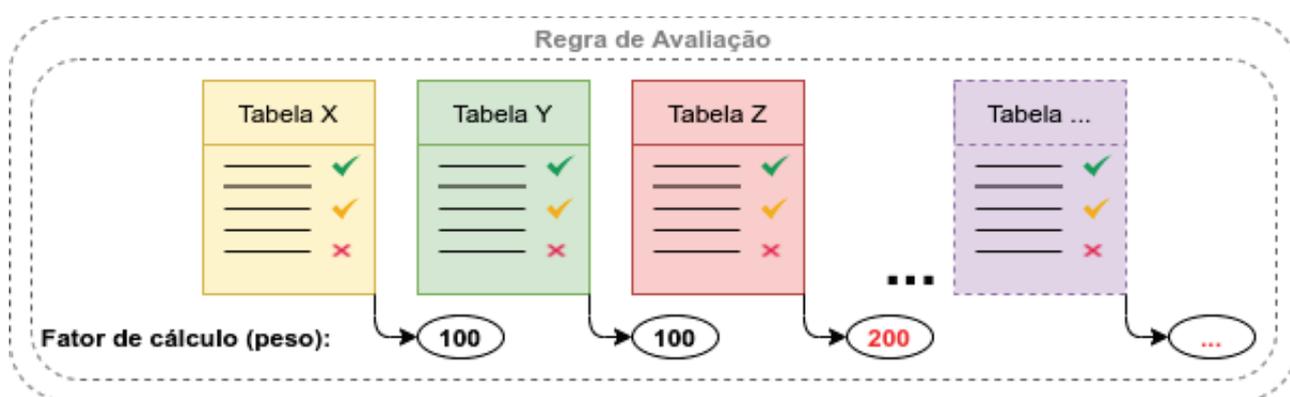


Figura 20. Representação de uma regra de avaliação, com destaque para o fator de cálculo.

Como observado na Figura 20, o fator de cálculo (FC) é utilizado para realizar o balanceamento entre os indicadores, de acordo com a relevância que cada indicador tem, e sua contribuição do resultado final. Uma vez que os usuários do ambiente podem dar mais importância a determinado indicador, o FC permite flexibilizar a relevância de cada indicador.

Imaginando uma regra contendo três tabelas, para três indicadores quaisquer: X, Y e Z. Supondo que as tabelas de indicadores X e Y tenham um fator de cálculo 100, enquanto o indicador Z possui um fator de cálculo 200, pode-se afirmar que Z é responsável por 50% do resultado final do cálculo de avaliação da qualidade do sono. O fator de cálculo padrão deve ser um número inteiro, que possa ser dividido ao meio, para o processamento correto do cálculo de qualidade, e este pode ser alterado manualmente pelo usuário, durante o cadastro da regra de monitoramento.

### 3.2.5 ÍNDICE DE DETECÇÃO DE DISTÚRBIOS DO SONO

A qualificação final do sono, um dos objetivos do ambiente SleepWeb se dará a partir do processamento dos indicadores coletados e a qualificação destes, segundo as tabelas construídas pelo usuário, como observado na Seção 3.2.4. No entanto, um resultado fechado como **apropriado** ou **inapropriado**, pode não ser eficiente para mensurar toda a complexidade do sono. Desta maneira foi conceitualizado um sistema de índice, onde resultados de múltiplos indicadores de qualidade do sono são condensados de forma a oferecer um resultado final simplificado.

O sistema de índices gerados a partir de indicadores não é totalmente novo, tendo já sido utilizado por exemplo na *Escala de Coma de Glasgow* [34] e no *Índice Pulmonar Integrado* [35]. A Escala de Glasgow é uma forma de avaliar a profundidade do coma de um paciente, através da rápida identificação de respostas a estímulos motores, visuais e auditivos. O nível das respostas para cada estímulo permite a comparação com tabelas e a classificação da profundidade do coma, bem como o risco de morte do paciente [34]. Já o Índice Pulmonar Integrado (IPI) é utilizado para identificar a necessidade de suporte a respiração por meio de equipamentos. Realizando exames de detecção da concentração de dióxido de carbono e oxigênio no sangue, uma fórmula calcula um resultado final que pode ser comparado à uma tabela, indicando se o paciente precisa de suporte a aparelhos para respiração e sua urgência [35].

Utilizando conceitos como os observados pela Escala de Glasgow e o Índice Pulmonar Integrado, o SleepWeb implementa um **Índice de Detecção de Distúrbios do Sono (IDDS)**. O conceito do IDDS é indicar a ocorrência de anormalidades ou distúrbios do sono, em um grau de intensidade que vai de **0 a 10**, sendo que quanto menor o valor, maior o número de distúrbios ou anormalidades detectadas pela leitura dos indicadores e consequentemente pior a qualidade do sono. Na Figura 4 pode-se observar a tabela de índices com as avaliações possíveis pelo processo de cálculo do *Índice de Detecção de Distúrbios*.

Tabela 4. Índice de Detecção de Distúrbios do Sono

| Indicador | Descrição                           |
|-----------|-------------------------------------|
| 10        | Nenhum distúrbio observado          |
| 9-8       | Pequenas alterações e anormalidades |
| 7-6       | Distúrbios leves observados         |
| 5-4       | Distúrbios moderados observados     |
| 3-0       | Distúrbios graves observados        |

Para obter o IDDS de um monitoramento, uma sequência de cálculos devem ser realizados, a partir do uso do fator de cálculo e suas reduções. A primeira parte do cálculo

deve ser a obtenção do do fator base, que é a soma dos fatores de cálculo de todas os indicadores de qualidade do sono utilizados na regra (Equação 2).

$$FB = \sum_{i=1}^n FC_i \quad (2)$$

Uma vez obtido o fator base, deverá ser obtido o fator avaliado de cada um dos indicadores de cálculo. fator avaliado é a redução do fator de cálculo, conforme seu resultado. O fator de cálculo é reduzido em 0% em resultados apropriados, 50% em resultados incertos e 100% em resultados inapropriados. Por exemplo, se um indicador qualquer possui um fator de cálculo de 100, e seu valor coletado no monitoramento for avaliado como apropriado, seu valor será mantido igual. Caso seja avaliado como incerto, será reduzido para 50. E por fim, se for avaliado como inapropriado, será reduzido para 0. A fórmula do cálculo do fator avaliado pode ser vista na Equação 3

$$FA_i = FC_i - \begin{cases} 0\%, & \text{sss } Q_i = \text{Apropriado} \\ 50\%, & \text{sss } Q_i = \text{Incerto} \\ 100\%, & \text{sss } Q_i = \text{Inapropriado} \end{cases} \quad (3)$$

A partir do somatório, do fator avaliado, de todos os indicadores utilizados na regra, obtém-se o fator de divisão (Equação 4). O fator avaliado, é o valor que será utilizado o cálculo de porcentagem, utilizado como parte da fórmula final do cálculo do IDDS.

$$FD = \sum_{i=1}^n FA_i \quad (4)$$

Por fim, através do cálculo do índice (Equação 5), obtém-se o valor final da avaliação de uma regra. A Equação 5 é basicamente a divisão por 10 do percentual de FD relativo ao FB.

$$IDX = \frac{\left(\frac{FD \cdot 100}{FB}\right)}{10} \quad (5)$$

O resultado da equação será um número que poderá ser consultado junto a tabela de índices (Figura 4), representando o resultado final da avaliação de qualidade de sono de um exame de monitoramento realizado.

### 3.3 IMPLEMENTAÇÃO

Nesta Seção serão descritas as tecnologias e ferramentas utilizadas para implementação de cada um dos componentes do ambiente de testes. A descrição será dividida entre o serviço principal e o serviço conceitual de monitoramento.

#### 3.3.1 SISTEMA PRINCIPAL

Como descrito na Seção 3.1, o serviço principal é responsável por duas funções principais: suportar a interface de usuário, e consumir e processar dados dos serviços de monitoramento.

Objetivando tornar a implementação mais flexível para futuras alterações e melhorias, o serviço principal foi dividido em duas aplicações. A primeira sendo a Interface de Usuário, e a segunda uma *Interface de Programação de Aplicações* (API), sendo essa responsável por consumir os serviços de monitoramento e processar resultados. Na Figura 21, é possível observar a organização dos componentes que formam o serviço principal.

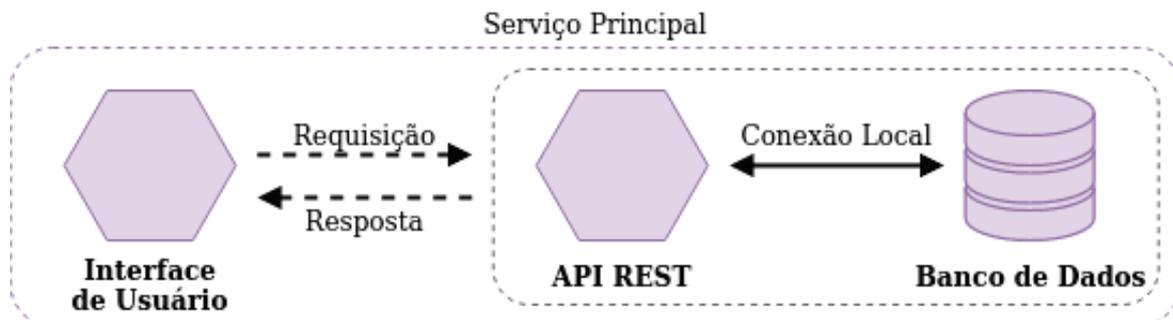


Figura 21. Organização dos componentes do serviço de principal

Como visto na Figura 21, a interface de usuário é uma aplicação que consome dados da API, por meio de requisições e respostas seguindo o padrão REST (O mesmo utilizado entre o serviço principal e os serviços de monitoramento). No serviço REST foram implementadas todas as regras de comunicação e processos automatizados referentes ao gerenciamento do ambiente. A implementação foi realizada com Django e o apoio do Django REST Framework [36], para tornar mais rápida e padronizada a implementação da aplicação. A API REST realiza conexão direta com o banco de dados principal, implementado com PostgreSQL [37].

Para a implementação da interface de usuário foi utilizado jQuery [38], Bootstrap 4 [39], para construção do layout e implementação dos eventos e funcionalidades visuais. Chart.js [40] foi utilizado para construção dos gráficos de visualização de dados. Para a

sustentação da aplicação foi utilizado Django [41], que também serviu de base para a API REST.

A interface de usuário foi implementada com suporte a internacionalização, sendo implementada nativamente em inglês e traduzida para português. Novos idiomas poderão ser implementados por **desenvolvedores** que tiverem interesse em contribuir com a expansão do projeto. Na Figura 22, é possível observar a tela inicial do sistema para usuários.

The screenshot shows the SleepWeb dashboard interface. At the top, there is a navigation bar with the following items: SleepWeb, Admin, Registers, Data Analysis, and a user profile for Matheus Hernandez. Below the navigation bar, the dashboard is divided into two main sections: 'Recent data' and 'Notifications'.

The 'Recent data' section contains a table with the following columns: Patient, Date Begin, and Date End. The table lists 10 entries for 'Patricia da Silva' with dates ranging from 01/01/2019 to 10/01/2019. Below the table, it indicates 'Showing 1 to 10 of 10 entries'.

The 'Notifications' section displays four notification cards, each with a close button (X):

- New processed data received (Green)
- New data shared with you (Light Blue)
- New data shared with you (Light Blue)
- Data processing failed (Red)

At the bottom of the dashboard, there is a footer that reads: 'Developed by Matheus R. Hernandez - University of Passo Fundo - 2019'.

Figura 22. Leiaute básico da tela inicial do sistema.

Como visto na Figura 22, a tela inicial do SleepWeb é um *dashboard*, contendo algumas informações. No lado esquerdo é possível observar os dez últimos monitoramentos recebidos pelo usuário, listando dos mais recentes para os mais antigos. Esta tabela de dados funciona como uma lista simples, permitindo visualizar rapidamente sobre novos dados sincronizados. Já ao lado direito, pode ser observado um quadro de notificações, por onde poderão ser realizados alertas e avisos, como entrada de novos dados, falha no processo de avaliação, ou mesmo, compartilhamento de dados de monitoramento de outros pacientes. As notificações deverão ficar disponíveis até que o usuário as marque como visualizadas.

Já na Figura 23, pode ser observado a tela de cadastro para grupos de compartilhamento de dados de monitoramento. Na Interface de usuário do SleepWeb, todas as telas de cadastro seguem o mesmo modelo, oferecendo uma listagem dos dados já cadastrados, delimitando-os pelo usuário que os cadastrou, e um formulário para cadastro e atualização de dados.

SleepWeb Registers Data Analysis Jaspion Dalleon

Patients / Update

Save Cancel

**Identification**

9

**First Name**  **Last Name**

**Birth Date**   **Gender**

**Institutions** Details

+ Add Institutions Remove

| # | Name                        | Contry        |
|---|-----------------------------|---------------|
| 3 | Universidade de São Paulo   | Brazil        |
| 1 | Universidade de Passo Fundo | Brazil        |
| 4 | Hardvard University         | United States |

Figura 23. Formulário de cadastro e edição de dados de pacientes

Os cadastros desenvolvidos, para atender as funcionalidades desejadas na primeira versão do ambiente SleepWeb foram:

- Instituições
- Usuários
- Sistemas de Monitoramento
- Indicadores de qualidade do sono
- Faixas Etárias
- Pacientes
- Grupos de Compartilhamento
- Regras de Avaliação
- Períodos de Monitoramento

### 3.3.2 SERVIÇO DE MONITORAMENTO CONCEITUAL

Para demonstração do processo de comunicação do ambiente foi implementado um serviço de monitoramento conceitual (SMC). Este serviço implementa apenas a interface de comunicação, sincronizando dados e cadastrando pacientes e um banco de dados, seguindo os requisitos descritos na Seção 3.2.1. O serviço REST foi implementado com os *frameworks* Flask [42] e Flask Restful [43].

O SMC utiliza um *mock* de dados para teste de sincronização. *Mock* é uma base de dados fictícios, formatados e normalizados para simular dados reais. Este *mock* foi armazenado em um banco de dados PostgreSQL [37]. Na Figura 24, é possível observar a organização do SMC e sua relação com o serviço principal.

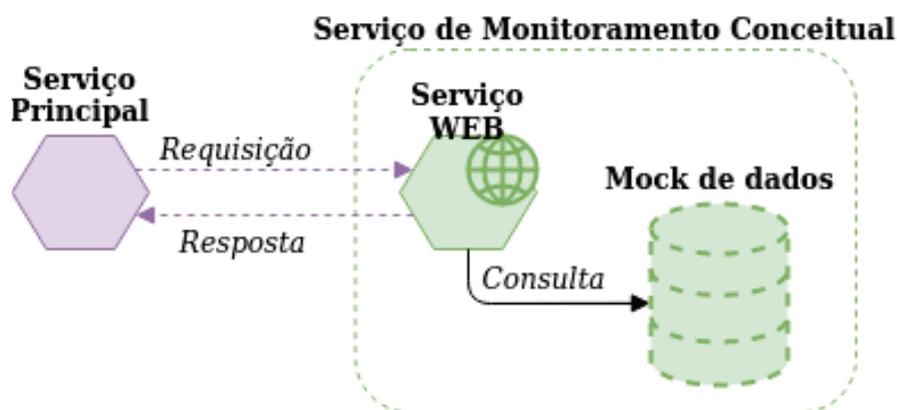


Figura 24. Organização dos componentes do serviço de monitoramento conceitual (SMC)

Como visto na Figura 24, o SMC implementa a interface REST por onde o serviço principal do SleepWeb realiza requisições. O SMC implementa ambas funcionalidades de sincronização de dados de monitoramento e cadastro de pacientes. Durante a fase de validação, múltiplas instâncias do SMC foram utilizadas, em diferentes servidores, para simular a distribuição do ambiente. A implementação do SMC já está sendo utilizada, como referência para futuros projetos, que implementarão sistemas de monitoramento do sono reais.



## 4. RESULTADOS

Neste Capítulo serão apresentados resultados obtidos por meio de testes, simulação e integração do ambiente SleepWeb.

### 4.1 BASE DE DADOS UTILIZADA E INTEGRAÇÃO DO AMBIENTE

Para realizar a validação do ambiente, foram realizados testes e simulações, desde a comunicação entre serviços, localizados em diferentes servidores, até a análise dos dados coletados. Um ambiente de validação foi montado, utilizando-se servidores web reais, simulando um ambiente onde o SleepWeb estivesse operando com dois serviços de monitoramento integrados. Cada um dos serviços foi implementado seguindo o modelo do SMC (Seção 3.3.2), contendo uma base dados fictícios (Mock), simulando uma variação de qualidade ao longo de um mês de exames de monitoramento do sono, de pacientes em diferentes faixas etárias. Ambos os serviços foram hospedados em servidores, mantidos pela *Digital Ocean* [44], e seus custos e despesas quitados sem apoio de nenhuma instituição.

Além do *mock* de dados, foram utilizados dados a partir da primeira integração do ambiente, com um sistema de monitoramento de qualidade do sono. Um sistema baseado em actigrafia seção 2.4.2 foi integrado ao ambiente, desenvolvido e projetado pelo estudante bolsista Gustavo Rauber Ebone, da Universidade de Passo Fundo. O sistema faz parte de um trabalho de conclusão de graduação, temporariamente intitulado "Monitoramento da qualidade do sono a partir da frequência de movimentos". O trabalho de Gustavo faz parte do projeto "Sistema e-Lifestyle: uma solução e-Health para monitoramento das condições de saúde de pacientes hipertensos", coordenado pela Professora Dra. Ana Carolina De Marchi, também da Universidade de Passo Fundo e financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ). O sistema desenvolvido pelo Gustavo, encontra-se em fase inicial de desenvolvimento, onde os trabalhos estão focados no processamento dos dados de acelerômetros, para obtenção de indicadores de qualidade.

No momento da validação do ambiente SleepWeb, o sistema desenvolvido pelo estudante Gustavo, já era apto a gravar alguns indicadores, tornando fácil a adaptação do SMC (Seção 3.3.2) para utilização destes dados. Os indicadores coletados pelo trabalho foram: eficiência, latência, despertares e percentuais de sono, excitações e consciência após o início do sono. Novos parâmetros poderão ser incluídos do projeto ao longo da pesquisa, que deverá prosseguir ao longo do ano de 2020.

Com a utilização do *mock* de dados e a base de dados de actigrafia, duas instâncias do SMC com dois bancos de dados distintos foram implementados. Os testes de

simulação foram realizados sobre ambas os serviços, buscando testar funcionalidades analíticas e o compartilhamento de dados.

A regra de avaliação utilizada para validação, seguiu as quantidades indicadas pela *National Sleep Foundation* (Seção 2.2), de acordo com sua publicação: "National Sleep Foundation's sleep quality recommendations: first report"[16]. A regra de avaliação foi baseada nas recomendações da publicação da *National Sleep Foundation*, para aproximar-se de cenários reais de avaliação de qualidade do sono. No entanto, apenas os indicadores oferecidos pelo projeto de actigrafia integrado foram utilizados. Todos os indicadores de qualidade receberam um fator de cálculo de 100, com o objetivo de manter uma uniformidade na importância destes ao resultado final. Dados para delimitação das regras de avaliação, como faixas etárias e a indexação dos indicadores de qualidade do sono, foram disponibilizados no sistema por meio de cadastros, acessíveis ao usuário de nível administrador.

## 4.2 ANÁLISE DE EXAMES DE MONITORAMENTO

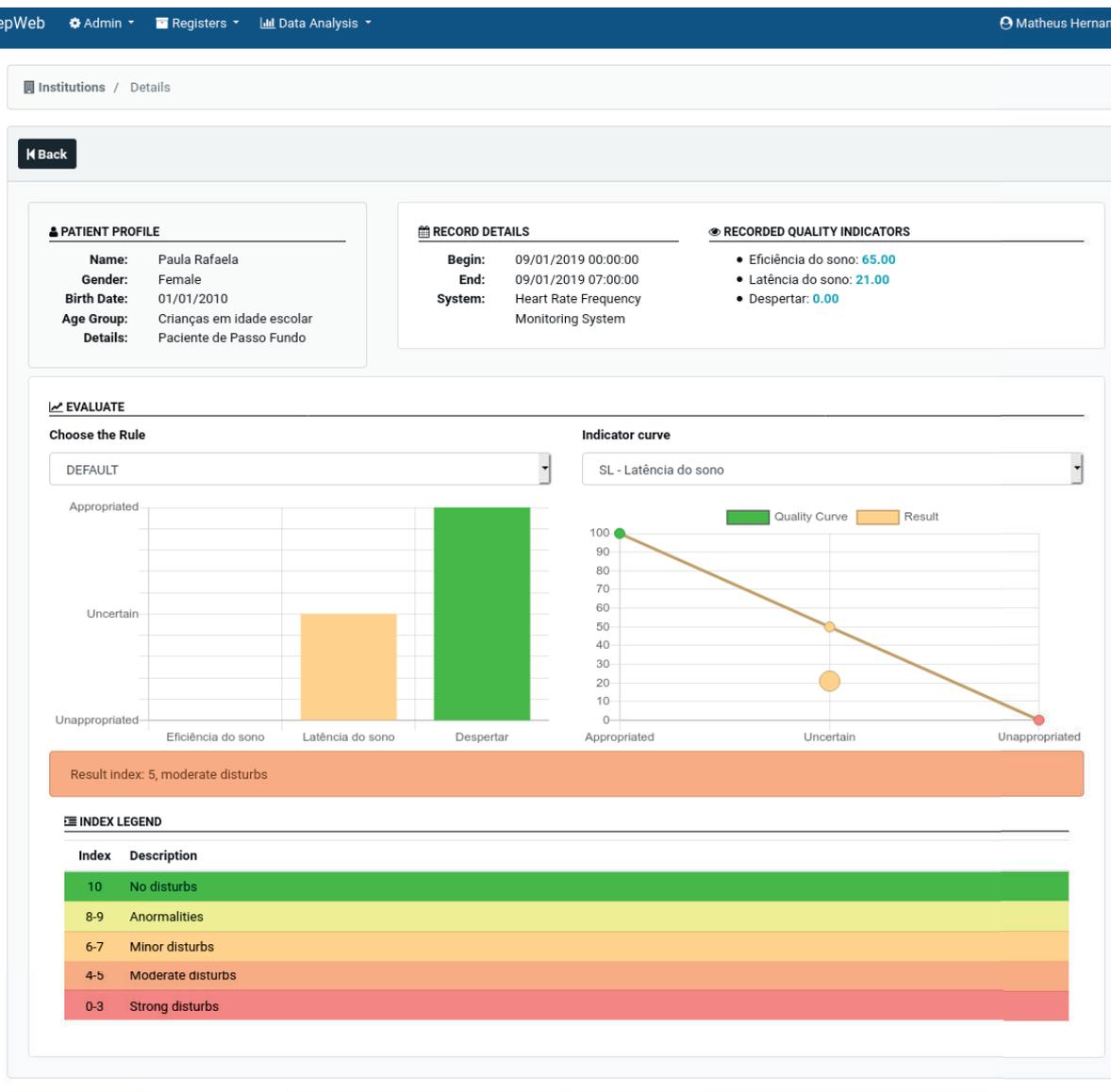
O primeiro processo analítico implementado foi a avaliação de qualidade do sono, a partir do processamento de exames individuais. A escolha foi tomada com o objetivo de validar as fórmulas e os cálculos realizados com as regras de monitoramento. As funções implementadas então puderam ser reaproveitadas para o monitoramento de exames por períodos.

Na tela *monitoramentos* no menu de análise de dados, são listados todos os registros de exames dos pacientes cadastrados pelo usuário ativo na sessão, bem como os exames dos pacientes compartilhados por outros usuários. Ao clicar duas vezes em um registro ou selecionar um exame e clicar na opção *Visualizar*, é carregada a tela de análise individual. Na Figura 25, podemos observar a organização básica da tela de análise individual. Esta tela é organizada como um painel de informações sobre o exame. No topo da página são exibidos dados gerais do paciente, como nome, gênero, idade e detalhes gerais sobre o exame, como início e fim da realização e uma listagem com os indicadores coletados. Na área logo abaixo são realizadas operações analíticas sobre o exame selecionado.

Para realizar uma avaliação de qualidade do sono, o usuário deve selecionar uma regra de monitoramento compatível com os indicadores coletados pelo sistema. No campo de seleção ao lado esquerdo estarão listadas as regras de monitoramento compatíveis. Uma vez selecionada a regra, o monitoramento será processado e o seu resultado indexado de acordo com a mesma.

Dois gráficos serão disponibilizados para visualização do resultado da avaliação, um para visualização do resultado **apropriado**, **incerto** ou **inapropriado**, para todos os indicadores coletados. Já o segundo é responsável pela visualização das curvas de quali-

dade e onde os indicadores se encontram na mesma. Para tal, o usuário deve selecionar qual curva de qualidade ele quer observar. Por fim, na parte inferior do painel, observado na Figura 25, poderá ser visualizado o índice obtido pela avaliação de qualidade do sono, bem como uma tabela com os índices possíveis.



Developed by Matheus R. Hernandes - University of Passo Fundo - 2019

Figura 25. Tela de análise de exames de monitoramento individuais

Na Figura 25, pode ser visualizada a tela de análise, referente a um monitoramento onde foram coletados três indicadores de qualidade. A curva de qualidade visualizada é referente à latência do sono, apresentando um classificação de qualidade incerta. O círculo maior do gráfico deverá alinhar-se com a classificação que este recebeu, sendo que a proximidade do valor, com o início de outro limite de qualidade não deve alterar seu alinhamento no gráfico.

### 4.3 ANÁLISE DE PERÍODOS DE MONITORAMENTO

Para condução de exames ao longo de um período de monitoramento, foi implementado para o SleepWeb uma ferramenta de análise por períodos. Cadastrando um período, o sistema é capaz de coletar e processar dados, para observação da variação de qualidade ao longo de um período. Estes períodos cadastrados devem delimitar os dados consultados, por paciente, técnica de monitoramento e escolher uma regra de avaliação que será utilizada para obtenção do índice de qualidade. Na Figura 26, pode ser observada a tela de cadastro de períodos e suas delimitações.

The screenshot shows the 'Monitoring Periods / Update' form in the SleepWeb application. The form is divided into several sections:

- Identification:** A text input field containing the number '6'.
- Patient:** A dropdown menu showing 'Patricia da Silva' and a 'Find Patient' button.
- System:** A dropdown menu showing 'Heart Rate Frequency Monitoring System' and a 'Find System' button.
- Rule:** A dropdown menu showing 'DEFAULT' and a 'Find Rule' button.
- Start Date:** A date input field showing '01/01/2019' with a calendar icon.
- End Date:** A date input field showing '01/01/2020' with a calendar icon.

At the top of the form, there are 'Save' and 'Cancel' buttons. The top navigation bar of the application is visible, showing 'SleepWeb', 'Admin', 'Registers', 'Data Analysis', and the user name 'Matheus Hernandes'.

Developed by Matheus R. Hernandes - University of Passo Fundo - 2019

Figura 26. Tela de cadastro de períodos de monitoramento

Uma vez cadastrado, período pode ser selecionado e uma tela de visualização será apresentada, alimentada pelos dados de monitoramentos filtrados pelos delimitadores cadastrados. Na Figura 27, pode-se observar a tela de visualização de dados do período. A tela de visualização do período forma um painel, dividido em duas áreas principais. No topo é possível observar a qualidade do sono por meio da representação de um calendário. Cada quadrado representa um dia, sendo os quadrados coloridos referentes a dias onde monitoramentos foram realizados, as cores representam a tabela de índices que pode ser

observada na parte inferior do quadro. Já no quadro inferior, é possível observar a oscilação do índice de qualidade do sono ao longo de um período, por meio de um gráfico de linha.

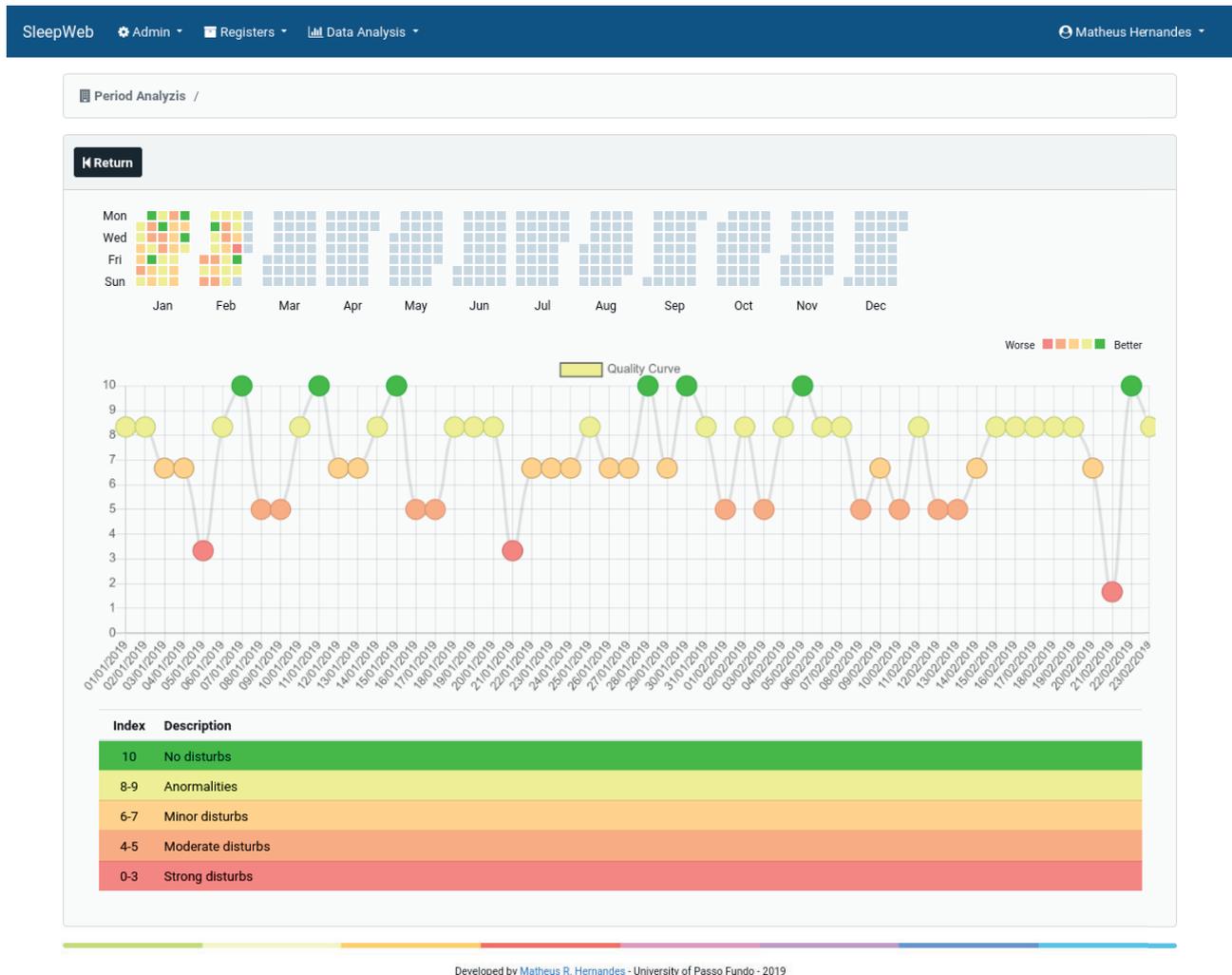


Figura 27. Tela de cadastro de períodos de monitoramento

O gráfico principal, em linha, da Figura 27, apresenta outras informações, além do valor final do IDDS. Na Figura 28, podemos observar informações adicionais como os indicadores coletados e suas quantidades. Estas informações ficam visíveis quando o ponteiro do *mouse* passar por cima de um dos círculos do gráfico. Os indicadores visualizados serão os mesmos utilizados na regra de monitoramento, utilizada no período.



Figura 28. Balão com informações adicionais sobre o monitoramento

A tela de períodos de monitoramento poderá ser utilizada de formas diferentes, por exemplo para a construção de períodos de monitoramento, que buscam detalhes sobre indicadores específicos. Além da avaliação principal, a possibilidade de identificar efeitos de tratamentos, ou mesmo análises comportamentais que interfiram no sono, podem ser de grande interesse por parte dos usuários do sistema.

#### 4.4 COMPARTILHAMENTO DE DADOS

Por fim, foram realizados testes de compartilhamento e cadastros de pacientes. Alternando-se entre dois usuários diferentes, foram testados os grupos de compartilhamento. Testes foram realizados com dois grupos diferentes, um compartilhando dados com usuários, e outro com instituições. Os pacientes utilizados no teste, foram tanto cadastrados de forma local, como remotamente, e suas referências foram ligadas por meio do sistema de referência, descrito na Seção 3.2.2. Na Figura 29, pode-se observar a tela de ligação de referência para o cadastro de pacientes remotos.

Como observado na Figura 29, o sistema de ligação apresenta uma lista de pacientes, indicando seus nomes ou descrições e o sistema de monitoramento (instância) de onde foram sincronizados. Quando confirmada a ligação, esta será realizada com o paciente selecionado na listagem principal de pacientes.

O objetivo desta etapa de validação, foi simular o comportamento do sistema, em um ambiente distribuído real, bem como a experiência de usuário. O ambiente demonstrou consistência em sua utilização, ainda que alguns itens técnicos, como segurança, desempenho e usabilidade do sistema, possam ser melhorados em futuras atualizações. Novos testes deverão ser realizados ao longo do ano de 2020, quando este deverá ser integrado com o projeto de actigrafia finalizado.

SleepWeb Admin Registers Data Analysis Matheus Hernandez

Patients /

Save Cancel

Click on remote references that are related with the patient **Patricia da Silva**

| Patient name / description | Monitoring System                      | Monitoring System Institution |
|----------------------------|--|-------------------------------|
| Patricia da Silva          | Heart Rate Frequency Monitoring System | Universidade de Passo Fundo   |
| John Doe                   | Heart Rate Frequency Monitoring System | Universidade de Passo Fundo   |
| Paula Rafaela              | Heart Rate Frequency Monitoring System | Universidade de Passo Fundo   |

Showing 1 to 3 of 3 entries

Developed by Matheus R. Hernandez - University of Passo Fundo - 2019

Figura 29. Tela de ligação de referência entre pacientes cadastrados externamente



## 5. CONCLUSÃO

Neste Capítulo serão apresentadas as conclusões gerais acerca da realização da pesquisa e desenvolvimento do ambiente SleepWeb, bem como a sugestão de trabalhos futuros que possam contribuir com esta pesquisa.

### 5.1 CONSIDERAÇÕES

Através da realização deste trabalho, foi possível observar os esforços de pesquisadores em encontrar formas alternativas de monitoramento. A crescente preocupação de médicos e pesquisadores com saúde preventiva, deverão motivar cada vez mais pesquisas relacionadas a qualidade de sono, assim como falhas e limitações de exames e técnicas já estabelecidas como a polissonografia. Novas técnicas de monitoramento, menos invasivas e aptas à realização de exames durante longos períodos de tempos, deverão se tornar cada vez mais confiáveis e utilizadas em conjunto e até mesmo alternativamente às técnicas mais tradicionais.

O ambiente SleepWeb pode trazer grandes benefícios para as áreas das engenharias biomédicas, oferecendo suporte para realização de pesquisas e desenvolvimento de técnicas de monitoramento. Com a integração com o ambiente SleepWeb, sistemas em estágio de prototipação podem ser testados e validados de forma mais rápida, apoiando-se nos recursos visuais oferecidos pelo sistema. Ao mesmo tempo, a concentração de dados de monitoramento do sono em um banco de dados centralizado, abre possibilidades para realização de pesquisas em áreas como ciência de dados e inteligência artificial.

Observa-se que o ambiente SleepWeb é um projeto amplo, com o objetivo de integrar outros projetos de pesquisa relacionados ao monitoramento do sono e a sistemas de suporte ao monitoramento. Desta forma, o projeto SleepWeb pode ser o precursor de uma nova linha de pesquisas relacionadas a saúde do sono, pelos cursos de Ciência da Computação e Engenharia da Computação da Universidade de Passo Fundo. Possibilidade que já vem se confirmando, como pode ser observado na contribuição do projeto do Gustavo Rauber Ebone, que forneceu parte dos dados utilizados para validação das funcionalidades do projeto. Também pode-se apontar a possibilidade do uso do ambiente em pesquisas desenvolvidas junto ao Programa de Pós-Graduação em Envelhecimento Humano (PPGEH), também da Universidade de Passo Fundo.

A relevância do projeto do ambiente SleepWeb pode ser constatada com a aprovação de um artigo completo, no 7º Seminário Argentina-Brasil de Tecnologias da Informação e da Comunicação (SABTIC, 2019) [45]. Outro artigo está sendo escrito para o 20º Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde, a ser realizado no ano de 2020.

## 5.2 TRABALHOS FUTUROS

O projeto SleepWeb pode ser compreendido como o passo inicial de um grande projeto, com espaço para melhorias, evoluções e acréscimos, em suas funcionalidades, usabilidade e aplicações. A partir disto, pode-se dizer que sugestões de trabalhos futuros aplicam-se a duas áreas principais: sua utilização para exames reais de monitoramento do sono e a ampliação e melhorias da ambiente. Naturalmente, a utilização do SleepWeb em cenários reais depende de técnicas de monitoramento em fase avançado de desenvolvimento, sendo esta a prioridade imediata entre as contribuições.

Dois projetos de técnicas de monitoramento estão em fase de pesquisa e desenvolvimento, um para actigrafia e outro para o uso de frequência cardíaca. Os projetos estão sendo desenvolvidos por alunos dos cursos de ciência da computação e engenharia da computação da Universidade de Passo Fundo, com suporte do grupo de pesquisa em computação paralela e distribuída (COMPADI). Novos projetos aptos a integração com o ambiente SleepWeb ainda podem ser realizados, a partir de novos dispositivos de hardware, coleta de diferentes tipos de dados fisiológicos e pela proposição de novos algoritmos, capazes de obter indicadores de qualidade mais precisos.

Pesquisas relacionadas a melhorias do ambiente relacionam-se a inclusão de novas funcionalidades gerais e analíticas, assim como a utilização da base de dados em funcionalidades relacionadas a ciência de dados e inteligência artificial. Também sugere-se melhorias em termos de usabilidade do sistema, por meio pesquisas relacionadas a experiência do usuário e representação de dados de forma visual.

Por fim, elementos teóricos utilizados para sustentar o projeto podem ser desafiados, como indicadores, faixas etárias, além de metodologias como regras de avaliação e índice de detecção de distúrbios. Trabalhos estes, que poderiam ser direcionados a pesquisadores de áreas médicas, com maior capacidade analítica de identificar falhas ou sugerir melhorias as funcionalidades do ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] STAFF, M. C. Polysomnography (sleep study). 2014. <https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/polysomnography/about/pac-20394877>. [Online; accessed 20-September-2018].
- [2] SCHERZ, W. D. et al. Heart rate spectrum analysis for sleep quality detection. EURASIP Journal on Embedded Systems, v. 2017, n. 1, p. 26, dec 2017. ISSN 1687-3963. Disponível em: <<https://jes-urasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13639-017-0072-z>>.
- [3] ISLAM, M. Z.; NAHIYAN, K. M. T.; KIBER, M. A. A motion detection algorithm for video-polysomnography to diagnose sleep disorder. In: 2015 18th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT). IEEE, 2015. p. 272–275. ISBN 978-1-4673-9930-2. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7488081/>>.
- [4] EYAL, S.; DAGAN, Y.; BAHARAV, A. Sleep in the Cloud: On How to Use Available Heart Rate Monitors to Track Sleep and Improve Quality of Life. Computing in Cardiology (CinC), p. 329–332, 2012. ISSN 23258861. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6420397>>.
- [5] HAN, H. et al. Smart sleep care system for quality sleep. In: 2015 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). IEEE, 2015. p. 393–398. ISBN 978-1-4673-7116-2. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7354571/>>.
- [6] HO, Y. et al. An investigation to support health care system considering sleep quality. In: IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. IEEE, 2016. p. 5856–5861. ISBN 978-1-5090-3474-1. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7793353/>>.
- [7] LOKAVEE, S. et al. Unconstrained detection of respiration rate and efficiency of sleep with pillow-based sensor array. In: 2014 11th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON). IEEE, 2014. p. 1–6. ISBN 978-1-4799-2993-1. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6839779/>>.
- [8] DOMINGUES, A.; PAIVA, T.; SANCHES, J. M. Sleep and Wakefulness State Detection in Nocturnal Actigraphy Based on Movement Information. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, v. 61, n. 2, p. 426–434, feb 2014. ISSN 0018-9294. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6588929/>>.

- [9] FERNANDES, R. M. F. O sono normal. Medicina, v. 39, n. 2, p. 157–168, 2006. ISSN 00766046.
- [10] IVANOV, P. C. Scale-invariant Aspects of Cardiac Dynamics Across Sleep Stages and Circadian Phases. In: 2006 International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE, 2006. p. 445–448. ISBN 1-4244-0032-5. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4461782/>>.
- [11] HIRSHKOWITZ, M. Normal human sleep: an overview. Medical Clinics of North America, v. 88, n. 3, p. 551–565, may 2004. ISSN 00257125. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025712504000173>>.
- [12] ALOE, F.; De Azevedo, A. P.; HASAN, R. Mecanismos do ciclo sono-vigília. Revista Brasileira de Psiquiatria, v. 27, n. SUPPL. 1, p. 33–39, 2005. ISSN 15164446.
- [13] Quinhones MS, G. M. Sono no envelhecimento normal e patológico : aspectos clínicos e fisiopatológicos Sleep in normal and pathological ageing : clinical and. Rev. Brasileira de Nerulogia, v. 47, n. 1, p. 31–42, 2011. ISSN 0101-8469.
- [14] FRANKEN, P. et al. The functions of sleep. European Journal of Neuroscience, v. 29, n. 9, p. 1739–1740, may 2009. ISSN 0953816X. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1460-9568.2009.06746.x>>.
- [15] MAQUET, P. The role of sleep in learning and memory. Science, v. 294, n. 5544, p. 1048–1052, 2001. ISSN 00368075.
- [16] OHAYON, M. et al. National Sleep Foundation's sleep quality recommendations: first report. Sleep Health, National Sleep Foundation., v. 3, n. 1, p. 6–19, feb 2017. ISSN 23527218. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.sleh.2016.11.006>  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352721816301309>>.
- [17] FILE:POLYSOMNOGRAPHY model.jpg. Wikipedia.org, 2018. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polysomnography\\_model.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polysomnography_model.jpg)>.
- [18] CABIDDU, R. et al. Modulation of the Sympatho-Vagal Balance during Sleep: Frequency Domain Study of Heart Rate Variability and Respiration. Frontiers in Physiology, v. 3, n. March, p. 1–10, 2012. ISSN 1664-042X. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fphys.2012.00045/abstract>>.
- [19] IBÁÑEZ, V.; SILVA, J.; CAULI, O. A survey on sleep assessment methods. PeerJ, v. 6, p. e4849, may 2018. ISSN 2167-8359. Disponível em: <<https://peerj.com/articles/4849>>.
- [20] CONDOR Instruments - ActTrust. Disponível em: <<http://www.condorinst.com.br/acttrust/>>. Acesso em: 07/10/2018.

- [21] PHILIPS Respironics. Disponível em: <<http://actigraphy.com/solutions/actiwatch/actiwatch2.html>>. Acesso em: 07/10/2018.
- [22] EMSA ACT1. Disponível em: <<http://www.emsamed.com.br/pt-br/produtos/actígrafo-act1>>. Acesso em: 07/10/2018.
- [23] COLE, R. J. et al. Automatic sleep/wake identification from wrist activity. Sleep, v. 15, n. 5, p. 461–9, oct 1992. ISSN 0161-8105. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1455130>>.
- [24] MATLAB - MathWorks. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>>. Acesso em: 12/10/2018.
- [25] STASSI, S. et al. Flexible Tactile Sensing Based on Piezoresistive Composites: A Review. Sensors, v. 14, n. 3, p. 5296–5332, mar 2014. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1424-8220/14/3/5296>>.
- [26] MATLAB - MathWorks. Disponível em: <<https://www.mi.com/en/miband>>. Acesso em: 15/10/2018.
- [27] CONDOR Instruments - ActStudio. Disponível em: <<http://www.condorinst.com.br/actstudio/>>. Acesso em: 07/10/2018.
- [28] CADWELL. Disponível em: <<https://www.cadwell.com/>>. Acesso em: 15/10/2018.
- [29] CAREFUSION. Disponível em: <<http://www.carefusion.com/>>. Acesso em: 15/10/2018.
- [30] CLEVEMED. Disponível em: <<https://clevedmed.com/>>. Acesso em: 15/10/2018.
- [31] COMPUMEDICS. Disponível em: <<https://www.compumedics.com.au/>>. Acesso em: 15/10/2018.
- [32] HYPERTEXT Transfer Protocol (HTTP). Disponível em: <<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP>>. Acesso em: 22/05/2019.
- [33] W3SCHOOLS.COM. JSON vs XML. W3schools.com, 2019. Wwww.w3schools.com, Acesso em 15/05/2019. Disponível em: <[https://www.w3schools.com/js/js\\_json\\_xml.asp](https://www.w3schools.com/js/js_json_xml.asp)>.
- [34] BUCK, D. The distribution of health authority health promotion and education expenditure in England: A preliminary assessment. International Journal of Health Promotion and Education, v. 37, n. 2, p. 52–56, jan 1999. ISSN 1463-5240. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14635240.1999.10806094>>.
- [35] TURAN, G. Integrated Pulmonary Index: A New Strategy for Respiratory Patients Evaluation. International Journal of Anesthetics and Anesthesiology, v. 3, n. 1, 2016.

- [36] DJANGO REST Framework. 2019. <https://www.django-rest-framework.org/>, Acesso em 11/08/2019.
- [37] POSTGRESQL 2019. 2019. <https://www.postgresql.org/>, Acesso em 11/08/2019.
- [38] JQUERY. 2019. <https://jquery.com/>, Acesso em 11/08/2019.
- [39] BOOTSTRAP. 2019. <https://getbootstrap.com/>, Acesso em 11/08/2019.
- [40] CHART.JS. 2019. <https://www.chartjs.org/>, Acesso em 11/08/2019.
- [41] DJANGO Web Framework. 2019. <https://www.djangoproject.com/>, Acesso em 11/08/2019.
- [42] FLASK 2019. 2019. <https://palletsprojects.com/p/flask/>, Acesso em 11/08/2019.
- [43] FLASK RESTful 2019. 2019. <https://flask-restful.readthedocs.io/>, Acesso em 11/08/2019.
- [44] DIGITALOCEAN. 2019. Digital Ocean, [www.digitalocean.com](http://www.digitalocean.com), Acesso em 16/11/2019. Disponível em: <[www.digitalocean.com](http://www.digitalocean.com)>.
- [45] HERNANDES, M.; REBONATTO, M. Sleepweb: Um ambiente web para o suporte do monitoramento do sono. In: . [S.l.: s.n.], 2019. Seminário Argentina - Brasil de Tecnologias da Informação e da Comunicação (SABTIC), Outubro de 2019.





# UPF

UNIVERSIDADE  
DE PASSO FUNDO

UPF Campus I - BR 285, São José  
Passo Fundo - RS - CEP: 99052-900  
(54) 3316 7000 - [www.upf.br](http://www.upf.br)