CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

COSMOS: CONJUNTO DE SUBSISTEMAS DE MONITORAMENTO DA SAÚDE

Gabriel Portugal Guadelupe dos Santos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de mestre.

Orientadores:
Gustavo Paiva Guedes e Silva

Rio de Janeiro,

Novembro de 2025

COSMOS: Conjunto de Subsistemas de Monitoramento da Saúde

Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ.

Gabriel Portugal Guadelupe dos Santos

Aprovada por:

Prof. Dr. Gustavo Paiva Guedes e Silva

Dr. Diego Nunes Brandão

Dr. Alessandro Copetti

Rio de Janeiro,

Novembro de 2025

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

S237 Santos, Gabriel Portugal Guadelupe dos
Cosmos: conjunto de subsistemas de monitoramento da saúde / Gabriel Portugal Guadelupe dos Santos. — 2025.
96f. : il. color. , enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2025.
Bibliografia : f. 90-96
Orientador: Gustavo Paiva Guedes e Silva

1. Pacientes - Cuidados de saúde domiciliares. 2. Pacientes – Aspectos fisiológicos. 3. Internet das coisas. 4. Saúde – Monitoração. 5. Computadores – Aspectos de saúde. I. Silva, Gustavo Paiva Guedes e. (Orient.). II. Título.

CDD 610.285

Elaborada pela bibliotecária Tania Mello – CRB/7 nº 5507/04

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa, Nicole, aos meus pais, Marli e Jorge Eduardo, e, com especial carinho, ao meu filho, Sidarta. Que, ao crescer, ele possa um dia ler estas páginas e encontrar nelas não apenas o esforço de um pai, mas também a coragem de sonhar, de persistir e de construir o seu próprio caminho, com liberdade, consciência e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, por cada gesto de apoio, orientação e amor ao longo desta jornada.

À minha esposa, Nicole, pelo incentivo constante, pela paciência nos momentos difíceis, pela motivação diária e pelo apoio, fundamentais para que eu pudesse seguir firme neste caminho.

Ao professor Gustavo Paiva Guedes, meu orientador, pela confiança, paciência, dedicação e pela orientação atenta e generosa, que tornaram esta dissertação possível e foram fundamentais para meu crescimento acadêmico e pessoal.

Aos professores Kele Belloze e Joel dos Santos, pelo profissionalismo, pela condução cuidadosa dos seminários e pelas contribuições valiosas ao longo do curso.

Aos professores Diego Brandão e Alessandro Copetti, por gentilmente aceitarem compor esta banca e pelas contribuições que enriqueceram este trabalho.

Aos docentes do PPCIC, por compartilharem seu conhecimento com excelência e por todo o apoio durante minha trajetória acadêmica.

Aos meus amigos, pelo acolhimento, pelas conversas, pelo companheirismo e pelos momentos de leveza que ajudaram a equilibrar os desafios do mestrado.

Aos meus colegas de trabalho, pelo apoio, compreensão e incentivo ao longo deste período tão exigente.

A todos os participantes do experimento, pela disponibilidade, colaboração e confiança, que foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

E a todos que, de alguma forma, ajudaram a impulsionar esta pesquisa, oferecendo sugestões, críticas construtivas e apontando caminhos para melhorias do projeto.

A todos, minha sincera e profunda gratidão.

Qualquer tecnologia suficientemente avançada é indistinguível da magia.

Arthur C. Clarke

RESUMO

COSMOS: Conjunto de Subsistemas de Monitoramento da Saúde

Gabriel Portugal Guadelupe dos Santos

Orientadores:
Gustavo Paiva Guedes e Silva

Resumo da Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de mestre.

Este estudo propõe o desenvolvimento do COSMOS, um conjunto integrado de sistemas que inclui uma Interface Gráfica, Servidor e um Dispositivo de Monitoramento de Sinais Fisiológicos (DMSF) dinâmico e acessível, visando aprimorar o monitoramento domiciliar de pacientes. Ao integrar a Internet das Coisas Médicas (IoMT), o COSMOS permite o monitoramento remoto de sinais fisiológicos, promovendo cuidados personalizados e saúde preditiva. O dispositivo utiliza quatro sensores para a leitura de sinais vitais: SpO2, BPM, ECG e GSR. Os experimentos realizados indicaram que o COSMOS é eficaz na aferição de sinais fisiológicos, proporcionando dados confiáveis. Além disso, o sistema recebeu avaliações positivas dos usuários, que destacaram sua eficácia e facilidade de uso em suas rotinas diárias. Esses resultados sugerem que o COSMOS tem potencial para contribuir significativamente para a melhoria da qualidade de vida e do cuidado médico domiciliar personalizado. A capacidade de monitoramento remoto oferecida pelo COSMOS pode facilitar a detecção precoce de alterações no estado de saúde dos pacientes, permitindo intervenções médicas oportunas e adequadas, em consonância com os ODS 3, 9 e 11.

Palavras-chave:
Assistência Domiciliar, Telemonitoramento, Dispositivos com Monitoramento de Sinais Fisiológicos, Internet das Coisas Médicas, Saúde Preditiva.

Rio de Janeiro,

Novembro de 2025

ABSTRACT

COSMOS: Conjunto de Subsistemas de Monitoramento da Saúde

Gabriel Portugal Guadelupe dos Santos

Advisors:
Gustavo Paiva Guedes e Silva

Abstract of dissertation submitted to Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of master.

This study proposes the development of COSMOS, an integrated system set that includes a Graphical User Interface, Server, and a dynamic, accessible Physiological Signal Monitoring Device (PSMD), aimed at improving home-based patient monitoring. By integrating the Internet of Medical Things (IoMT), COSMOS enables the remote monitoring of physiological signals, promoting personalized care and predictive health. The device uses four sensors to read vital signs: SpO2, BPM, ECG, and GSR. The experiments conducted indicated that COSMOS is effective in measuring physiological signals, providing reliable data. Furthermore, the system received positive feedback from users, who highlighted its effectiveness and ease of use in their daily routines. These results suggest that COSMOS has the potential to contribute significantly to the improvement of quality of life and personalized home medical care. The remote monitoring capability offered by COSMOS can facilitate the early detection of changes in patients' health status, enabling timely and appropriate medical interventions, in line with SDGs 3, 9, and 11.

Key-words:
Home Care, Telemonitoring, Physiological Signal Monitoring Devices, Internet of Medical Things, Predictive Health.

Rio de Janeiro,

Novembro de 2025

Sumário

I Introdução **1**

I.1 Definição do problema 3

I.2 Objetivos 4

I.2.1 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU 5

I.3 Organização dos Capítulos 5

II Fundamentação Teórica **6**

II.1 Telemonitoramento 6

II.2 Atenção Primária com Telemonitoramento 7

II.3 Internet das Coisas Médica (IoMT) 8

II.4 Interface Gráfica 8

II.5 Servidor 9

II.6 Firebase 9

II.7 Dispositivo com Monitoramento de Sinais Fisiológicos (DMSF) 10

II.7.1 Tipos de DMSF 11

II.8 Anomalia 12

II.9 Sensor 12

II.10 Sinais Fisiológicos 12

II.11 Fotopletismografia 13

II.12 Eletrocardiograma 14

II.13 Condutividade Galvânica da Pele 17

II.14 Microcontrolador ESP32-Wroom-32 18

III Trabalhos Relacionados **19**

III.1 Estudos sobre DMSF 21

III.1.1 Telemedicina: Uma aplicação de IoT para sistemas de saúde 21

III.1.2 HLH: Monitoramento remoto em casa 22

III.1.3 Digi-Healthcare 22

III.1.4 i-Care 23

III.1.5 Camiseta equipada com sensores 24
III.1.6 Colete Inteligente 24
III.1.7 Wearable para IoMT 25
III.1.8 Comparação entre os Trabalhos Relacionados e o COSMOS 25
III.2 Análise Comparativa com Dispositivos Comerciais 27
III.3 Considerações 30

IV Metodologia 32
IV.1 Dispositivo de Monitoramento de Sinais Fisiológicos (DMSF) 32
IV.1.1 Esquema Eletrônico 34
IV.1.2 Fonte de Alimentação 35
IV.1.3 Sensor AD8232 35
IV.1.4 Grove GSR Sensor 36
IV.1.5 Sensor Max30100 37
IV.1.6 AASI 38
IV.1.7 Estimativa de Custos 41
IV.2 Interface Gráfica Mobile 42
IV.2.1 Tecnologias Utilizadas 43
IV.2.2 Funcionalidades Principais 43
IV.2.3 Visualização e Monitoramento 44
IV.2.4 Portabilidade e Usabilidade 45
IV.3 Interface Gráfica Web 46
IV.3.1 Tecnologias Utilizadas 48
IV.3.2 Funcionalidades Principais 49
IV.3.3 Visualização de Dados em Tempo Real 51
IV.3.4 Interação com o Usuário 52
IV.4 Servidor 52
IV.5 Segurança e Privacidade dos Dados 53
IV.5.1 Estratégias de Criptografia 53
IV.5.2 Controle de Acesso 54
IV.5.3 Conformidade com Normas de Privacidade 54
IV.6 Comunicação entre Componentes do COSMOS 55
IV.6.1 Integração dos Subsistemas 55
IV.6.2 Fluxo de Dados 56

V Experimentos 57

V.1 Experimentos em Ambiente Não Controlado 58
V.1.1 Metodologia 58
V.1.2 Resultados dos Experimentos 59
V.2 Experimentos em Ambiente Controlado 72
V.2.1 Metodologia 72
V.2.2 Resultados dos Experimentos 74
V.3 Discussões do Experimento 82
V.3.1 Comparação Ambiente Não Controlado com Ambiente Controlado 82
V.3.2 Dados Consolidados 84
V.3.3 Perspectivas e Implicações 85

VI Considerações Finais 86
VI.0.1 Contribuições e Resultados Obtidos 87
VI.0.2 Limitações e Desafios 87
VI.0.3 Perspectivas Futuras 88
VI.0.4 Encerramento 89
Referências 90

Lista de Figuras

II.1 Hierarquia de Tipos de Dispositivos baseado no trabalho de Iqbal et al. [2021]. 11

II.2 Modelo de funcionamento das Abordagens da Fotopletismografia: Transmissão (A) e Reflexão (B) 14

II.3 Sensor Max30100. 14

II.4 Sensor AD8232. 15

II.5 Posicionamento dos eletrodos do Sensor AD8232: Aplicação no tórax (A) e disposição nos braços e perna (B). 16

II.6 Onda Eletrocardiograma (ECG) captada pelo Sensor AD8232. 16

II.7 Grove GSR Sensor. 17

II.8 Posicionamento dos eletrodos do Grove GSR Sensor. 18

III.1 Fluxograma PRISMA do processo de seleção de estudos. 20

IV.1 Sugestão de sequência de desenvolvimento do Conjunto de Subsistemas para Monitoramento da Saúde (COSMOS). 32

IV.2 Disposição dos componentes dentro da caixa (A - microcontrolador ESP32-Wroom-32, B - Grove GSR Sensor, C - AD8232 e D - MAX30100). 33

IV.3 Produto final Dispositivo com Monitoramento de Sinais Fisiológicos (DMSF) dos COSMOS. 34

IV.4 Interconexões entre os Sensores e o Microcontrolador (Item A - AD8232, Item B - Grove GSR Sensor, Item C - MAX30100, Item D - Microcontrolador ESP32-Wroom-32). 35

IV.5 Grafo de interação entre os módulos do DMSF do COSMOS. 38

IV.6 COSMOS App - Funções Principais. Tela de conexão Bluetooth (A) e Tela dos Sinais Fisiológicos (B) 44

IV.7 COSMOS App - Tela Sinais Fisiológicos. 45

IV.8 COSMOS App - Tela de seleção de Formulário. 46

IV.9 COSMOS App - Formulário Diário do Humor. 47

IV.10 COSMOS App - Formulário Diário dos Sinais Fisiológicos. 47

IV.11 COSMOS Admin - Tela de Login. 49

IV.12 COSMOS Admin - Tela de Seleção de Paciente. 50

IV.13 COSMOS Admin - Tela de Sinais Fisiológicos em tempo real. 50

IV.14 COSMOS Admin - Tela de Histórico 50
IV.15 Gráfico de Linha de um dado fisiológico. 51
IV.16 Diagrama de Comunicação entre os artefatos do COSMOS. 55
IV.17 Fluxo dos dados entre os componentes do COSMOS. 56

V.1 Intervalo de confiança para as médias de BPM aferidas por participante. 60
V.2 Gráfico de atividade elétrica do coração em ambiente não controlado. 63
V.3 Influência da posição corporal na precisão das leituras do ECG. 64
V.4 Estabilidade relativa e oscilações sutis nos dados de GSR em ambiente não controlado. 65
V.5 Variação dos valores de GSR (µS) por estado emocional. As barras representam os intervalos (mínimo e máximo) e a linha vermelha indica a média. 66
V.6 Distribuição e agrupamento natural dos estados emocionais identificados através dos padrões de resposta GSR 67
V.7 Recorte dos dados de GSR de um participante com variações mais expressivas. 67
V.8 Gráfico do ECG com *Galvanic Skin Response* (GSR), ressaltando a correlação entre os sinais vitais em ambiente não controlado. 69
V.9 Gráfico do Batimentos Cardíacos por Minuto (BPM) com GSR, ressaltando a correlação entre os sinais vitais em ambiente não controlado. 69
V.10 Gráfico radar da Qualidade de Experiência do COSMOS App em ambiente não controlado. 71
V.11 Gráfico radar da SUS do COSMOS em ambiente não controlado. 72
V.12 Cenários e momentos do jogo simulador de montanha-russa utilizado no experimento. 73
V.13 Experimento conduzido em ambiente controlado. 73
V.14 Variação temporal dos BPM durante a imersão no simulador de montanha-russa. 75
V.15 Variação temporal do ECG durante a imersão no simulador de montanha-russa. 76
V.16 Variação temporal do GSR durante a imersão no simulador de montanha-russa. 77
V.17 Variação temporal do GSR, ECG e BPM durante a imersão no simulador de montanha-russa. 79
V.18 Gráfico radar da Qualidade de Experiência do COSMOS App em ambiente controlado. 80
V.19 Gráfico radar da SUS do COSMOS em ambiente controlado. 81
V.20 Qualidade de Experiência nos Ambientes Controlado e Não Controlado. 83
V.21 Avaliação SUS nos Ambientes Controlado e Não Controlado. 83

Lista de Tabelas

III.1 Comparação entre os Trabalhos Relacionados e o COSMOS 27
III.2 Detalhes sobre DMSF Comerciais, com foco fitness 28
III.3 Detalhes sobre DMSF Comerciais, com foco em ECG 29
III.4 Comparação dos DMSF comerciais com o COSMOS 30

IV.1 Estimativa de custo dos componentes do DMSF do COSMOS 42

V.1 Relação entre os valores informados pelos participantes e a aferição do BPM pelo Sensor MAX30100 61
V.2 Relação entre os valores informados pelos participantes e a aferição da Saturação de Oxigênio pelo Sensor MAX30100 62
V.3 Relação entre valores da Condutividade Galvânica da Pele (GSR) com Estado Emocional 65

Lista de Abreviações

AASI	Algoritmo De Ativação De Sensores Com Interação	32, 33, 37, 38, 39
AD	Atenção Domiciliar	1, 2
APS	Atenção Primária De Saúde	1
APT	Atenção Primária Com Telemonitoramento	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 11, 30, 31, 86
BPM	Batimentos Cardíacos Por Minuto	26, 29, 30, 46, 59, 60, 63, 68, 69, 73, 74, 75, 77, 78, 82, 84, 85, 87
CEP	Comitê De Ética Em Pesquisa	57
COSMOS	Conjunto De Subsistemas Para Monitoramento Da Saúde	4, 5, 25, 26, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 38, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 65, 68, 70, 71, 72, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88
DMSF	Dispositivo Com Monitoramento De Sinais Fisiológicos	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 19, 21, 26, 27, 28, 29, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 71, 72, 73, 81, 82, 85, 86, 88
ECG	Eletrocardiograma	13, 14, 15, 16, 24, 26, 28, 29, 30, 34, 35, 59, 64, 68, 69, 70, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 82, 84, 85
FPG	Fotopletismografia	13, 14, 37
GDPR	Regulamento Geral Sobre A Proteção De Dados	54
GSR	*Galvanic Skin Response*	17, 25, 26, 29, 30, 59, 64, 67, 68, 69, 70, 73, 74, 76, 77, 78, 82, 84, 85
IOMT	Internet Das Coisas Médicas	2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 19, 22, 23, 25
LGPD	Lei Geral De Proteção De Dados	54
ODS	Objetivos De Desenvolvimento Sustentável	5
ONU	Organização Das Nações Unidas	5
SPO2	Saturação De Oxigênio No Sangue	29, 30, 46, 59, 68, 69, 73, 74, 84, 87
SUS	Escala De Usabilidade Do Sistema	58, 71, 72, 81, 83, 84
VR	Óculos De Realidade Virtual	57, 72, 76, 77, 79, 80, 82, 83

Capítulo I Introdução

A hospitalização de pacientes representa um risco significativo à saúde, sobretudo pela possibilidade de infecções que podem agravar sua condição de saúde [Ngandu et al., 2022]. Nesse contexto, a Atenção Domiciliar (AD) é uma alternativa que acompanha o paciente em seu lar, promovendo saúde, prevenção, tratamento, reabilitação e adaptação às mudanças epidemiológicas e sociais, buscando melhorar o bem-estar e reduzir desigualdades no acesso aos cuidados de saúde [Mendes et al., 2012].

A AD no âmbito da Atenção Primária de Saúde (APS) tem-se mostrado uma alternativa efetiva para a continuidade dos cuidados de saúde, especialmente em casos de pacientes com condições crônicas ou fragilizados. Ela proporciona um acompanhamento mais próximo, integrado e humanizado, permitindo a identificação precoce de complicações, a promoção da adesão ao tratamento e a prevenção de reinternações hospitalares. Além disso, a AD possibilita a adaptação dos cuidados às necessidades individuais do paciente, considerando suas preferências, valores e contexto familiar [Fernandes, 2005].

A implementação da AD na APS requer a organização de equipes multidisciplinares, o uso de tecnologias de informação e comunicação, bem como a capacitação dos profissionais de saúde para o cuidado domiciliar [Gonçalves et al., 2014]. A literatura tem apresentado resultados positivos com esse modelo de cuidado, com melhoria da qualidade de vida dos pacientes, redução de custos e maior satisfação tanto dos pacientes quanto dos profissionais envolvidos [Lizano-Díez et al., 2022; North, 2020].

Para atender à demanda de cuidados remotos aos pacientes, a Atenção Primária com Telemonitoramento (APT) emerge como uma abordagem inovadora, buscando aprimorar o acesso e a qualidade dos serviços de saúde, especialmente para aqueles com condições crônicas que requerem monitoramento contínuo [Bokolo, 2021]. Nesse modelo, o telemonitoramento possibilita o acompanhamento remoto dos pacientes por equipes de saúde, utilizando dispositivos e tecnologias de comunicação, como smartphones, tablets e Dispositivo com Monitoramento de Sinais Fisiológicos (DMSF) [Blackstock and Roberts, 2021]. Dessa forma, é possível monitorar regularmente e em tempo real dados de saúde, tais como pressão arterial, frequência cardíaca, níveis de glicose, entre outros [Blackstock and Roberts, 2021].

A abordagem da APT tem sido amplamente reconhecida como uma solução inovadora para

melhorar o acesso e a qualidade dos cuidados de saúde, especialmente para pacientes com condições crônicas que exigem monitoramento contínuo [Sellera et al., 2020]. Nesse contexto, os DMSF desempenham um papel fundamental ao permitir a coleta e transmissão de dados de saúde dos pacientes. Integrados a plataformas de telemonitoramento, esses dispositivos fornecem informações em tempo real para as equipes de saúde, possibilitando um acompanhamento mais eficaz e personalizado [Inglis et al., 2015; Widmer et al., 2015; Faruque et al., 2017].

Com os avanços tecnológicos dos *smartphones*, *tablets* e DMSF, juntamente com a crescente demanda por recursos avançados de telemonitoramento, tem ocorrido uma ampliação no interesse pelo monitoramento remoto e contínuo de sinais fisiológicos de pacientes clínicos [Taherdoost, 2024]. Essa abordagem visa proporcionar aos pacientes um acompanhamento mais efetivo, reduzindo a necessidade de visitas frequentes a atendimentos presenciais e promovendo a adesão a tratamentos preventivos [Bitterman, 2011].

Os DMSF se destacam como uma ferramenta poderosa para a promoção da saúde e o cuidado contínuo dos pacientes, permitindo a coleta de dados fisiológicos como frequência cardíaca, pressão arterial, níveis de glicose e atividade física [Cruz et al., 2021]. Esses dispositivos proporcionam uma monitorização abrangente e precisa do estado de saúde dos pacientes e, quando integrados à Internet das Coisas Médicas (IoMT)[1], possibilitam o envio em tempo real dos dados coletados para profissionais de saúde, viabilizando o acompanhamento remoto e contínuo [França et al., 2021]. Com isso, a saúde dos pacientes pode ser monitorada de maneira mais abrangente e precisa, facilitando a detecção precoce de complicações ou alterações em seu estado de saúde, e permitindo intervenções médicas adequadas e oportunas [França et al., 2021].

A APT, utilizando os DMSF integrados à IoMT, tem revolucionado a AD aos pacientes. Essa abordagem possibilita o acompanhamento constante dos sinais vitais e indicadores de saúde, mesmo à distância, permitindo aos profissionais de saúde identificar precocemente alterações no quadro clínico dos pacientes e realizar intervenções rápidas e adequadas [Caldeira et al., 2022]. Com os DMSF, os profissionais de saúde podem obter informações em tempo real sobre o estado de saúde dos pacientes, permitindo um atendimento mais personalizado e adequado às necessidades individuais. Além disso, a APT que utiliza DMSF favorece uma maior participação e engajamento dos pacientes em seu próprio cuidado, incentivando a adoção de hábitos saudáveis e contribuindo para a melhoria da qualidade de vida [Bitterman, 2011].

Essa integração de tecnologias APT com DMSF integrados à IoMT oferece uma alternativa promissora para uma assistência médica mais eficiente, acessível e centrada no paciente [Bitterman, 2011]. Ao fornecer dados em tempo real e permitir o acompanhamento contínuo dos sinais fisiológicos

[1]IoMT, do inglês *Internet of Medical Things*, refere-se à rede de dispositivos médicos conectados que coletam, transmitem e analisam dados de saúde em tempo real, permitindo atendimento mais preciso e proativo [El-Saleh et al., 2025].

dos pacientes, o telemonitoramento facilita a detecção precoce de alterações na saúde, possibilitando intervenções médicas adequadas e prevenindo complicações futuras [Caldeira et al., 2022]. Além disso, essa abordagem permite uma maior aproximação entre pacientes e profissionais de saúde, promovendo uma relação mais colaborativa e motivando os pacientes a participarem ativamente de seu próprio cuidado [Fernandes, 2005].

A utilização de DMSF integrados à IoMT em conjunto com a APT representa uma abordagem promissora e eficaz para o cuidado contínuo e personalizado dos pacientes [Bitterman, 2011]. Essas tecnologias têm o potencial de proporcionar uma medicina mais preventiva e centrada no paciente, permitindo a detecção precoce de problemas de saúde, o acompanhamento remoto e a promoção de uma melhor qualidade de vida para os indivíduos [Bitterman, 2011].

I.1 Definição do problema

Para o desenvolvimento eficiente de um DMSF que utilize a tecnologia IoMT para a APT, é fundamental considerar cuidadosamente as necessidades patológicas dos usuários e a evolução de seus quadros clínicos ao longo do tempo [Pötter and Sztajnberg, 2014]. No entanto, é importante destacar que muitos dos DMSF disponíveis atualmente e que são integrados à IoMT apresentam funcionalidades limitadas [Pötter and Sztajnberg, 2014]. Diversos desses dispositivos tendem a se concentrar principalmente em doenças relacionadas a baixos níveis de atividade física, sem aprofundar de forma significativa na análise dos dados [Greiwe and Nyenhuis, 2020]. Além disso, muitos desses sistemas são fechados, dificultando a conexão de novos dispositivos e a expansão de suas funcionalidades. Outro ponto relevante é o custo desses dispositivos, que pode ser mais elevado, limitando o acesso a eles por parte de alguns pacientes [Pötter and Sztajnberg, 2014].

Diante dessas limitações, é crucial investir em pesquisas e desenvolvimentos que visem aprimorar as funcionalidades e a acessibilidade dos DMSF integrados à IoMT. A colaboração entre profissionais de saúde, engenheiros, cientistas da computação e designers pode proporcionar avanços significativos nessa área, tornando os dispositivos mais eficientes, versáteis e acessíveis a uma parcela mais ampla da população. Além disso, é essencial considerar uma abordagem mais holística na concepção dos DMSF, levando em conta não apenas a coleta de dados fisiológicos, mas também a análise e interpretação desses dados de forma a fornecer informações relevantes para a tomada de decisões clínicas e o acompanhamento individualizado de cada paciente [Pötter and Sztajnberg, 2014].

É também importante desenvolver plataformas de telemonitoramento abertas e interoperáveis, que permitam a integração fácil de novos dispositivos e a expansão contínua das funcionalidades do sistema [Pötter and Sztajnberg, 2014]. Dessa forma, é possível criar uma rede abrangente de DMSF integrados à IoMT, contribuindo para um cuidado mais completo e personalizado dos pacientes em diferentes cenários de saúde. Investir em pesquisa e inovação nessa área é essencial para impulsionar

o avanço da tecnologia e aprimorar o cuidado da saúde de forma acessível e eficiente, proporcionando benefícios significativos para pacientes, profissionais de saúde e todo o sistema de saúde como um todo.

I.2 Objetivos

Esta dissertação está contextualizada em áreas interdisciplinares como Computação em Saúde e Computação Assistiva, com um enfoque específico no monitoramento de sinais fisiológicos e predição do status de saúde dos pacientes. Para isso, propõe o desenvolvimento do Conjunto de Subsistemas de Monitoramento da Saúde (COSMOS), um conjunto integrado de sistemas para monitoramento de saúde que inclui: um DMSF, uma aplicação web, uma aplicação para *smartphones* e um servidor para controle de dados. Os principais objetivos do COSMOS são:

A Desenvolver uma solução integrada e inovadora para o monitoramento remoto de sinais fisiológicos, utilizando IoMT. O objetivo é aprimorar a coleta, transmissão e análise de dados de saúde em tempo real, proporcionando um cuidado contínuo e personalizado aos pacientes, por meio da integração eficiente dos subsistemas: o DMSF, a aplicação web, o aplicativo para *smartphones* e o servidor de controle de dados.

B Propor um novo DMSF integrado à IoMT, com o intuito de otimizar a coleta e transmissão de dados fisiológicos, assegurando precisão, confiabilidade e atualização em tempo real. Esse novo DMSF é desenvolvido para ser uma solução mais completa e adaptada às necessidades dos usuários, com o potencial de contribuir para a medicina personalizada e centrada no paciente.

C Criar um sistema completo para APT, incluindo a integração do DMSF à plataforma IoMT, com a capacidade de coletar e transmitir dados fisiológicos de maneira remota, permitindo o acompanhamento contínuo por profissionais de saúde. O sistema visa a detecção precoce de complicações e alterações no estado de saúde dos pacientes, proporcionando intervenções médicas oportunas e contribuindo para a prevenção de doenças.

D Realizar experimentos e avaliações do DMSF integrado à IoMT, no contexto da APT, a fim de verificar sua acurácia, confiabilidade e usabilidade. Os resultados obtidos buscam validar a acurácia do sistema proposto, garantindo que ele atenda aos requisitos técnicos e clínicos para uma implementação bem-sucedida na prática dos cuidados de saúde.

Com esses objetivos, esta dissertação busca contribuir para o avanço tecnológico na APT, promovendo uma abordagem mais moderna, acessível e personalizada no acompanhamento contínuo da saúde dos pacientes. Ao integrar conceitos de Computação Assistiva e Computação em Saúde,

o trabalho visa otimizar o monitoramento remoto dos sinais fisiológicos e melhorar a eficiência da assistência médica, impactando positivamente a qualidade de vida e o bem-estar dos indivíduos.

I.2.1 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU

Adicionalmente, este trabalho está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)[2] da Organização das Nações Unidas (ONU), em especial ao ODS 3 – Saúde e Bem-Estar, que representa o eixo central da proposta. O COSMOS foi concebido justamente para auxiliar na promoção de uma vida saudável e no bem-estar da população, ao oferecer um monitoramento acessível, em tempo real e com múltiplos sensores. Isso pode contribuir para diagnósticos mais rápidos e precisos, especialmente em situações emergenciais.

Como contribuição secundária, o trabalho também dialoga com o ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura, pois, ao propor uma solução de baixo custo baseada em microcontroladores e algoritmos otimizados, incentiva a inovação tecnológica aplicada à saúde e promove a integração de ferramentas acessíveis ao ecossistema de infraestrutura digital. Por fim, ainda que de forma complementar, a proposta conecta-se ao ODS 10 – Redução das Desigualdades, uma vez que possibilita ampliar o acesso a cuidados médicos em regiões com recursos limitados.

I.3 Organização dos Capítulos

A estrutura do restante do trabalho é organizada da seguinte forma. O Capítulo II aborda a fundamentação teórica relacionada ao Dispositivo de Monitoramento de Sinais Fisiológicos (DMSF). Neste capítulo, são discutidos os conceitos-chave e sua relevância no contexto da saúde. O Capítulo III apresenta uma revisão dos trabalhos relacionados, analisando as contribuições de pesquisas anteriores nessa área. São discutidas as limitações encontradas em abordagens anteriores e destacadas as inovações propostas pelo COSMOS.

O detalhamento do COSMOS é abordado no Capítulo IV, incluindo sua arquitetura, componentes e funcionalidades. São descritas as características do DMSF, da interface gráfica e do Servidor, bem como a integração entre eles. No Capítulo V são apresentados os experimentos com a descrição da metodologia utilizada, as métricas avaliadas e os resultados obtidos, fornecendo uma análise empírica da eficácia e desempenho do COSMOS em ambientes controlados e não controlados. O fechamento deste trabalho se encontra no Capítulo VI, que recapitula os principais resultados, explora direções futuras e realça as contribuições do COSMOS no monitoramento remoto de sinais fisiológicos, destacando suas vantagens comparativas em relação a abordagens preexistentes.

[2]https://brasil.un.org/pt-br/sdgs

Capítulo II Fundamentação Teórica

Este capítulo fornece uma visão geral dos conceitos fundamentais relacionados ao tema deste trabalho. A seguir, são apresentados os principais conceitos que serão abordados: Telemonitoramento, Atenção Primária com Telemonitoramento (APT), (IoMT), Interface Gráfica, Servidor, Firebase, DMSF e seus tipos, Anomalia, Sensor, Sinais Fisiológicos, Fotopletismografia, Eletrocardiograma, Condutividade Galvânica da Pele e o microcontrolador ESP32-Wroom-32.

II.1 Telemonitoramento

O telemonitoramento tem revolucionado a forma como a saúde é monitorada e gerenciada, proporcionando uma abordagem mais proativa e personalizada para o cuidado dos pacientes. Ao permitir o monitoramento remoto contínuo dos sinais fisiológicos, essa tecnologia abre portas para uma maior acessibilidade aos serviços de saúde, especialmente para pacientes que enfrentam dificuldades em deslocar-se regularmente para consultas presenciais [Paula et al., 2020]. Com o auxílio de tecnologias de comunicação avançadas, os dados fisiológicos são coletados em tempo real e transmitidos para profissionais de saúde, que podem acompanhar a evolução do quadro clínico de seus pacientes de forma mais eficiente e precisa [Blackstock and Roberts, 2021]. Essa abordagem oferece benefícios significativos tanto para pacientes quanto para os sistemas de saúde, ao possibilitar a detecção precoce de alterações ou agravamentos de condições médicas, o que permite intervenções médicas rápidas e adequadas, reduzindo hospitalizações desnecessárias e melhorando a qualidade de vida dos pacientes [França et al., 2021].

Além disso, o telemonitoramento contribui para uma maior autonomia dos pacientes em relação à sua própria saúde, uma vez que fornece informações valiosas sobre seus sinais vitais e bem-estar geral [Paula et al., 2020]. Os pacientes podem se sentir mais empoderados e engajados em seu processo de tratamento ao acompanhar de perto seus próprios dados fisiológicos e tomar decisões informadas sobre sua saúde em conjunto com seus profissionais de saúde [Paula et al., 2020]. Dessa forma, o telemonitoramento está se consolidando como uma importante ferramenta na promoção da medicina preventiva e na melhoria dos resultados de saúde, ao possibilitar um cuidado mais proativo, personalizado e eficiente para os pacientes em diferentes cenários clínicos.

II.2 Atenção Primária com Telemonitoramento

O telemonitoramento tem sido reconhecido como uma ferramenta promissora na Atenção Primária à Saúde para o acompanhamento contínuo e personalizado dos pacientes [Carvalho et al., 2012], e a disponibilidade de informações atualizadas é crucial para uma avaliação precisa e oportuna da saúde do paciente, possibilitando intervenções médicas adequadas quando necessário [Inglis et al., 2015]. Nesse cenário, a capacidade de monitorar regularmente e em tempo real os sinais vitais e indicadores de saúde, como pressão arterial, frequência cardíaca e níveis de glicose, possibilita a detecção precoce de alterações na saúde dos pacientes, permitindo a tomada de decisões clínicas oportunas [Greiwe and Nyenhuis, 2020]. Essa abordagem se mostra especialmente relevante para pacientes com condições crônicas ou fragilizados, pois facilita a identificação de complicações e a prevenção de reinternações hospitalares [Fernandes, 2005].

Além disso, a APT proporciona uma maior aproximação entre pacientes e profissionais de saúde, tornando a relação mais colaborativa e empoderando os pacientes a participar ativamente de seu próprio cuidado [Pötter and Sztajnberg, 2014]. A troca contínua de informações entre as partes envolvidas contribui para uma assistência mais centrada no indivíduo, atendendo às necessidades específicas de cada paciente [Sellera et al., 2020]. Dessa forma, a APT visa viabilizar uma medicina mais preventiva e personalizada, buscando melhorar a qualidade de vida dos pacientes e fortalecer a continuidade do cuidado na Atenção Primária à Saúde [Leff et al., 2015; North, 2020].

Embora a APT apresente várias vantagens, também enfrenta alguns desafios e problemas que precisam ser considerados. Um dos principais problemas é a resistência ou falta de adesão dos pacientes ao uso das tecnologias de telemonitoramento [Barbosa and Silva, 2017]. Alguns pacientes podem enfrentar dificuldades e desconforto ao utilizar os dispositivos de telemonitoramento e ter preocupações relacionadas à privacidade e segurança dos dados, o que pode gerar relutância em aderir ao telemonitoramento [Oliveira, 2022].

Outro desafio é a integração do telemonitoramento na rotina de trabalho dos profissionais de saúde, a interpretação e análise contínua dos dados coletados podem demandar tempo e recursos adicionais, e alguns profissionais podem enfrentar dificuldades em lidar com a grande quantidade de informações geradas pelo telemonitoramento [Bitterman, 2011]. Além disso, a implementação de sistemas de telemonitoramento requer investimentos em infraestrutura e capacitação dos profissionais, o que pode ser um obstáculo para algumas instituições de saúde [Leite, 2020].

A falta de padronização e interoperabilidade dos dispositivos e sistemas de telemonitoramento também pode ser um problema. Com a diversidade de dispositivos e tecnologias disponíveis, pode haver dificuldades em integrar os dados coletados de diferentes fontes e sistemas, o que pode comprometer a eficiência e a qualidade do telemonitoramento.

Esses problemas destacam a importância de abordar questões técnicas, organizacionais e de aceitação por parte dos pacientes e profissionais de saúde ao implementar a APT [Caldeira et al., 2022]. Superar esses desafios é essencial para aproveitar todo o potencial do telemonitoramento como uma ferramenta eficaz no acompanhamento e cuidado contínuo dos pacientes, proporcionando uma assistência mais eficiente e personalizada para a promoção da saúde e prevenção de complicações [Caldeira et al., 2022].

II.3 Internet das Coisas Médica (IoMT)

A IoMT refere-se a uma rede de dispositivos interconectados que são capazes de trocar dados e informações entre si. No contexto da saúde, a IoMT desempenha um papel fundamental ao permitir a conexão e a comunicação dos DMSF com outros dispositivos e sistemas de saúde. Isso facilita o compartilhamento e a análise dos dados coletados, possibilitando uma abordagem mais integrada e eficiente no monitoramento e cuidado da saúde do paciente.

A utilização da IoMT tem sido objeto de estudos e pesquisas, visando explorar as suas possibilidades e benefícios para melhorar a qualidade do atendimento e promover a saúde dos indivíduos. Um exemplo de referência relevante nessa área é o artigo do Darshan and Anandakumar [2015], que discute a aplicação da IoMT no monitoramento remoto da saúde. O artigo aborda os desafios, as oportunidades e as soluções propostas para a utilização da IoMT, destacando sua capacidade de melhorar o acesso aos serviços de saúde, a facilidade do monitoramento contínuo e remoto dos pacientes, e a promoção de uma maior participação ativa dos indivíduos no cuidado de sua saúde.

II.4 Interface Gráfica

A interface gráfica nos dispositivos de monitoramento de sinais fisiológicos desempenha um papel essencial ao fornecer uma representação visual intuitiva dos dados coletados. Ela permite aos usuários acompanhar sua saúde de maneira clara e objetiva, apresentando informações como gráficos, tabelas e alertas visuais. Uma interface bem projetada facilita a interpretação dos dados fisiológicos, auxiliando os usuários na tomada de decisões informadas sobre sua saúde e possibilitando uma melhor interação com o sistema de monitoramento [Shneiderman et al., 2016].

Além disso, a interface gráfica desempenha um papel crucial na experiência do usuário, tornando o processo de monitoramento de sinais fisiológicos mais agradável e acessível. Uma interface visualmente atraente e de fácil utilização pode motivar os usuários a se engajarem de forma mais consistente com o sistema de monitoramento, o que é fundamental para garantir a adesão e a eficácia do tratamento [Yamamoto et al., 2015]. A disposição adequada das informações, o uso de ícones e cores significativas e a apresentação clara dos dados são elementos importantes para proporcionar

uma experiência positiva ao usuário e promover uma interação mais fluida e intuitiva com o dispositivo de monitoramento. Nesse sentido, é essencial que a interface gráfica seja desenvolvida com base em princípios de design centrado no usuário e em pesquisas sobre as necessidades e preferências dos usuários, garantindo que ela atenda aos requisitos de usabilidade [Yamamoto et al., 2015; Shneiderman et al., 2016].

II.5 Servidor

Neste estudo, o termo "Servidor" desempenha um papel central no gerenciamento e análise dos dados coletados pelo DMSF que utiliza IoMT. Por meio de algoritmos, técnicas de processamento de dados e análises estatísticas, a CPD realiza a interpretação dos sinais fisiológicos, buscando identificar padrões, tendências e possíveis anomalias. Essa análise detalhada dos dados contribui para uma compreensão mais precisa do estado de saúde do paciente, auxiliando os profissionais de saúde na tomada de decisões e no fornecimento de cuidados personalizados e eficazes. Estudos anteriores, como o trabalho de Pötter and Sztajnberg [2014] e a revisão de Azzawi et al. [2016], destacam a importância do Servidor no processamento e armazenamento dos dados fisiológicos, ressaltando sua relevância na área de monitoramento remoto de saúde.

II.6 Firebase

O Firebase[1] é uma plataforma de desenvolvimento de aplicativos móveis e web oferecida pelo Google, fornecendo uma gama diversificada de ferramentas e serviços que simplificam e agilizam o processo de criação de aplicativos, permitindo que os desenvolvedores confeccionem aplicativos de alta qualidade com recursos avançados. Dentro do Firebase, encontra-se um banco de dados em tempo real do tipo NoSQL, uma categoria de banco de dados não relacional elaborada para lidar com dados sem estrutura rígida ou semiestruturados. Diferentemente dos bancos de dados relacionais convencionais, o Firebase Realtime Database não adota conceitos tradicionais de tabelas, linhas ou colunas. Em lugar disso, os dados são organizados em uma estrutura de árvore hierárquica, na qual cada nó representa um ponto de dados, proporcionando uma flexibilidade maior no design e armazenamento dos dados, o que permite adequar-se às necessidades específicas do projeto.

A escalabilidade do Firebase é um dos seus principais atributos, permitindo que os projetos cresçam conforme a demanda dos usuários e a quantidade de dados coletados. A arquitetura do Firebase é projetada para suportar um aumento significativo no volume de acessos e interações, garantindo que a performance do aplicativo permaneça consistente, mesmo com um número crescente de usuários e registros. Essa capacidade de adaptação é essencial em um ambiente de saúde, onde a

[1] https://firebase.google.com/?hl=pt-br

coleta de dados pode variar com o tempo, e a necessidade de atender a mais usuários e dispositivos é constante.

Em termos de segurança, o Firebase oferece uma robusta infraestrutura para proteger os dados dos usuários contra acessos não autorizados e ameaças cibernéticas. O serviço implementa autenticação de usuários, permitindo que cada indivíduo acesse apenas as informações relevantes a ele, o que é crucial para garantir a privacidade e a confidencialidade dos dados pessoais e de saúde. Além disso, as regras de segurança do Firebase podem ser configuradas para controlar quem pode ler e gravar dados em tempo real, proporcionando uma camada adicional de proteção.

Por fim, neste trabalho, o Firebase é utilizado como servidor para armazenamento, gestão e disponibilização dos dados coletados pelos dispositivos de monitoramento, desempenhando um papel central na comunicação entre o microcontrolador, a aplicação e os serviços de telemonitoramento.

II.7 Dispositivo com Monitoramento de Sinais Fisiológicos (DMSF)

A fundamentação teórica do DMSF é respaldada por uma vasta gama de estudos científicos e pesquisas que exploram a aplicação de sensores para a coleta de sinais fisiológicos e sua integração na IoMT. A literatura especializada enfatiza consistentemente a relevância do monitoramento contínuo dos sinais fisiológicos como uma estratégia promissora para a detecção precoce de doenças e o acompanhamento de condições médicas crônicas, possibilitando uma abordagem preventiva e eficiente para o cuidado da saúde dos pacientes. Com base nesse arcabouço teórico, diversos estudos têm se dedicado a explorar a capacidade dos dispositivos de monitoramento em fornecer informações em tempo real sobre o estado de saúde dos pacientes, permitindo uma intervenção médica mais rápida e personalizada.

Dentre as referências relevantes nesse campo, destacam-se os estudos de Mukhopadhyay [2014] e Gubbi et al. [2013], que têm contribuído significativamente para a construção de uma base científica sólida para o desenvolvimento do DMSF. Essas pesquisas proporcionam uma compreensão profunda sobre a utilização de sensores e tecnologias de IoMT para coletar e processar dados fisiológicos, bem como sua integração com sistemas de saúde. Por meio dessas abordagens inovadoras, o DMSF emerge como uma ferramenta promissora para aprimorar a qualidade de vida dos pacientes, fornecendo informações valiosas para os profissionais de saúde, permitindo intervenções mais assertivas e promovendo uma abordagem centrada no indivíduo. Dessa forma, o uso de tecnologias avançadas de monitoramento, aliado ao embasamento teórico fornecido pelos estudos científicos, abre caminho para uma nova era de cuidados de saúde mais personalizados e eficazes.

II.7.1 Tipos de DMSF

O estudo realizado por Iqbal et al. [2021] ofereceu uma revisão abrangente sobre os diversos tipos de DMSF, abrangendo tanto os dispositivos não invasivos quanto aqueles que se baseiam na coleta de informações por meio de biofluidos. A Figura II.1, baseada na hierarquia dos diferentes tipos de DMSF apresentada no trabalho de Iqbal et al. [2021], proporciona uma visão clara das diversas categorias de dispositivos, auxiliando na compreensão da ampla variedade de possibilidades oferecidas pelos dispositivos vestíveis no âmbito da saúde.

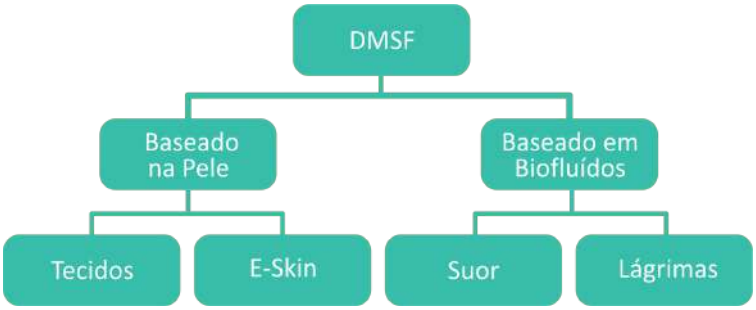


Figura II.1: Hierarquia de Tipos de Dispositivos baseado no trabalho de Iqbal et al. [2021].

Os DMSF baseados na pele apresentam duas categorias principais: os baseados em tecidos e os baseados em "e-skin" (pele eletrônica ou tatuagens eletrônicas). Os de tecidos incorporam sensores e materiais condutores em roupas para medir parâmetros fisiológicos, como temperatura corporal, frequência cardíaca e respiratória [Alizadeh Meghrazi et al., 2020], Massaroni et al. [2018]. Por outro lado, os "e-skin" são aplicados diretamente na pele, semelhantes a tatuagens temporárias, e podem medir eletrocardiograma, frequência cardíaca, temperatura da pele e pressão arterial sem a necessidade de cabos ou dispositivos externos [Someya and Amagai, 2019].

Já os DMSF baseados em biofluidos para monitorar e diagnosticar doenças, podem utilizar biofluidos como suor, saliva, lágrimas e urina, que contêm biomarcadores importantes para fins de monitoramento e diagnóstico [Someya and Amagai, 2019]. No caso do suor, ele contém diversos biomarcadores, como metabólitos, proteínas, nucleotídeos e eletrólitos, tornando-o relevante para a detecção química e biológica [Someya and Amagai, 2019]. Para lágrimas, os DMSF podem servir para o diagnóstico e monitoramento de diabetes, por exemplo, com o desenvolvimento de um dispositivo de lente de contato inteligente [Someya and Amagai, 2019].

Ao oferecer uma compreensão abrangente dos diversos tipos de DMSF, o trabalho de [Iqbal et al., 2021] permite uma análise das opções disponíveis, facilitando a escolha do dispositivo mais adequado para a condição de cada paciente. Com isso, torna-se possível realizar intervenções mais precisas e oportunas, proporcionando um tratamento mais efetivo e personalizado. A revisão detalhada realizada contribui para o desenvolvimento contínuo da tecnologia desses dispositivos, impulsionando a pesquisa e inovação na área de DMSF voltados para a APT.

II.8 Anomalia

Neste estudo, o termo “anomalia” é utilizado para descrever qualquer desvio ou alteração significativa em relação a um padrão esperado ou normal. Mais especificamente, no contexto deste estudo, as anomalias são definidas como leituras dos sensores que se encontram fora do intervalo de valores normalmente esperados. Por exemplo, nos sensores de oxigenação, leituras abaixo de 93% de SpO2 podem ser consideradas anômalas [Badgujar et al., 2020], assim como nos sensores de batimento cardíaco, leituras fora do intervalo entre 60 e 100 batimentos por minuto podem ser consideradas anômalas [Chuquimarca et al., 2021].

Essa definição de anomalia é importante para identificar eventuais irregularidades nos dados fisiológicos coletados pelo dispositivo de monitoramento. Ao detectar essas anomalias, é possível tomar medidas adequadas, como notificar o usuário ou profissionais de saúde responsáveis pelo monitoramento, a fim de investigar a possível causa e tomar as medidas necessárias para garantir a saúde e segurança do paciente.

II.9 Sensor

Sensores desempenham um papel crucial na coleta de dados em diversas áreas da ciência e tecnologia, permitindo a obtenção de informações precisas sobre o ambiente e o mundo ao nosso redor. Eles são projetados para detectar e medir variáveis físicas, químicas ou biológicas, convertendo esses estímulos em sinais elétricos ou mecânicos que podem ser interpretados e utilizados para diversas finalidades. Desde a área médica, onde são empregados para monitorar sinais vitais dos pacientes, até a indústria, onde são utilizados para controle de processos e automação, os sensores desempenham um papel essencial na obtenção de informações críticas para tomadas de decisões e avanços científicos [McGrath and Scanaill, 2013].

Os sensores vêm se tornando cada vez mais sofisticados e versáteis, permitindo a medição precisa de uma ampla gama de variáveis, como temperatura, pressão, umidade, luz, movimento, entre outras. Esses dispositivos são capazes de capturar dados em tempo real e transmiti-los para sistemas de processamento e análise, possibilitando o monitoramento contínuo de processos, ambientes e condições médicas. Com a evolução da tecnologia de sensores e a integração com a IoMT, temos presenciado uma revolução na forma como obtemos e utilizamos dados, impulsionando avanços significativos em áreas como saúde, segurança, meio ambiente e automação industrial.

II.10 Sinais Fisiológicos

Os sinais fisiológicos são informações valiosas que refletem as atividades e processos internos do corpo humano, possibilitando uma compreensão detalhada da saúde e do funcionamento dos sistemas

biológicos. Esses sinais são obtidos através de diferentes modalidades, como sinais elétricos, ópticos ou acústicos, e são essenciais para o monitoramento e diagnóstico de condições médicas. A atividade elétrica do coração, por exemplo, é medida por meio do ECG e fornece informações cruciais sobre o ritmo cardíaco e possíveis arritmias. A frequência respiratória, outro importante sinal fisiológico, pode ser monitorada através do oxímetro de pulso, auxiliando na avaliação da função respiratória. A temperatura corporal é frequentemente medida como um indicador do estado de saúde geral do indivíduo, e a pressão arterial é um parâmetro importante para a avaliação da saúde cardiovascular [Souza, 2019].

A coleta e análise dos sinais fisiológicos são fundamentais para a medicina e a pesquisa biomédica, permitindo a detecção precoce de doenças, o acompanhamento de tratamentos e intervenções, e o monitoramento contínuo da saúde dos pacientes. Com os avanços tecnológicos, temos visto uma evolução significativa nos dispositivos de monitoramento de sinais fisiológicos, tornando-os mais acessíveis, precisos e integrados com sistemas de saúde. A utilização desses sinais biométricos tem potencial para revolucionar a forma como cuidamos da saúde, possibilitando uma medicina mais personalizada e orientada por dados, com impactos positivos na qualidade de vida e na prevenção de doenças.

II.11 Fotopletismografia

A Fotopletismografia (FPG) é uma técnica não invasiva utilizada para medir as variações do volume sanguíneo em vasos sanguíneos periféricos, baseada na detecção da variação da intensidade da luz transmitida ou refletida pela pele, causada pelas alterações do volume sanguíneo durante o ciclo cardíaco [Schönle, 2017]. Essa técnica emprega uma fonte de luz, geralmente um LED, para iluminar a pele, enquanto um fotodetector mede a luz transmitida ou refletida, possibilitando a obtenção de informações sobre as mudanças na quantidade de sangue na região monitorada [Júnior et al., 2021].

A FPG utiliza duas abordagens principais para estimar os dados vitais: (a) Transmissão e (b) Reflexão, conforme ilustrado na Figura II.2. Na técnica de Transmissão (item a), a luz é emitida através do tecido por diodos emissores de luz (LED) e detectada na extremidade oposta por sensores fotodetectores. Já na técnica de Reflexão (item b), a luz refletida pelo tecido, resultante do espalhamento luminoso, é capturada por sensores posicionados no mesmo lado do emissor de luz [El-Hajj and Kyriacou, 2020].

A FPG tem sido amplamente utilizada na monitorização de parâmetros cardiovasculares, como frequência cardíaca, variação da onda de pulso e índices de perfusão. Essa técnica é frequentemente aplicada em dispositivos de monitoramento portáteis, como pulseiras e *smartwatches*, devido à sua simplicidade, não invasividade e baixo custo [El-Hajj and Kyriacou, 2020]. Além disso, a

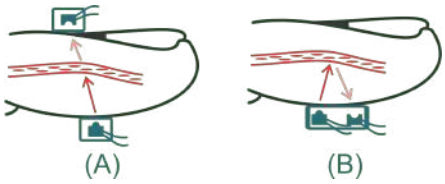


Figura II.2: Modelo de funcionamento das Abordagens da Fotopletismografia: Transmissão (A) e Reflexão (B)

fotopletismografia também tem aplicações em áreas como medicina esportiva, monitoramento de sono e avaliação de estresse [El-Hajj and Kyriacou, 2020].

O sensor MAX30100[2] é um dispositivo avançado baseado na tecnologia da Fotopletismografia (FPG), utilizando a abordagem de Reflexão para a medição de sinais fisiológicos, como a frequência cardíaca e os níveis de saturação de oxigênio no sangue (Figura II.2). Uma de suas principais vantagens é a integração de diversos componentes essenciais, como LEDs, fotodetector e circuitos analógicos, em um único chip. Essa alta integração não apenas simplifica sua implementação em projetos de monitoramento de sinais vitais, mas também torna o sensor ideal para aplicações em dispositivos vestíveis e sistemas médicos portáteis, garantindo desempenho confiável e compacto.



Figura II.3: Sensor Max30100.

Entretanto, é importante destacar que o sensor MAX30100 pode ser suscetível a variações externas, como o movimento do usuário e a intensidade da luz ambiente, o que pode impactar a precisão das medições. Assim, em aplicações que requerem dados mais precisos, recomenda-se o uso de algoritmos de filtragem de sinais e compensação de ruído. Ainda assim, o sensor MAX30100 foi escolhido para os estudos neste trabalho devido à sua versatilidade, precisão e capacidade de medir sinais fisiológicos em tempo real, além de sua ampla aplicabilidade em pesquisas e desenvolvimentos de soluções de saúde.

II.12 Eletrocardiograma

O ECG é uma técnica amplamente utilizada para registrar a atividade elétrica do coração. Essa técnica é baseada na detecção e registro dos sinais elétricos gerados pelo músculo cardíaco durante

[2]DataSheet disponível em: `https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30100.pdf`

o ciclo cardíaco. O ECG é realizado por meio de eletrodos colocados na superfície da pele, que captam os impulsos elétricos produzidos pelas células cardíacas [Thaler, 2013].

O sinal do ECG é representado graficamente em um papel ou em um monitor, exibindo as ondas e complexos característicos. Essas formas de onda representam os diferentes estágios da atividade elétrica do coração, incluindo a despolarização e repolarização das câmaras cardíacas. O ECG é uma ferramenta diagnóstica essencial na área da cardiologia, permitindo a detecção de anomalias na atividade elétrica do coração, como arritmias, bloqueios cardíacos e outras condições cardíacas. Além disso, o ECG também é utilizado para avaliar a função cardíaca, o ritmo cardíaco e o estado geral do coração [Leite, 2023].

O sensor AD8232[3] é amplamente empregado na medição de sinais de ECG (Figura II.4). Utilizando tecnologia avançada de amplificação e filtragem de sinais biomédicos, o AD8232 é projetado para captar e processar os sinais elétricos gerados pelo músculo cardíaco. Sua principal vantagem reside na capacidade de proporcionar medições precisas e confiáveis do ECG em diversas aplicações.

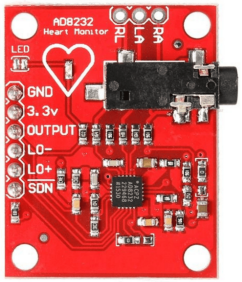


Figura II.4: Sensor AD8232.

O sensor AD8232 utiliza três eletrodos para a captação de sinais de ECG, com cada eletrodo desempenhando uma função específica e apresentando uma coloração padronizada que auxilia na correta aplicação.

- Eletrodo Vermelho: Representa o terminal negativo e é posicionado no lado direito do tórax ou no braço direito do participante.
- Eletrodo Amarelo: Corresponde ao terminal positivo e deve ser aplicado no lado esquerdo do tórax ou no braço esquerdo do participante.
- Eletrodo Verde: Atua como o terminal de referência (terra), geralmente colocado na perna esquerda ou na região abdominal.

O posicionamento correto desses eletrodos é essencial para garantir a qualidade do sinal captado, minimizando interferências externas e assegurando medições precisas dos sinais elétricos cardíacos.

[3]DataSheet disponível em: `https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/527942/AD/AD8232.html`

A Figura II.8 apresenta as duas configurações principais de posicionamento dos eletrodos utilizadas nos experimentos:

- No Item A, é indicada a aplicação no tórax, padrão em contextos clínicos e experimentais que demandam alta precisão.
- No Item B, observa-se a disposição nos braços e na perna, configuração comumente empregada em contextos não hospitalares devido à maior praticidade.

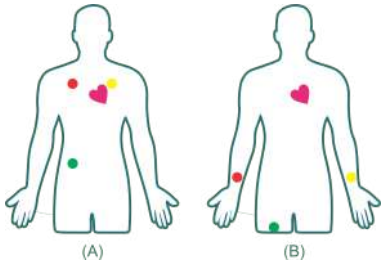


Figura II.5: Posicionamento dos eletrodos do Sensor AD8232: Aplicação no tórax (A) e disposição nos braços e perna (B).

Ao registrar o sinal ECG, o AD8232 gera um gráfico de ondas que reflete o ciclo cardíaco completo. Esse ciclo inclui a onda P, o complexo QRS e a onda T, representando, respectivamente, a despolarização atrial, a despolarização ventricular e a repolarização ventricular. Cada uma dessas fases indica aspectos distintos da atividade elétrica do coração, sendo valiosa para identificar possíveis anomalias como arritmias e sinais de estresse cardíaco. A Figura II.6 exemplifica o padrão de onda ECG típico obtido pelo sensor.



Figura II.6: Onda ECG captada pelo Sensor AD8232.

O sinal captado pelos eletrodos é, então, amplificado pelo próprio AD8232, que possui um amplificador integrado, aumentando a amplitude do sinal e facilitando o processamento posterior. O sensor também inclui filtros que reduzem ruídos e interferências, assegurando que apenas os sinais cardíacos relevantes sejam transmitidos ao microcontrolador.

II.13 Condutividade Galvânica da Pele

A Resposta Galvânica da Pele (do inglês GSR), também conhecida como resposta eletrodérmica, é uma medida da condutância elétrica da pele em resposta a estímulos emocionais ou psicológicos [Montagu and Coles, 1966]. Essa medida é baseada na ideia de que a atividade das glândulas sudoríparas da pele é influenciada pelo sistema nervoso autônomo, especialmente pelo ramo simpático [Villarejo et al., 2012].

Durante momentos de excitação, estresse ou outras respostas emocionais, o sistema nervoso simpático é ativado, levando à liberação de neurotransmissores que estimulam as glândulas sudoríparas. Isso resulta em um aumento da condutância elétrica da pele, que pode ser detectado por meio de eletrodos aplicados na superfície da pele. A GSR é frequentemente utilizada em estudos de psicofisiologia, neurociência e psicologia para avaliar a resposta emocional dos indivíduos a diferentes estímulos [Saad et al., 2023; Sahoo et al., 2022], Azim et al. [2022]. Essa medida pode fornecer informações sobre a ativação do sistema nervoso autônomo e as respostas fisiológicas relacionadas a estados emocionais [Aqajari et al., 2021].

O Grove GSR Sensor[4] é um componente amplamente utilizado na medição da condutância galvânica da pele (GSR) (Figura II.7). Baseado na tecnologia de detecção da resposta da pele a estímulos emocionais e físicos, o Grove GSR Sensor é projetado para capturar variações na condutividade elétrica da pele, que estão relacionadas a mudanças no estado emocional e no nível de excitação. Sua principal vantagem reside na capacidade de proporcionar informações sobre as respostas emocionais dos indivíduos em diversas situações. Os eletrodos do sensor são comumente posicionados no indicador e no dedo médio, como indicado na Figura II.8, permitindo a coleta eficiente de dados sem causar desconforto ao usuário.



Figura II.7: Grove GSR Sensor.

Uma das características distintivas do sensor Grove GSR Sensor é sua sensibilidade para detectar mudanças sutis na condutância da pele, permitindo a identificação de respostas emocionais mesmo em níveis baixos de excitação. No entanto, é importante mencionar que a interpretação dos dados do sensor requer uma compreensão cuidadosa do contexto em que foram coletados, uma vez que diversos fatores podem influenciar as respostas da pele. Apesar dos possíveis desafios, o Grove GSR

[4] `https://wiki.seeedstudio.com/Grove-GSR_Sensor/`



Figura II.8: Posicionamento dos eletrodos do Grove GSR Sensor.

Sensor é uma boa escolha para investigações que visam compreender as relações entre as respostas emocionais e os sinais fisiológicos, e por isso foi selecionado para ser utilizado neste estudo.

II.14 Microcontrolador ESP32-Wroom-32

O ESP32-Wroom-32[5] é um microcontrolador amplamente utilizado em dispositivos inteligentes, funcionando como "cérebro" eletrônico capaz de processar dados, conectar-se à internet via Wi-Fi e Bluetooth, e interagir com sensores e atuadores. Ele é baseado na arquitetura Xtensa LX6 da Espressif Systems, que oferece um desempenho eficiente e uma combinação equilibrada de recursos computacionais e de conectividade.

No que diz respeito à conectividade, o ESP32-Wroom-32 oferece suporte a Wi-Fi e Bluetooth, permitindo conexões sem fio com outros dispositivos, como smartphones e computadores. Isso é fundamental para a interação do sistema com os usuários e a transmissão de dados para análise e monitoramento remoto. Além disso, o microcontrolador possui uma variedade de interfaces e periféricos, como GPIOs, ADCs e DACs, que possibilitam a conexão e a interação com sensores e outros componentes

[5]https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1179101/ESPRESSIF/ESP-WROOM-32.html

Capítulo III Trabalhos Relacionados

A presente dissertação busca identificar, analisar e interpretar estudos relevantes sobre a adoção de DMSF integrados à IoMT. A pesquisa exploratória envolve etapas essenciais, como a definição de questões de pesquisa, a formulação de estratégias de busca, a seleção de estudos e a síntese das informações obtidas.

O levantamento bibliográfico teve como objetivo capturar a literatura mais relevante sobre a adoção de DMSF e sua integração com a IoMT, focando em modelos conceituais que pudessem ilustrar perspectivas futuras dessa combinação no setor da saúde. Além disso, buscou-se identificar lacunas na pesquisa e sugerir direções para estudos futuros. As buscas foram feitas nas bases de dados Google Scholar e Scopus.

A pesquisa no Scopus foi realizada em fevereiro de 2024, utilizando a string de busca: *("Telemonitoring" OR "Remote Monitoring" OR "Telehealth" OR "Telemedicine") AND "IoMT" AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2025*, resultando em 2.490 artigos. No Google Scholar, foram analisados mais de 1.000 artigos, utilizando palavras-chave como "atenção domiciliar", "wearables", "sistema de monitoramento remoto" e "internet das coisas na medicina". Para complementar, foi utilizada a técnica de Snowballing[1], permitindo a identificação de referências adicionais importantes.

O recorte temporal da pesquisa abrangeu artigos publicados entre 2020 e 2024, focando em estudos que abordassem diretamente a adoção de DMSF junto à IoMT, tanto em inglês quanto em português. Foram incluídos apenas artigos completos, publicados em periódicos revisados por pares. Estudos duplicados ou irrelevantes ao tema foram excluídos. A extração e organização dos dados seguiram um método sistemático, com a classificação dos artigos de acordo com autor, ano de publicação, participantes e desenho do estudo. Para garantir a precisão, foi desenvolvida uma grade de extração, preenchida manualmente em uma planilha Excel e os estudos foram categorizados com base em modelos teóricos e abordagens de design.

Inicialmente, foram identificados mais de 1.500 artigos potencialmente relevantes. Após remoção de duplicatas e exclusão de trabalhos não aderentes ao tema, 148 estudos foram triados, dos quais 26 compuseram a análise final, servindo de base para as conclusões desta dissertação. A qualidade

[1]Técnica que consiste na busca por referências citadas em artigos previamente selecionados, ampliando o escopo da pesquisa [Choong et al., 2014].

dos estudos foi avaliada com base em cinco critérios: relevância do tema, fundamentação teórica consistente, presença de modelos teóricos, clareza metodológica e detalhamento na coleta de dados. Foram excluídos os artigos que não apresentavam estudos cujo escopo não contemplava sinais fisiológicos, monitoramento biomédico ou análise de dados pertinentes. Também foram desconsiderados trabalhos com limitações metodológicas, como a ausência de clareza nos métodos ou a falta de resultados empíricos, além de publicações duplicadas, indisponíveis em texto completo, em idiomas distintos do português e do inglês, ou anteriores ao período definido como relevante. Por fim, foram excluídas produções com baixo rigor científico, como resumos de conferências sem dados completos ou estudos publicados em revistas não indexadas em bases de referência. A Figura III.1 apresenta o fluxograma PRISMA[2] que detalha todo o processo de seleção dos estudos, desde a identificação inicial até a inclusão final.

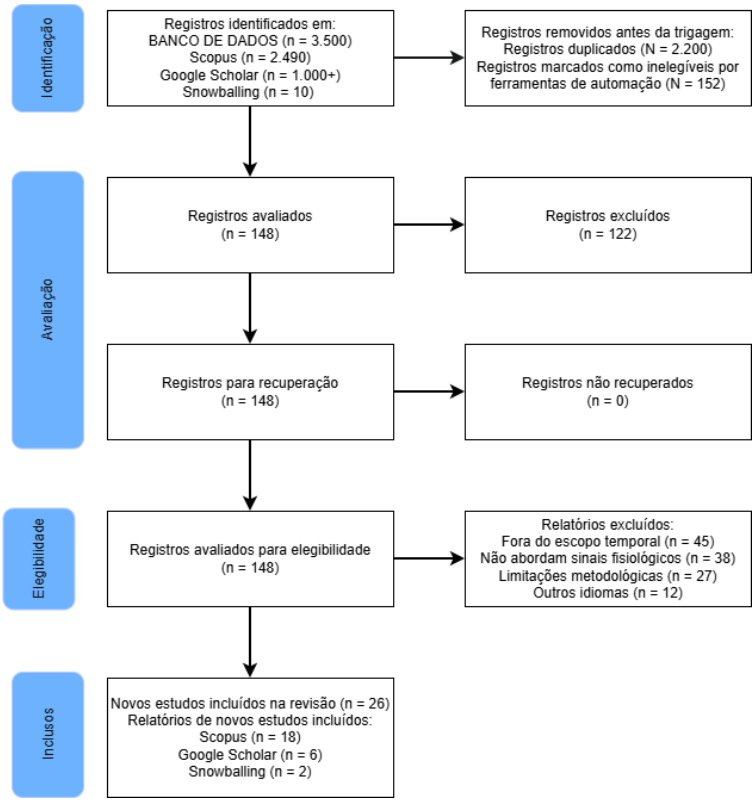


Figura III.1: Fluxograma PRISMA do processo de seleção de estudos.

Os artigos revisados indicam que os avanços tecnológicos têm impulsionado o desenvolvimento de sistemas de telemonitoramento baseados em tecnologias presentes no dia a dia. Estudos como os de Koch [2006], Scanaill et al. [2006], Orwat et al. [2008] e Loques and Sztajnberg [2010] destacam requisitos essenciais para a criação de sistemas eficazes, capazes de reconhecer a condição dos pacientes a partir do contexto de suas atividades e dos dados fisiológicos coletados, permitindo intervenções médicas mais precisas. A integração de dispositivos com diferentes interfaces também

[2]O fluxograma PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) ilustra todas as etapas do processo de seleção dos estudos, desde a identificação inicial até a inclusão final.

é crucial, dada a diversidade de aplicativos que os pacientes utilizam para monitorar sua saúde. Os DMSF, como os *wearables* comerciais, têm-se concentrado no monitoramento contínuo de biomarcadores como movimento, frequência cardíaca, qualidade do sono e detecção de arritmias cardíacas, conforme discutido em III.2.

Os estudos selecionados foram organizados em duas seções. A seção III.1 examina os trabalhos que desenvolveram diferentes tipos de DMSFe , destacando os principais desafios enfrentados e os benefícios alcançados. Já a seção III.2 apresenta uma avaliação detalhada que compara o presente trabalho com os DMSF disponíveis no mercado.

III.1 Estudos sobre DMSF

O monitoramento remoto de sinais vitais é um campo na área da saúde, pois permite o acompanhamento contínuo de pacientes fora do ambiente hospitalar. Diversos trabalhos acadêmicos e tecnologias têm sido desenvolvidos para otimizar essa prática, cada um abordando diferentes aspectos, como a medição precisa de sinais, a transmissão de dados e a integração com sistemas de informação.

Esta seção tem como objetivo discutir os principais estudos e tecnologias relacionados ao desenvolvimento de DMSF, com ênfase nos sensores empregados, nos métodos de comunicação de dados e nas plataformas de análise utilizadas. Por fim, realiza-se uma comparação detalhada de cada trabalho com o COSMOS, evidenciando suas principais diferenças.

III.1.1 Telemedicina: Uma aplicação de IoT para sistemas de saúde

A implementação do modelo de rede descrito no estudo de Mohamed and Abdellatif [2019] apresenta três tecnologias de comunicação sem fi: Wi-Fi, GSM e Bluetooth, para conectar sensores biométricos de um paciente a um sistema central, permitindo que médicos monitorem sinais vitais e enviem mensagens de consultoria em tempo real. A arquitetura proposta busca testar o desempenho dessas tecnologias para determinar a mais adequada ao sistema de monitoramento remoto, considerando diferentes cenários de aplicação.

O estudo destaca as vantagens e limitações de cada tecnologia, o que é relevante para o desenvolvimento de sistemas de monitoramento de saúde em tempo real. Por exemplo:

- GSM: útil em áreas remotas ou em situações de emergência devido à sua ampla cobertura, mas com limitações quanto à baixa taxa de dados.
- Wi-Fi: mais adequado para ambientes como hospitais e clínicas, onde há infraestrutura de internet robusta, permitindo a transmissão de grandes volumes de dados de sensores em tempo real.

- Bluetooth: ideal para configurações de monitoramento de curto alcance, como consultas médicas ou terapia intensiva, devido à sua eficiência, custo reduzido e baixa latência.

Esses resultados são particularmente importantes para a integração de sensores biométricos em sistemas de monitoramento remoto, ajudando a selecionar a tecnologia de comunicação mais apropriada conforme as necessidades específicas de cada aplicação.

III.1.2 HLH: Monitoramento remoto em casa

O Sistema HLH (Heart Lung Health) é uma solução desenvolvida por Shaji et al. [2021], que combina dispositivos vestíveis, tecnologias de IoT e análise em tempo real para o monitoramento dos parâmetros de saúde cardíaca e respiratória de pacientes. A arquitetura do sistema é composta por sensores de ECG para a captação de sinais elétricos do coração, uma aplicação para *smartphone* que processa e exibe os dados, uma plataforma de armazenamento em nuvem para registro e análise dos dados de saúde e uma interface dedicada aos médicos, permitindo que eles acompanhem o estado dos pacientes de forma remota e em tempo real.

A funcionalidade principal do HLH está em sua capacidade de calcular parâmetros críticos, como a frequência cardíaca, a variabilidade da frequência cardíaca e a taxa respiratória, utilizando os sinais captados pelos sensores. Essa abordagem permite que os médicos não apenas monitorem os pacientes à distância, mas também identifiquem rapidamente alterações que possam indicar anormalidades ou emergências médicas. Além disso, a solução oferece acessibilidade tanto para os profissionais de saúde quanto para os pacientes, integrando os dados em uma plataforma que facilita a comunicação e a tomada de decisões.

O uso do HLH destaca sua aplicabilidade prática em cenários de monitoramento remoto, como no acompanhamento de pacientes com doenças crônicas ou em situações em que o acesso aos cuidados presenciais é limitado. Esses dispositivos, além de serem compactos e confortáveis para uso contínuo, são capazes de captar informações precisas sobre o estado fisiológico do paciente, o que os torna uma ferramenta valiosa para o acompanhamento da saúde.

III.1.3 Digi-Healthcare

A metodologia apresentada por Ashfaq et al. [2022] é baseada na aplicação da IoMT combinada com técnicas de Inteligência Artificial (IA) para o monitoramento remoto de pacientes, com foco em indivíduos que não apresentam condições relacionadas à COVID-19. O sistema utiliza sensores biométricos, como o MAX30102 (capaz de medir a frequência cardíaca e a saturação de oxigênio no sangue) e o MLX90614 (um sensor de temperatura corporal não invasivo). Esses sensores são

integrados a dispositivos de computação de borda[3], como o Raspberry Pi, que realizam o pré-processamento e a análise dos dados em tempo real.

A computação de borda desempenha um papel essencial nesse sistema, permitindo que a análise dos sinais vitais ocorra localmente. Isso reduz a latência no processo de detecção de anomalias e ativação de alertas baseados em modelos de aprendizado de máquina previamente treinados. Quando o sistema identifica irregularidades nos sinais vitais, notificações são automaticamente enviadas para pacientes, cuidadores e médicos, possibilitando intervenções rápidas e eficazes.

Além disso, o sistema inclui a transmissão dos dados processados para uma plataforma em nuvem, onde são armazenados para análises posteriores e aprimoramento contínuo dos modelos de IA. Esse armazenamento a longo prazo permite identificar padrões de saúde, fornecer relatórios detalhados e melhorar a precisão da detecção de anomalias ao longo do tempo.

A combinação de IoMT, computação de borda e IA apresentada por Ashfaq et al. [2022] representa um avanço significativo na área de monitoramento remoto de pacientes. O uso de dispositivos de borda garante respostas rápidas a eventos críticos, enquanto a integração com a nuvem assegura a disponibilidade de dados para análises detalhadas e planejamento de cuidados futuros. Essa abordagem não só reduz a sobrecarga de recursos hospitalares, como também promove maior acessibilidade aos serviços de saúde, principalmente em contextos onde o monitoramento contínuo e remoto é necessário.

III.1.4 i-Care

O avanço das tecnologias aplicadas à saúde tem possibilitado o desenvolvimento de ferramentas inovadoras para o monitoramento de variáveis fisiológicas, especialmente em populações vulneráveis, como crianças. O i-CARE é um sistema remoto focado no monitoramento de variáveis fisiológicas relacionadas à dor em pacientes pediátricos de 7 a 14 anos [Guzman-Sandoval et al., 2021]. Utilizando tecnologias da IoMT, o i-CARE foi projetado para ser uma solução amigável, eficaz e não invasiva, possibilitando o monitoramento de sinais relacionados à dor e fornecendo terapias que ajudam as crianças a reconhecer e controlar esse estado.

O i-CARE integra dispositivos de IoMT para a coleta de dados fisiológicos, como frequência cardíaca e saturação de oxigênio (SpO2), além de utilizar terapias complementares, como biofeedback e técnicas de relaxamento, que contribuem para a redução da dor e para a melhora do estado emocional das crianças. Essas abordagens tornam o sistema uma ferramenta relevante no cuidado pediátrico, especialmente para populações que precisam de atenção constante e personalizada.

A aplicação do i-CARE destaca-se pela utilização de dispositivos conectados que permitem

[3]Do inglês edge computing, é um paradigma que realiza o processamento de dados próximo à sua origem, em dispositivos ou sensores, reduzindo a latência, otimizando o uso da rede e permitindo respostas em tempo real, especialmente em aplicações críticas como saúde, indústria e cidades inteligentes [Yu et al., 2017]

análises em tempo real, reduzindo o tempo de resposta em situações críticas e melhorando a interação entre pacientes, cuidadores e profissionais de saúde. O foco em terapias integradas e na interface amigável reforça seu papel como uma solução abrangente para o monitoramento e gestão da dor pediátrica.

III.1.5 Camiseta equipada com sensores

O desenvolvimento de tecnologias voltadas para a monitorização da saúde tem avançado significativamente nos últimos anos, destacando-se sistemas que permitem a coleta de dados vitais em tempo real e a análise contínua do estado de saúde dos indivíduos. A utilização de Wearable Health Devices (WHDs) tem-se tornado uma prática comum, proporcionando uma abordagem mais dinâmica e eficaz no monitoramento de sinais fisiológicos como o ECG, a bioimpedância e a temperatura corporal.

A proposta do WHD descrito por De Vito et al. [2022] se centra na criação de uma solução capaz de coletar sinais fisiológicos de maneira contínua e com alta precisão. A camiseta equipada com sensores foi projetada para garantir conforto e adesão do usuário, além de ser suficientemente robusta para medir múltiplos sinais simultaneamente. O módulo eletrônico integrado ao dispositivo realiza o processamento e a transmissão desses dados para dispositivos móveis, permitindo a análise em tempo real. Esse dispositivo se apresenta como uma ferramenta poderosa para a coleta de dados biomédicos em ambientes domésticos ou hospitalares, possibilitando um acompanhamento contínuo e eficaz da saúde do paciente.

Além disso, a camiseta equipada com sensores possui funcionalidades avançadas, como a capacidade de remover artefatos gerados pelo descolamento dos eletrodos e de analisar medições de aceleração, permitindo a identificação de alterações na postura ou no nível de atividade do paciente. Essas inovações tornam o dispositivo uma solução abrangente e moderna para o monitoramento remoto da saúde, viabilizando intervenções mais precisas e personalizadas, sempre que necessário.

III.1.6 Colete Inteligente

O monitoramento da taxa respiratória, especialmente em pacientes com doenças respiratórias crônicas, como a Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), é essencial para avaliar a eficácia dos tratamentos e detectar precocemente possíveis exacerbações. Nesse contexto, o trabalho de Naranjo-Hernández et al. [2018] propõe a utilização de sensores capacitivos não invasivos, que se destacam por sua alta sensibilidade e pela ausência de contato direto com a pele, oferecendo uma abordagem inovadora e confortável para os pacientes.

A solução apresentada por Naranjo-Hernández et al. [2018] consiste em um sensor capacitivo integrado a um colete inteligente, capaz de monitorar a taxa respiratória, os tempos de inspiração e

expiração, além de transmitir os dados por meio de protocolos baseados na IoT, como o MQTT. Essa integração permite o monitoramento em tempo real, possibilitando intervenções rápidas e eficazes, tanto em ambientes domésticos quanto hospitalares.

Além disso, o colete inteligente inclui funcionalidades que otimizam o consumo energético e garantem portabilidade, tornando-o uma ferramenta acessível e viável para o acompanhamento contínuo de pacientes. A combinação de sensores inteligentes com plataformas IoT representa um avanço significativo na gestão de doenças respiratórias, ampliando as possibilidades de cuidado remoto e melhorando a qualidade de vida dos pacientes.

III.1.7 Wearable para IoMT

O monitoramento de sinais vitais, como frequência cardíaca, níveis de oxigênio no sangue e GSR, é essencial para a gestão de saúde, especialmente em ambientes domésticos ou móveis. O trabalho de Arslan and Candan [2022] descreve o desenvolvimento de um dispositivo vestível inteligente que utiliza uma série de sensores para coletar dados biológicos e ambientais, transmitindo essas informações via Bluetooth de baixo consumo energético para um servidor, com o objetivo de monitoramento contínuo da saúde do usuário.

O dispositivo, que integra sensores como o SI7021 para temperatura e umidade, o MAX30003 para EKG/PPM, e o MAX30102 para BPM e SpO2, oferece uma solução não invasiva, de baixo custo e portátil para monitoramento remoto. A arquitetura do sistema inclui um software embarcado, uma aplicação móvel para comunicação via Bluetooth e um backend para processamento e armazenamento de dados, tudo projetado para integrar a IoT de maneira eficiente e acessível.

III.1.8 Comparação entre os Trabalhos Relacionados e o COSMOS

O avanço das tecnologias de monitoramento remoto e análise de dados fisiológicos tem sido impulsionado por vários projetos inovadores, como o i-CARE, o WHD (Wearable Health Devices), e o dispositivo vestível desenvolvido por Arslan and Candan [2022]. Esses projetos buscam otimizar a gestão da saúde, especialmente em ambientes domésticos ou móveis, por meio do uso de dispositivos inteligentes e tecnologias de IoT. No entanto, o COSMOS se destaca ao abordar lacunas e integrar diversas tecnologias de forma mais abrangente e personalizada.

O i-CARE, desenvolvido para monitorar a dor pediátrica, utiliza dispositivos da IoMT e terapias, visando o controle da dor de crianças. Sua principal inovação é a abordagem não invasiva e voltada a um público específico, o que é fundamental para o cuidado de crianças com condições de dor crônica. Contudo, o sistema i-CARE é limitado ao monitoramento de variáveis fisiológicas específicas relacionadas à dor, não abrangendo uma análise mais ampla dos dados fisiológicos e comportamentais de um paciente. O COSMOS, por sua vez, vai além ao integrar múltiplos dispositivos

de monitoramento e aplicar análises contínuas e fornecer informações para a tomada de decisão clínica. O COSMOS foca em um sistema holístico, permitindo a análise de um conjunto mais amplo de variáveis fisiológicas e proporcionando um monitoramento mais preciso e personalizado, algo que o i-CARE, ao ser voltado para a dor, não abrange.

O DMSF descrito por Naranjo-Hernández et al. [2018] utiliza um colete inteligente para monitoramento contínuo de sinais vitais como ECG, bioimpedância e temperatura, transmitindo dados via IoT. Embora seja uma solução inovadora para o monitoramento de saúde, ele ainda carece de um sistema robusto de análise dos dados coletados, o que limita sua eficácia em termos de identificação precoce de alterações críticas e personalização das intervenções. Em contraste, o COSMOS não só coleta dados em tempo real de múltiplos sensores, mas também utiliza algoritmos para transformar esses dados em decisões automatizadas ou recomendações para os profissionais de saúde. Isso permite que o COSMOS não apenas colete, mas também faça análises, o que o torna uma solução mais eficiente para a gestão de saúde a longo prazo.

O dispositivo vestível descrito por Arslan and Candan [2022] combina sensores como ECG, BPM, SpO2 e GSR para monitoramento de sinais vitais e comunicação via Bluetooth. Sua principal vantagem é a portabilidade e simplicidade, sendo ideal para o uso diário e monitoramento contínuo. No entanto, ele ainda não oferece uma análise em tempo real tão robusta quanto a proposta do COSMOS. Além disso, a integração do COSMOS com múltiplos sensores e plataformas computacionais torna-o uma solução mais escalável, com maior potencial de monitoramento remoto e gestão de saúde.

Na Tabela III.1, é possível observar a comparação entre os projetos de monitoramento remoto de saúde e o COSMOS, destacando os pontos em que o COSMOS se diferencia e as lacunas que ele preenche em relação aos outros projetos. Observa-se que o COSMOS é o único projeto que abrange completamente as quatro medições (ECG, BPM, SpO2, GSR) juntamente com a aplicação para smartphones, enquanto outros projetos não integram todos esses sensores ou não incluem a aplicação móvel, como no caso do trabalho da subseção III.1.6, que não possui ECG ou GSR, mas ainda assim utiliza BPM, SpO2 e um aplicativo para *smartphones*. Além disso, o COSMOS preenche uma lacuna significativa ao oferecer o monitoramento em tempo real, algo que nem todos os projetos da tabela abordam.

Embora os projetos analisados tenham feito importantes contribuições, o COSMOS se destaca por sua abordagem integradora e personalizada, preenchendo lacunas como a falta de análise preditiva e a integração de dados de múltiplos sensores. Ele vai além do simples monitoramento de sinais vitais, oferecendo uma plataforma inteligente e conectada que transforma dados fisiológicos em ações significativas e personalizadas. O COSMOS se posiciona, assim, como uma solução mais holística e eficaz para o cuidado de pacientes, ao integrar tecnologias de ponta para monitoramento

Tabela III.1: Comparação entre os Trabalhos Relacionados e o COSMOS

Sistema	ECG	BPM	SpO2	GSR	Resposta em tempo real	App para *smartphones*	Integração com múltiplos sensores
COSMOS	X	X	X	X	X	X	X
Telemedicina: Uma aplicação de IoT (III.1.1)	X	X	X		X	X	
HLH: Monitoramento remoto em casa (III.1.2)	X	X	X		X	X	
Digi-Healthcare (III.1.3)	X	X	X	X	X	X	
i-Care (III.1.4)	X	X	X		X	X	
Camiseta com sensores (III.1.5)	X	X	X		X	X	
Colete Inteligente (III.1.6)	X	X			X		
Wereable IoMT (III.1.7)	X	X	X	X	X	X	

remoto, análise em tempo real e otimização dos recursos, atendendo melhor às necessidades de saúde em contextos domésticos ou hospitalares.

III.2 Análise Comparativa com Dispositivos Comerciais

O foco principal dos DMSF disponíveis comercialmente tem sido nos rastreadores de movimento [Haghi et al., 2017]. A avaliação do movimento humano desempenha um papel importante na biomecânica e análise da marcha, podendo ser utilizada para diagnosticar doenças neurológicas e psicológicas. Além disso, os rastreadores de movimento podem acompanhar o número de passos, o que auxilia no registro das calorias queimadas. Portanto, vários dispositivos desse tipo estão disponíveis no mercado para esse propósito, sendo os mais amplamente utilizados o Misfit Shine, Fitbit Inspire 2, Withings e Apple Watch.

A Misfit, uma empresa norte-americana de eletrônicos de consumo, lançou o Misfit Shine[4], que registra o número de passos, horas de sono, distância percorrida e calorias queimadas. A Fitbit, uma empresa norte-americana de fitness, lançou vários dispositivos vestíveis, incluindo o Fitbit Inspire 2[5], uma das adições mais recentes para o monitoramento contínuo em tempo real de sinais vitais, como frequência cardíaca, atividade e sono. Além disso, o Withings Pulse[6] é um rastreador de

[4] `https://www.misfit.com/`
[5] `https://www.fitbit.com/global/us/products/trackers/inspire2`
[6] `https://www.withings.com/us/en/pulse-hr`

Tabela III.2: Detalhes sobre DMSF Comerciais, com foco fitness

	Duração da bateria	Peso (g)	Dimensões (cm)	Preço em dólar
Misfit Shine	6 meses	172,9	5,24 x 1,97 x 5,91	$69,99
Fitbit Inspire 2	10 dias	30	1,47 x 0,66 x 0,51	$99,95
Withings Pulse	50 dias	7,94	0,40 x 0,71 x 1,75	$99,95
Apple Watch	18 horas	30,5	1,34 x 1,57 x 0,41	$399

fitness inteligente da Withings, uma empresa francesa de eletrônicos de consumo, que permite o monitoramento 24 horas por dia, 7 dias por semana da frequência cardíaca e também registra as horas de sono.

Em contraste com os dispositivos de fitness mencionados acima, o Apple Watch[7] vem com recursos como notificações de ritmo cardíaco irregular, monitoramento de ECG e de oxigênio no sangue. Ritmos cardíacos irregulares podem sugerir fibrilação atrial, onde a fibrilação atrial pode levar a acidente vascular cerebral, insuficiência cardíaca e outras complicações cardíacas relacionadas. No entanto, o Apple Watch não pode constantemente procurar por fibrilação atrial e não pode detectar todas as instâncias de fibrilação atrial. Ele apenas envia notificação se ritmos irregulares forem detectados repetidamente. A autenticidade do Apple Watch para a detecção de fibrilação atrial foi confirmada por um estudo realizado com 419.297 participantes em Stanford [Perez et al., 2019], onde os participantes foram monitorados com o Apple Watch e, ao receberem uma notificação de ritmo cardíaco irregular, foram monitorados por 90 dias para fibrilação atrial usando um adesivo de ECG. O estudo diagnosticou 34% dos participantes com fibrilação atrial por meio da detecção precoce pelo Apple Watch e 84% das notificações de ritmo cardíaco irregular estavam de acordo com a fibrilação atrial [Perez et al., 2019]. Além disso, o aplicativo de ECG monitora o ritmo cardíaco irregular usando um sensor cardíaco elétrico embutido e fornece notificação de fibrilação atrial ou ritmo sinusal normal. Além disso, ele também registra o nível de oxigênio no sangue, o que auxilia no monitoramento contínuo de hipoxemia e condições como asma e enfisema[8]. A Tabela III.2 apresenta detalhes sobre as dimensões, duração da bateria, peso e preço em dólar dos DMSF mencionados acima.

O ECG é um parâmetro clínico que desempenha um papel importante no diagnóstico e prevenção de doenças cardiovasculares, e vários DMSF foram introduzidos no mercado para o monitoramento do ECG. O dispositivo ePatch[9] é um adesivo de ECG aprovado pela FDA (Food and Drug Administration)[10], disponível comercialmente, que consiste em um sensor de ECG de 3 derivações alojado dentro de um adesivo. O adesivo pode armazenar gravações de ECG continuamente por 72 horas e os resultados podem ser analisados em um software de computador, transmitidos usando um cabo

[7] https://www.apple.com/healthcare/apple-watch/
[8] https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/emphysema/symptoms-causes/syc-20355555?p=1
[9] https://www.gobio.com/epatch/
[10] https://www.fda.gov/

Tabela III.3: Detalhes sobre DMSF Comerciais, com foco em ECG

	Duração da bateria	Peso (g)	Dimensões (cm)	Nº Canais de Leitura	Leitura em Tempo Real?	Presença de Alerta?
ePatch	72 horas	21	0,40 x 0,49 x 0,10	3	Sim	Não
Savy	20 dias	21	1,30 x 0,35 x 0,14	1	Sim	Sim
ZIO XT	14 dias	34	1,23 x 0,05 x 0,10	1	Não	Sim
SEEQ	Sem bateria	50	1,60 x 0,60 x 0,15	1	Não	Sim

USB.

Com os avanços no monitoramento de ECG, o dispositivo LifeTouch[11] se destaca por realizar a leitura de ECG sem derivações, oferecendo medição contínua da taxa de respiração, frequência cardíaca e ECG para fins de verificação. O dispositivo Savvy[12] é um dispositivo de atenção primária à saúde disponível comercialmente para o monitoramento em tempo real do ECG, consistindo em um sensor fixado à pele com dois eletrodos adesivos para a medição do ECG e carregamento do sensor. O ECG do Savvy pode ser visualizado em tempo real por meio de um aplicativo móvel, MobECG[13], permitindo um resumo do ECG que pode ser compartilhado com o profissional médico do paciente.

Da mesma forma, o ZIO XT[14] e o SEEQ[15] são outros dois dispositivos importantes disponíveis comercialmente para o monitoramento do ECG, no entanto, ao contrário do Savvy, o ZIO XT e o SEEQ não podem ser reutilizados e não relatam resultados em tempo real. É importante destacar que a possibilidade de leitura em tempo real do dispositivo ePatch é realizada por meio de um software em um computador, enquanto o dispositivo Savvy realiza essa função por meio de um aplicativo para smartphones com acesso a um servidor na nuvem. Quanto ao sistema de alerta, os dispositivos Savy, ZIO XT e o dispositivo SEEQ possuem alertas sonoros ou visuais para indicar a detecção de problemas de saúde.

A Tabela III.3 apresenta detalhes importantes sobre os dispositivos vestíveis disponíveis comercialmente para o monitoramento do ECG dentre os DMSF mencionados anteriormente. São destacadas informações sobre a duração da bateria, peso, dimensões, o número de canais de leitura de ECG, a possibilidade de leitura em tempo real e a presença de alertas de cada dispositivo.

A Tabela III.4 apresenta uma comparação entre os dispositivos analisados nesta subseção e o COSMOS. Os critérios considerados incluem: dimensões (em centímetros), capacidade de leitura de ECG, leitura de Saturação de Oxigênio no Sangue (SpO2) e BPM, leitura de GSR e preço (convertido do dólar para reais utilizando a cotação de R$5,48 registrada em 20 de agosto de 2025). Esses parâmetros permitem uma avaliação abrangente das funcionalidades, limitações e posicionamento

[11] `https://www.isansys.com/en/Wearable-Sensors`
[12] `http://www.savvy.si`
[13] Google Play: `https://play.google.com/store/apps/details?id=si.ijs.e6.MobEcg&hl=pt&gl=US`
[14] `https://www.irhythmtech.com/providers/zio-service/zio-monitors`
[15] `https://www.seeq.com/product`

Tabela III.4: Comparação dos DMSF comerciais com o COSMOS

Dispositivo	**Dimensões (cm)**	Leitura ECG	Leitura SpO2 e BPM	Leitura GSR	**Preço (R$)**
COSMOS	2 x 13,5 x 8	Sim	Sim	Sim	R$320,00
Misfit Shine	5,24 x 1,97 x 5,91	Não	Sim	Não	R$164,94
Fitbit Inspire 2	1,47 x 0,66 x 0,51	Não	Sim	Não	R$438,79
Withings Pulse	0,40 x 0,71 x 1,75	Não	Sim	Não	R$268,52
Apple Watch	1,34 x 1,57 x 0,41	Sim	Sim	Não	R$2.189,52
ePatch	0,40 x 0,49 x 0,10	Sim	Não	Não	R$438,79
Savy	1,30 x 0,35 x 0,14	Sim	Não	Não	R$3.014,00
ZIO XT	1,23 x 0,05 x 0,10	Sim	Não	Não	R$2.719,56
SEEQ	1,60 x 0,60 x 0,15	Sim	Não	Não	R$1.370,00

de cada dispositivo no contexto do monitoramento fisiológico.

A análise evidencia que o COSMOS se destaca por integrar, em um único dispositivo, todas as funcionalidades consideradas, ECG, SpO2, BPM e GSR. Embora seu preço seja superior ao de alguns modelos comerciais, ele reúne um conjunto de recursos que nenhum dos outros dispositivos oferece simultaneamente. Essa integração completa, somada à capacidade de monitorar múltiplos sinais fisiológicos de maneira centralizada, confere ao COSMOS uma vantagem comparativa significativa, posicionando-o como uma solução mais abrangente para aplicações em APT.

III.3 Considerações

A análise comparativa entre o COSMOS, os trabalhos relacionados (III.1) e os dispositivos comerciais (III.2) demonstrou que, embora existam alternativas que atendam a necessidades específicas, o COSMOS se destaca por integrar múltiplas funcionalidades biométricas em um único dispositivo. Enquanto muitos dispositivos analisados priorizam apenas algumas medições, como SpO2 e BPM, poucos combinam leituras de ECG, GSR e respostas em tempo real. Essa abordagem mais abrangente é essencial para aplicações que demandam análises completas de sinais vitais e respostas fisiológicas, como os estudos propostos em trabalhos relacionados, que também buscam soluções inovadoras para monitoramento de saúde em ambientes complexos.

Além disso, os trabalhos relacionados evidenciam a importância de soluções adaptadas para contextos específicos, como pesquisas acadêmicas e o monitoramento de condições médicas críticas. O COSMOS reforça essa perspectiva ao oferecer uma integração funcional alinhada às necessidades identificadas nessas iniciativas, ampliando significativamente a capacidade de coleta e análise de dados biométricos. Embora seu preço seja superior ao de alguns dispositivos comerciais, o COSMOS oferece uma combinação de recursos que nenhum dos demais consegue entregar de forma simultânea. Essa integração completa, aliada à capacidade de monitorar múltiplos sinais fisiológicos em um único sistema, reforça sua vantagem comparativa e o posiciona como uma solução mais abrangente para

a APT. A comparação com dispositivos comerciais mostra que, mesmo entre soluções avançadas, ainda há limitações quanto à diversidade de métricas monitoradas, o que torna o COSMOS uma proposta diferenciada e mais completa.

Por fim, a comparação não apenas analisou o COSMOS em relação aos dispositivos existentes, mas também destacou sua capacidade de suprir lacunas apontadas em trabalhos relacionados. Ao integrar múltiplos sensores e oferecer a apresentação em tempo real de dados biométricos, o COSMOS apresenta uma contribuição relevante tanto para o desenvolvimento de tecnologias em saúde quanto para aplicações acadêmicas, reafirmando seu papel como uma solução versátil no campo do monitoramento biomédico.

Capítulo IV Metodologia

Este trabalho propõe uma metodologia para criar um conjunto de sistemas com um DMSF, baseada na arquitetura proposta por Pötter and Sztajnberg [2014]. Essa abordagem, denominada COSMOS (Conjunto de Subsistemas de Monitoramento da Saúde), abrange componentes essenciais, incluindo uma Interface Gráfica Web, uma Interface Gráfica Mobile, um Servidor e o próprio DMSF. Um elemento central no desenvolvimento do DMSF é o Algoritmo de Ativação de Sensores com Interação (AASI), que atua como o algoritmo principal de controle e manipulação dos sensores e é detalhado na Subseção IV.1.6. Cada um desses componentes é descrito nas seções subsequentes, com informações sobre seu desenvolvimento. Embora a ordem de criação dos elementos não impacte o resultado final, recomenda-se seguir a sequência ilustrada na Figura IV.1 para otimizar o processo.



Figura IV.1: Sugestão de sequência de desenvolvimento do COSMOS.

As seções dedicadas a cada componente detalham aspectos específicos de seu desenvolvimento: o DMSF (Seção IV.1) é descrito em relação aos sensores, esquema eletrônico, modo de uso, estimativa de custos, fabricação e fonte de alimentação; a Interface Gráfica Mobile (Seção IV.2) enfatiza a portabilidade e usabilidade em dispositivos variados; a Interface Gráfica Web (Seção IV.3) aborda suas funcionalidades e a interação com o usuário. Além disso, a seção sobre o Servidor (Seção IV.4) explora suas funções e papel central na arquitetura do sistema. Uma seção específica (Seção IV.5) é dedicada à segurança, discutindo estratégias para proteger os dados dos usuários e garantir a privacidade das informações. Finalmente, uma última seção (Seção IV.6) trata da comunicação entre todos os elementos do COSMOS, detalhando o fluxo de dados e a integração dos subsistemas, de modo a garantir um monitoramento eficiente e preciso da saúde dos usuários.

IV.1 Dispositivo de Monitoramento de Sinais Fisiológicos (DMSF)

A Figura IV.2 apresenta o DMSF desenvolvido para o COSMOS, composto pelo Microcontrolador ESP32-Wroom-32 (item A), o Grove GSR Sensor (item B), o sensor AD8232 (item C) e o sensor MAX30100 (item D), todos projetados para monitoramento de sinais vitais. Esses módulos foram

interconectados com cabos Dupont[1], garantindo conexões seguras e de fácil manutenção. Embora esta solução modular possa introduzir certa susceptibilidade a ruídos elétricos, ela oferece significativas vantagens durante a fase de prototipagem, permitindo rápida reconfiguração, substituição de componentes e manutenção ágil do sistema. Para aprimorar a organização e portabilidade, o sistema foi alojado em uma caixa modelada e impressa em 3D, oferecendo uma estrutura compacta e resistente. Essa abordagem possibilita a montagem econômica de múltiplos dispositivos DMSF, facilitando sua replicação em diferentes contextos de monitoramento e assegurando um design funcional e padronizado.

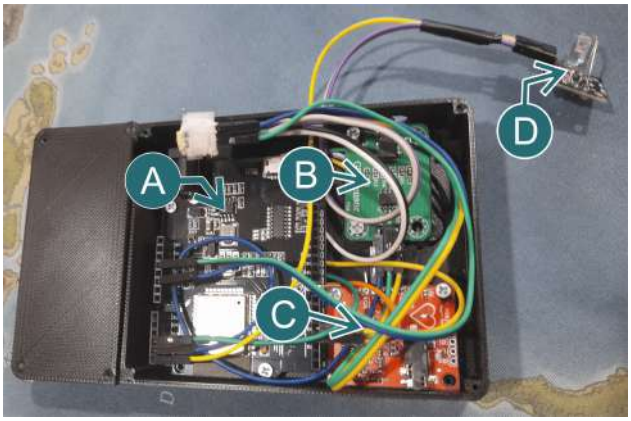


Figura IV.2: Disposição dos componentes dentro da caixa (A - microcontrolador ESP32-Wroom-32, B - Grove GSR Sensor, C - AD8232 e D - MAX30100).

A Figura IV.3 exibe o dispositivo finalizado, com a caixa impressa em 3D já fechada. Ela destaca não apenas a funcionalidade do DMSF, mas também sua estética e design compacto. A escolha de uma caixa bem projetada assegura que todos os componentes estejam organizados e seguros, além de garantir um uso confortável e prático. O acabamento cuidadoso da caixa, aliado à disposição eficiente dos sensores e do microcontrolador, resulta em um dispositivo visualmente agradável e funcional.

Nas próximas subseções, cada aspecto do DMSF é explorado em profundidade, dedicadas aos principais sensores e elementos de sua arquitetura. A Subseção IV.1.1 detalha o Esquema Eletrônico, apresentando as conexões e a organização dos componentes. Em seguida, a Subseção IV.1.2 trata da Fonte de Alimentação, discutindo a escolha e configuração do sistema de energia. A Subseção IV.1.3 discute o Sensor AD8232, responsável pela captura dos sinais cardíacos. A Subseção IV.1.4 apresenta o Grove GSR Sensor, utilizado para medir a condutividade galvânica da pele, enquanto a Subseção IV.1.5 aborda o Sensor MAX30100, empregado para monitoramento de oxigenação e batimentos cardíacos. A Subseção IV.1.6 é dedicada ao AASI, o algoritmo de controle central que manipula e gerencia a coleta de dados dos sensores. Por fim, a Subseção IV.1.7 trata da

[1]Cabos Dupont são amplamente utilizados em eletrônica por facilitarem conexões modulares entre componentes, como sensores e microcontroladores, dispensando soldas e simplificando a montagem.



Figura IV.3: Produto final DMSF dos COSMOS.

Estimativa de Custos, fornecendo uma análise detalhada dos custos envolvidos no desenvolvimento do DMSF. Essa organização fornece uma visão abrangente de cada parte do DMSF, permitindo uma compreensão mais completa de seu desenvolvimento e funcionamento.

IV.1.1 Esquema Eletrônico

O esquema eletrônico do sistema foi projetado utilizando o programa Fritzing[2]. A Figura IV.4 ilustra detalhadamente a disposição dos componentes e suas conexões no circuito eletrônico. O sensor AD8232 (item A) está integrado às portas GPIOs 12, 18 e 19 do ESP32-Wroom-32 (item D), desempenhando um papel fundamental na leitura dos sinais elétricos do coração (ECG). Para seu correto funcionamento, o sensor é alimentado com uma tensão de 3,3V. Já a GPIO 32 do ESP32-Wroom-32 é conectada ao Grove GSR Sensor (item B), cuja leitura da condutância elétrica da pele exige dois sensores localizados nos dedos indicadores. O sensor MAX30100 (item C), por sua vez, é conectado à GPIO 33. Ambos os sensores, GSR e MAX30100, necessitam de uma alimentação de 5V para operar adequadamente.

É importante destacar que o sensor AD8232 e o Grove GSR Sensor desempenham papéis cruciais no monitoramento fisiológico em tempo real. O ESP32-Wroom-32, que atua como núcleo do DMSF, pode ser alimentado de três formas: por meio da porta USB, conectada a um carregador de celular convencional, ou por meio de uma bateria de 9V.

[2]https://fritzing.org/

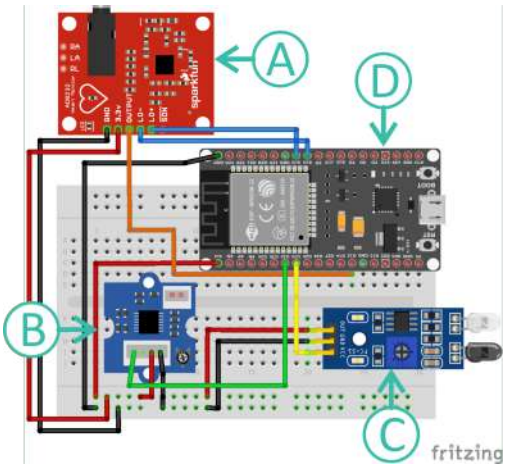


Figura IV.4: Interconexões entre os Sensores e o Microcontrolador (Item A - AD8232, Item B - Grove GSR Sensor, Item C - MAX30100, Item D - Microcontrolador ESP32-Wroom-32).

IV.1.2 Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação do DMSF do COSMOS é projetada para oferecer versatilidade e conveniência, permitindo várias opções de conexão para garantir que o sistema funcione de maneira eficaz em diferentes ambientes. Uma das opções é a conexão USB com um computador, que permite a alimentação direta do projeto. Essa alternativa é ideal para desenvolvimento e testes, pois possibilita ajustes em tempo real e o monitoramento do desempenho do sistema, tudo enquanto está em funcionamento. A alimentação via USB proporciona uma fonte de energia estável e confiável, facilitando a integração com o ambiente de trabalho.

Outra opção prática é o uso de um carregador de celular com entrada USB. Essa solução portátil permite que o sistema seja alimentado em qualquer lugar onde haja uma tomada elétrica disponível, tornando-a ideal para uso em campo ou em situações em que o acesso a um computador é limitado.

Além disso, o DMSF do COSMOS pode ser alimentado por uma bateria de 9V, aumentando sua portabilidade. Essa opção é particularmente útil em contextos onde não há acesso a uma tomada elétrica ou quando se deseja operar de forma totalmente independente. A utilização de uma bateria permite que o sistema seja levado a diferentes locais sem depender da infraestrutura elétrica.

IV.1.3 Sensor AD8232

O sensor AD8232 desempenha um papel crucial no monitoramento dos sinais elétricos do coração, conhecidos como ECG. Este sensor é projetado para capturar os sinais elétricos gerados pela atividade do coração e, em seguida, amplificá-los e filtrá-los, garantindo que as informações sejam nítidas e livres de ruídos. Após a captura dos sinais, o processo de amplificação e filtragem é realizado pelo próprio sensor AD8232, que ajusta os dados para que possam ser analisados de maneira precisa.

Uma vez que os sinais são processados, o microcontrolador associado ao DMSF analisa os dados em busca de possíveis anomalias. Essas anomalias são identificadas com base em limites predeterminados: se os valores do sinal excederem 4000 ou ficarem abaixo de 800, o sistema considera essas flutuações como potenciais indicadores de irregularidades no ritmo cardíaco.

Após a análise das anomalias, os dados são transmitidos via Bluetooth para a aplicação do usuário, permitindo que as informações sejam monitoradas continuamente e em tempo real. Isso possibilita que tanto os usuários quanto os profissionais de saúde acompanhem o ritmo cardíaco de forma precisa e oportuna, promovendo uma resposta rápida em caso de qualquer alteração significativa no estado de saúde do paciente.

IV.1.4 Grove GSR Sensor

O Grove GSR Sensor, utilizado no DMSF do COSMOS, é um sensor essencial para medir a condutância elétrica da pele, um parâmetro influenciado pela atividade do sistema nervoso autônomo e associado a respostas emocionais e psicológicas. Este sensor é amplamente utilizado em estudos de resposta emocional, pois permite avaliar reações físicas a estímulos como ansiedade, excitação ou medo, funcionando como uma janela para o entendimento do estado emocional do usuário.

Durante uma situação emocionalmente carregada, como uma situação estressante ou um evento que provoca excitação, o sistema nervoso autônomo responde de maneira involuntária, alterando a atividade das glândulas sudoríparas e, consequentemente, a condutância elétrica da pele. O Grove GSR Sensor captura essas mudanças de condutância e as transforma em sinais elétricos, que podem ser transmitidos ao microcontrolador para processamento e análise. Essa informação permite inferir o estado emocional do usuário em tempo real, adicionando uma camada valiosa de dados ao monitoramento fisiológico.

No processamento dos dados, o microcontrolador realiza uma análise dos sinais recebidos, em que 100 leituras consecutivas do Grove GSR Sensor são coletadas e a média desses valores é calculada para garantir maior precisão. Após obter essa média, os dados são convertidos em microsiemens (µS), unidade que representa a condutância elétrica, por meio de uma série de cálculos detalhados:

1. **Conversão para Voltagem:** Inicialmente, a média das 100 leituras é convertida para voltagem usando a fórmula:

$$voltage = \frac{mediaGsr \times vEsp}{maxRangeReadAnalog}$$

onde:

- *mediaGsr* representa a média dos sinais elétricos coletados,
- *vEsp* corresponde à voltagem de 3.3V utilizada pelo microcontrolador ESP32-Wroom-32,

- *maxRangeReadAnalog* é o valor máximo analógico lido pelo ESP32, que é 4095.

2. **Conversão para Resistência (Ohms):** Em seguida, a voltagem obtida é convertida para resistência, com a fórmula:

$$resistance = \frac{(vEsp - voltage)}{voltage} \times seriesResistor$$

onde *seriesResistor* é um valor predefinido no Grove GSR Sensor que serve como referência para o cálculo da resistência.

3. **Conversão para Condutância (Microsiemens):** Finalmente, a resistência é transformada em condutância utilizando a relação inversa:

$$condutance = \frac{1}{resistance}$$

Multiplicando-se a condutância por 1000, o valor final em microsiemens é obtido:

$$microsiemens = condutance \times 1000$$

Esses cálculos são fundamentais para converter as variações elétricas em uma medida significativa e compreensível para o monitoramento fisiológico. Por fim, o valor em microsiemens (µS) é transmitido via Bluetooth para o sistema de destino, possibilitando a análise remota do estado emocional do usuário.

IV.1.5 Sensor Max30100

O sensor MAX30100 é projetado para a detecção de batimentos cardíacos e níveis de oxigenação no sangue, utilizando a técnica Fotopletismografia (FPG). O microcontrolador desempenha um papel crucial no processamento do sinal gerado pelo sensor MAX30100, sendo responsável por calcular tanto a frequência cardíaca quanto a saturação de oxigênio do usuário.

A análise desses dados é realizada em intervalos regulares, o que permite uma monitorização contínua e em tempo real do estado de saúde. No contexto deste projeto, o microcontrolador verifica se a frequência cardíaca se encontra acima de 120 batimentos por minuto ou abaixo de 60. Além disso, também monitora a saturação de oxigênio, que é considerada inadequada quando está abaixo de 90%, indicando uma possível hipoxemia. Quando qualquer uma dessas condições é atendida, o microcontrolador identifica uma anomalia e executa as ações corretivas necessárias, de acordo com o algoritmo AASI, que é detalhado na Subseção IV.1.6. Independentemente da detecção de anomalias, os dados processados são transmitidos via Bluetooth, permitindo a análise remota das

informações vitais.

IV.1.6 AASI

Para gerenciar eficientemente múltiplos sensores e otimizar o desempenho, foi implementado o AASI, um algoritmo de gerenciamento de sensores para microcontroladores de baixo custo, como o ESP32-Wroom-32. O AASI utiliza um grafo de interações entre os sensores, permitindo que o sistema gerencie de forma dinâmica e eficiente as interações entre os dispositivos conectados. Outro motivador para a escolha do AASI é a redução do consumo de bateria, uma vez que o algoritmo mantém apenas um sensor ativo por vez, acionando todos simultaneamente apenas quando uma anomalia é detectada. Vale destacar que o AASI é uma contribuição já publicada [Portugal et al., 2023].

O artigo, do qual o autor desta dissertação é o principal autor, oferece uma análise detalhada sobre a eficiência do algoritmo, com mais informações disponíveis na íntegra.

A abordagem do AASI dispensa a necessidade de uma rede de comunicação elétrica (física) e, em vez disso, leva em consideração uma rede de comunicação lógica, a qual pode ser representada como um grafo. Nessa rede, um conjunto (*array*) de sensores é empregado, nos quais a ativação e desativação de cada sensor são controladas individualmente para melhorar a precisão das leituras. Em situações de anomalias, é possível ativar um subconjunto de sensores, conforme um cronograma preestabelecido, garantindo a precisão das medições.

O grafo de comunicação lógica entre os sensores é um elemento fundamental no sistema. A Figura IV.5 ilustra o grafo de comunicação dos sensores no contexto do DMSF do COSMOS, demonstrando que todos os sensores estão interconectados por meio de comunicação lógica, permitindo a troca de informações e o controle integrado das leituras. Dessa forma, quando um sensor detecta uma anomalia, ele pode invocar outros sensores para garantir a continuidade e a precisão das medições. Vale ressaltar que essa definição e os experimentos realizados com o AASI foram desenvolvidos para fins de estudo e experimentação, não refletindo diretamente uma aplicação médica.

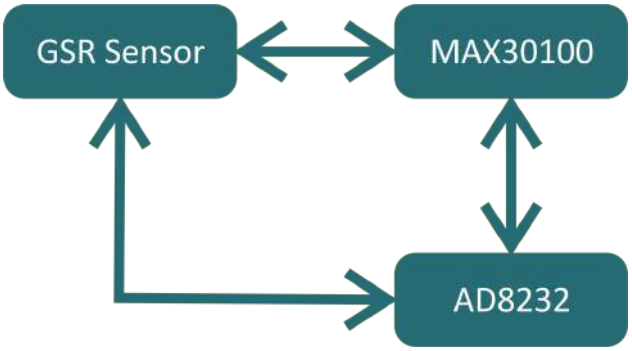


Figura IV.5: Grafo de interação entre os módulos do DMSF do COSMOS.

O processo de implementação do AASI é composto por três algoritmos distintos. O primeiro

algoritmo, chamado DefinicaoSensor, tem como objetivo definir as características de cada sensor e como eles interagem com os demais sensores, e inseri-los na fila A_S, que armazena todos os sensores seguindo a ordem de definição.

Este algoritmo recebe cinco parâmetros:

1. Função de ativação do sensor ($F_A()$), responsável por ligar o sensor;
2. Função de desativação ($F_D()$), responsável por desligar o sensor;
3. Função de leitura do sensor ($F_L()$), responsável por monitorar as atividades físicas e químicas do sensor e converter em respostas para o microcontrolador;
4. Tempo que o sensor ficará em modo de leitura (t);
5. *array* de sensores que têm interação (SC) com o sensor principal;
6. Parâmetro fila do A_S.

Pontos importantes a serem destacados: a função F_L deve retornar 1 quando uma anomalia for detectada e 0 caso contrário. Sempre que um novo sensor é adicionado ao microcontrolador, é necessário invocar o algoritmo DefinicaoSensor para definir suas características e inseri-lo na fila A_S; O parâmetro SC é determinado pelo grafo de interações entre os sensores, que é definido antes da implementação do AASI, refletindo as relações e dependências entre os sensores conectados.

Algorithm 1 DefinicaoSensor($F_A()$, $F_D()$, $F_L()$, t, SC, A_S)

Input

- $F_A()$ = função de ativação do sensor
- $F_D()$ = função de desativação do sensor
- $F_L()$ = função de leitura do sensor
- t = tempo da duração que o sensor ficará em leitura
- SC = array de sensores que tem interação com o sensor que está sendo definido
- A_S = array com todos os sensores definidos

1. S = new Sensor()
2. S.funcaoAtivacao = $F_A()$
3. S.funcaoDesativacao = $F_D()$
4. S.funcaoLeitura = $F_L()$
5. S.tempo = t
6. S.arraySubconjunto = SC
7. A_S.push(S)
8. ***return*** A_S

Em seguida, após definir os sensores a serem controlados, o algoritmo LeituraSensores realiza a leitura de cada sensor em sequência, respeitando a ordem em que os sensores foram adicionados à fila

do A_S. Antes de começar a leitura do sensor, verifica-se se o sensor principal (SP) está desativado e, se for o caso, a função que o ativa é chamada de acordo com o que foi definido no algoritmo DefinicaoSensor.

Em seguida, a leitura é iniciada, verificando se ainda há tempo de leitura disponível. É importante destacar que a função millis, nativa em bibliotecas de diversos microcontroladores, como o ESP32-Wroom-32, é utilizada para obter o tempo decorrido desde a inicialização do microcontrolador. A etapa mais importante do algoritmo de leitura é quando a função de leitura do sensor principal (SP) é invocada, e o algoritmo verifica se houve alguma anomalia. Se for o caso, o algoritmo de controle de anomalias é acionado e permanece ativo até que a leitura não apresente mais anomalias. Durante a anomalia, o tempo de ativação do sensor é interrompido e somente é retomado quando não há mais leituras com anomalias. Ao final da leitura de cada sensor, ocorre a desativação para garantir que, enquanto um sensor está sendo lido, os demais permaneçam inativos. Para que o processo de leitura seja cíclico, ele é invocado novamente ao final da lista de sensores.

Algorithm 2 LeituraSensores(AS)

Input

- AS = array com todos os sensores definidos

1. **for** (i=0; $i < AS$.length; i++)
2. $SP = AS$[i]
3. **if** SP está desativado **then**
4. SP.funcaoAtivacao()
5. **end if**
6. $futureMillis$ = millis() + SP.tempo
7. **while** $futureMillis >$ millis() **do**
8. $detectedAnomaly = SP$.funcaoLeitura()
9. **while** $detectedAnomaly = 1$ **do**
10. SP.stopTime()
11. $detectedAnomaly$ = ControleAnomalia(SP)
12. **end while**
13. SP.restartTime()
14. **end while**
15. SP.funcaoDesativacao()
16. **end for**
17. LeituraSensores(AS)

Quando um sensor principal detecta uma anomalia, o algoritmo de controle de anomalia é acionado. Nessa etapa, todos os sensores do subconjunto relacionado ao sensor com anomalia são ativados sequencialmente, de acordo com a ordem definida no parâmetro arraySubconjunto do sensor principal. Ao contrário do algoritmo de leitura, todos os sensores do subconjunto permanecem ativados para agilizar o processo de leitura. Durante a leitura do subconjunto, as leituras com

anomalias são ignoradas, e a transição para o próximo sensor ocorre somente após o término do tempo de ativação do sensor atual.

Algorithm 3 ControleAnomalia(SP)

Input

- SP = Sensor Principal

Output: 0

```
1. SC = SP.arraySubconjunto
2. for (i = 0; i < SC.length; i++)
3.    SC[i].funcaoAtivacao()
4. end for
5. while SP.funcaoLeitura() = 1 do
6.    for (j = 0; j < SC.length; j++)
7.       futureMillis = millis() + SC[j].tempo
8.       while futureMillis > millis() do
9.          SC[j].funcaoLeitura()
10.      end while
11.   end for
12. end while
13. for (i = 0; i < SC.length; i++)
14.    SC[i].funcaoDesativacao()
15. end for
16. return 0
```

Após a leitura de todos os sensores do subconjunto, é verificado se a anomalia persiste no sensor que acionou o algoritmo de controle de anomalia. Se a anomalia persistir, o ciclo de leitura do subconjunto é repetido. Caso contrário, todos os sensores do subconjunto são desativados e o processo retorna ao algoritmo de leitura. Somente após a conclusão da leitura completa do subconjunto e a confirmação de que o sensor atual não apresenta mais anomalias, a leitura é retomada aos demais sensores na ordem definida.

IV.1.7 Estimativa de Custos

A estimativa de custo do DMSF do COSMOS é fundamental para entender os investimentos necessários para sua implementação e operação. A Tabela IV.1 apresenta uma visão geral dos principais componentes e seus respectivos custos, permitindo uma avaliação clara do orçamento.

A Tabela IV.1 apresenta que o custo total estimado para o DMSF do COSMOS é de aproximadamente R$ 320,00, com valor cotado em fevereiro de 2024. É importante ressaltar que os valores podem variar conforme fornecedores e condições de compra. Além disso, esta estimativa não inclui possíveis custos com desenvolvimento de software e manutenção, que podem ser relevantes ao longo da implementação e operação do sistema.

Componente	Descrição	Custo (R$)
Sensor AD8232	Sensor para monitoramento cardíaco	50,00
Grove GSR Sensor	Sensor de condutividade galvânica da pele	40,00
Sensor MAX30100	Sensor de frequência cardíaca e oxigênio	60,00
Microcontrolador ESP32	Microcontrolador para processamento de dados	70,00
Bateria de 9V	Fonte de alimentação portátil	25,00
Cabos e conectores	Acessórios para montagem e conexão	15,00
Carregador USB	Carregador para alimentação via USB	30,00
Placa de circuito	Placa para montagem dos componentes	20,00
Outros custos	Materiais diversos e ferramentas	10,00
Total		**320,00**

Tabela IV.1: Estimativa de custo dos componentes do DMSF do COSMOS

IV.2 Interface Gráfica Mobile

A Interface Gráfica Mobile, nomeada COSMOS App, foi desenvolvida como parte deste projeto para oferecer uma experiência intuitiva em dispositivos móveis, como smartphones e tablets, permitindo a interação com o DMSF do COSMOS via conexão Bluetooth. Seu principal propósito é exibir de maneira clara os dados fisiológicos capturados pelo DMSF do COSMOS, além de facilitar o registro de informações essenciais para o monitoramento de saúde. Construído com o framework React Native[3], o COSMOS App utiliza uma estrutura moderna e reativa que garante uma experiência fluida e responsiva em dispositivos móveis, oferecendo uma navegação otimizada e adaptável às necessidades dos usuários.

O COSMOS App mantém comunicação direta com o DMSF do COSMOS por meio de conexão Bluetooth, possibilitando a atualização imediata dos dados fisiológicos no dispositivo móvel. Essa comunicação em tempo real é fundamental para monitoramento contínuo e intervenções rápidas, proporcionando uma ferramenta ágil para que profissionais de saúde acompanhem as condições dos pacientes com precisão e eficiência, mesmo em ambientes sem acesso à internet.

As subseções a seguir exploram detalhadamente as principais características do COSMOS App. Na subseção Tecnologias Utilizadas (Subseção IV.2.1), são apresentadas as tecnologias aplicadas no desenvolvimento do aplicativo, garantindo uma experiência prática e eficiente para o monitoramento dos dados fisiológicos. Na subseção Funcionalidades Principais (Subseção IV.2.2), são abordadas as funções essenciais, como a coleta de dados via Bluetooth e a exibição em tempo real dos dados fisiológicos capturados pelo DMSF do COSMOS. A subseção Visualização e Monitoramento (Subseção IV.2.3) descreve a tela de visualização dos dados monitorados, oferecendo uma apresentação clara e intuitiva dos parâmetros vitais. Finalmente, na subseção Portabilidade e Usabilidade (Subseção IV.2.4), destacam-se elementos fundamentais para o acesso e navegação, incluindo o sistema de login exclusivo e uma tela que permite localizar o DMSF do COSMOS e estabelecer a conexão Bluetooth

[3]https://reactnative.dev/

com o aplicativo.

IV.2.1 Tecnologias Utilizadas

O COSMOS App foi desenvolvido utilizando React Native, uma biblioteca popular que permite a criação de aplicações móveis com uma interface de usuário fluida e responsiva. Essa escolha proporciona uma experiência nativa tanto em dispositivos iOS quanto Android, garantindo que os usuários tenham acesso a funcionalidades avançadas de maneira intuitiva. A utilização do React Native também facilita a implementação de atualizações e manutenções futuras, uma vez que a mesma base de código pode ser utilizada para ambos os sistemas operacionais. Dessa forma, o aplicativo se beneficia de um desenvolvimento mais ágil e eficiente, permitindo que a equipe se concentre na adição de novas funcionalidades e na melhoria contínua da experiência do usuário.

Para garantir uma comunicação eficaz via Bluetooth com o DMSF do COSMOS, foi realizada uma configuração nativa do Android. A implementação da configuração Bluetooth não só possibilita a troca de informações vitais, mas também assegura que os dados sejam transmitidos de forma eficiente e precisa. Assim, o COSMOS App se torna uma ferramenta valiosa para os usuários do DMSF do COSMOS, proporcionando acesso rápido e direto a informações críticas para o monitoramento do estado de saúde dos pacientes.

IV.2.2 Funcionalidades Principais

O COSMOS App foi desenvolvido para proporcionar uma interface móvel de monitoramento de sinais vitais, focada na conexão direta e contínua com o DMSF do COSMOS. Uma das funcionalidades mais relevantes do aplicativo é a integração via Bluetooth com o DMSF do COSMOS, que permite a coleta em tempo real dos dados fisiológicos do usuário, incluindo frequência cardíaca, saturação do oxigênio e outros sinais vitais. Essa conectividade facilita a transmissão confiável e imediata dos dados, possibilitando uma visualização contínua e precisa dos parâmetros monitorados.

A comunicação Bluetooth é configurada para garantir uma conexão segura e estável, permitindo que o COSMOS App mantenha uma escuta ativa e esteja pronto para estabelecer a comunicação assim que o DMSF do COSMOS seja encontrado. Com isso, o aplicativo consegue obter informações diretamente do dispositivo sempre que uma conexão é estabelecida, mantendo os dados sincronizados e atualizados em tempo real. Esse monitoramento imediato é fundamental para a atuação rápida dos profissionais de saúde, permitindo que possam acompanhar o estado de saúde do usuário e realizar intervenções quando necessário.

Na interface do aplicativo, os dados capturados pelo DMSF do COSMOS são exibidos de forma clara e organizada. Esse formato simplificado facilita a interpretação e análise dos dados pelo usuário e por profissionais de saúde, permitindo um acompanhamento ágil e eficiente dos sinais vitais

monitorados. A Figura IV.6 ilustra as principais funcionalidades do COSMOS App, destacando tanto a interação *Bluetooth* (item A) com o DMSF do COSMOS quanto a apresentação dos dados em tempo real (item B), que se atualizam automaticamente conforme os sinais são recebidos do dispositivo.

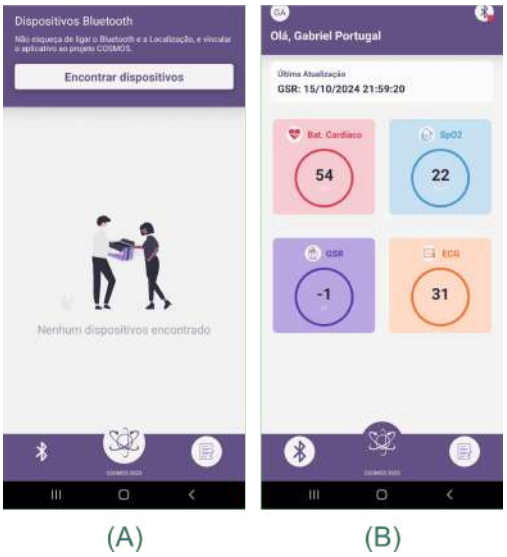


Figura IV.6: COSMOS App - Funções Principais. Tela de conexão Bluetooth (A) e Tela dos Sinais Fisiológicos (B)

IV.2.3 Visualização e Monitoramento

A tela de Visualização e Monitoramento do COSMOS App é a interface central para o acompanhamento dos dados fisiológicos capturados pelo DMSF do COSMOS (Figura IV.7). Após a conexão bem-sucedida via Bluetooth, essa tela exibe em tempo real todos os dados coletados, organizados em *cards* que facilitam a leitura e interpretação dos parâmetros monitorados.

Cada *card* representa um parâmetro fisiológico, como frequência cardíaca, eletrocardiograma e outros sinais vitais importantes. Os dados são atualizados continuamente conforme o DMSF do COSMOS coleta e transmite as informações, permitindo que os usuários tenham uma visão em tempo real do seu estado de saúde. Esse recurso é fundamental para os usuários do DMSF do COSMOS, que podem acompanhar as flutuações e tendências dos sinais vitais sem atraso, possibilitando uma resposta rápida em caso de necessidade.

A interface foi projetada para ser intuitiva e clara, utilizando cores e ícones que destacam as informações mais relevantes e tornam a visualização dos dados mais acessível. Essa organização gráfica permite que os usuários se concentrem rapidamente nos dados mais críticos, especialmente em contextos de monitoramento constante e acompanhamento remoto. A apresentação dos dados em tempo real na tela de Visualização e Monitoramento, ilustrada na Figura IV.7, oferece uma experiência prática e eficiente, reforçando o compromisso do COSMOS App com o monitoramento



Figura IV.7: COSMOS App - Tela Sinais Fisiológicos.

de saúde de alta precisão.

IV.2.4 Portabilidade e Usabilidade

O COSMOS App foi desenvolvido com foco em portabilidade e usabilidade, garantindo que o aplicativo seja intuitivo e acessível para diferentes usuários em dispositivos móveis como *smartphones* e *tablets*. A interface, projetada em React Native, permite que o aplicativo ofereça uma experiência fluida e dinâmica, adaptando-se a diferentes tamanhos de tela e suportando interações rápidas. A funcionalidade de conexão Bluetooth com o DMSF do COSMOS possibilita a interação direta entre os dispositivos, mantendo os dados fisiológicos sempre atualizados em tempo real, sem exigir cabos ou configurações complexas. Além disso, sempre que o aplicativo recebe novos dados fisiológicos do DMSF, essas informações são automaticamente enviadas ao Servidor, garantindo que todo o histórico coletado seja armazenado de forma centralizada, segura e imediatamente disponível para outras interfaces do sistema, como a plataforma Web.

A tela de visualização dos dados fisiológicos (Figura IV.7) é organizada para exibir valores como frequência cardíaca e dados de acelerômetro de maneira clara e intuitiva, facilitando o acompanhamento dos parâmetros de saúde. Além dessa exibição em tempo real, o aplicativo oferece seções específicas para o Diário do Humor e o Diário dos Sinais Fisiológicos (Figura IV.8), onde os usuários podem registrar e monitorar suas variações emocionais e fisiológicas. Essas funcionalidades ajudam a compor um histórico de bem-estar, importante para acompanhamento longitudinal e análise de

tendências de saúde.

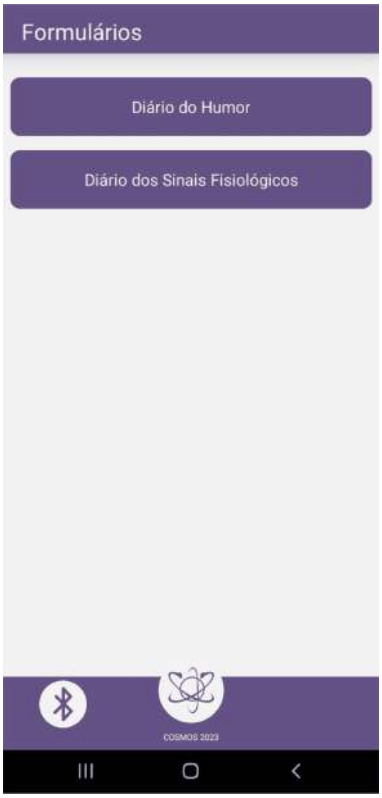


Figura IV.8: COSMOS App - Tela de seleção de Formulário.

Para garantir uma experiência prática e segura, o COSMOS App inclui uma funcionalidade que facilita a localização e conexão do dispositivo DMSF via Bluetooth (Figura IV.6 item A), simplificando o processo de sincronização e assegurando que os dados sejam transferidos sem dificuldade. Além disso, a interface inclui uma tela de login, fundamental para que cada usuário acesse exclusivamente seus próprios dados, protegendo a privacidade e a segurança das informações pessoais sensíveis.

No contexto de usabilidade, o Diário do Humor (Figura IV.9) permite ao usuário selecionar emoções por meio de ícones gráficos e adicionar detalhes nos campos de anotações. Já no Diário dos Sinais Fisiológicos (Figura IV.10), o usuário é instruído a preencher dados específicos como a frequência cardíaca (BPM) e SpO2 com a ajuda de um profissional de saúde (item A), garantindo precisão e integridade nas informações registradas. Para autenticar esses registros, há também um campo para o número de registro do profissional (CRM, COREN ou COFEN), reforçando a confiabilidade dos dados.

IV.3 Interface Gráfica Web

A Interface Gráfica Web do COSMOS, nomeada como COSMOS Admin, é acessível por meio de navegadores web, possibilitando a interação com o servidor e a visualização centralizada dos sinais



Figura IV.9: COSMOS App - Formulário Diário do Humor.



Figura IV.10: COSMOS App - Formulário Diário dos Sinais Fisiológicos.

fisiológicos dos usuários do DMSF do COSMOS. Ela foi projetada para atender a profissionais de saúde e pesquisadores, facilitando a análise dos dados coletados em um ambiente seguro e intuitivo.

Desenvolvida com o framework VueJS[4], a interface tira proveito de uma estrutura moderna e reativa, com componentes visuais reutilizáveis e uma experiência de usuário otimizada. Para assegurar a privacidade e segurança dos dados, a interface conta com uma tela de login, restrita a usuários autorizados, e uma navegação intuitiva, que permite a seleção de pacientes e a visualização detalhada dos sinais vitais.

O COSMOS Admin mantém comunicação contínua com o servidor pela internet, garantindo a atualização em tempo real das informações e permitindo intervenções rápidas quando necessário. Este recurso de acesso remoto é especialmente vantajoso para profissionais de saúde, que podem monitorar o estado dos pacientes à distância.

As subseções a seguir exploram em detalhes os aspectos principais do COSMOS Admin. a subseção Tecnologias Utilizadas (Subseção IV.3.1) apresenta as tecnologias aplicadas no desenvolvimento da interface, enfatizando o uso do VueJS e de frameworks de segurança para proteção de dados. A subseção Funcionalidades Principais (Subseção IV.3.2) descreve as principais características oferecidas pela interface, incluindo login, seleção de pacientes e navegação. Em Visualização de Dados em Tempo Real (Subseção IV.3.3), detalha-se como os dados fisiológicos são apresentados graficamente, permitindo uma análise clara e eficiente dos sinais vitais. Finalmente, em Interação com o Usuário (Subseção IV.3.4), são descritos os mecanismos de interação que facilitam o uso por profissionais de saúde.

IV.3.1 Tecnologias Utilizadas

O COSMOS Admin é desenvolvida com tecnologias modernas que garantem uma interface interativa e responsiva, facilitando o monitoramento remoto dos sinais fisiológicos dos usuários. O framework Vue.js serve como a base da interface gráfica, oferecendo uma abordagem reativa que possibilita a criação de componentes reutilizáveis e dinâmicos. Essa característica do Vue.js permite que a aplicação se adapte rapidamente a mudanças nos dados, proporcionando uma experiência de usuário fluida e intuitiva. A utilização desse framework também simplifica a integração de diferentes módulos, promovendo um desenvolvimento ágil e eficiente.

A visualização dos dados é ainda mais aprimorada pelo uso de bibliotecas de gráficos, que permitem a exibição dos sinais fisiológicos em tempo real. Essas bibliotecas facilitam a criação de representações gráficas claras e compreensíveis, permitindo que os profissionais de saúde analisem rapidamente as informações vitais. Os gráficos são atualizados automaticamente à medida que novos dados são recebidos, assegurando que a visualização esteja sempre alinhada com as informações mais recentes.

A comunicação entre a COSMOS Admin e o Servidor é realizada por meio do Firebase, que é

[4]https://vuejs.org/

apresentado com mais profundidade na seção IV.4. Assim, a combinação de Vue.js para a interface, bibliotecas de gráficos para a visualização de dados e Firebase para a comunicação com o servidor resulta em uma plataforma robusta para o monitoramento da saúde no âmbito do COSMOS.

IV.3.2 Funcionalidades Principais

O COSMOS Admin, foi desenvolvido com o objetivo de facilitar o monitoramento remoto e em tempo real dos sinais fisiológicos dos usuários, integrando diversas funcionalidades voltadas para a análise e o acompanhamento contínuo da saúde. Uma das funções fundamentais do portal é o sistema de login (Figura IV.11), que garante que apenas usuários autorizados tenham acesso aos dados sensíveis coletados pelos dispositivos DMSF do COSMOS. Essa etapa inicial assegura a privacidade das informações e permite que o ambiente seja utilizado de forma restrita por profissionais de saúde e pesquisadores, promovendo uma experiência segura para todos os envolvidos.



Figura IV.11: COSMOS Admin - Tela de Login.

Após o login, o COSMOS Admin apresenta uma interface para a seleção de pacientes, proporcionando uma navegação intuitiva e acessível (Figura IV.12). A seleção de pacientes é uma função essencial, pois permite que o profissional escolha um usuário específico para visualizar os dados coletados em tempo real. Essa função garante que as informações relevantes estejam prontamente disponíveis para análise, possibilitando um monitoramento direcionado e individualizado de cada paciente, o que é crucial para avaliações contínuas e intervenções precisas quando necessário.

Uma vez selecionado o paciente, o portal exibe gráficos em tempo real dos sinais fisiológicos monitorados pelo DMSF do COSMOS (Figura IV.13). Esses gráficos permitem uma análise visual rápida das variações e tendências dos sinais vitais, como a frequência cardíaca e os níveis de oxigênio. O acompanhamento em tempo real é especialmente valioso em contextos clínicos, pois oferece uma visão imediata das condições do paciente, permitindo uma resposta ágil em caso de alterações críticas. A Interface Gráfica Web também apresenta uma atualização contínua dos dados, garantindo que o profissional de saúde tenha sempre a informação mais recente ao seu dispor.

Além da exibição em tempo real, o COSMOS Admin oferece uma funcionalidade de histórico

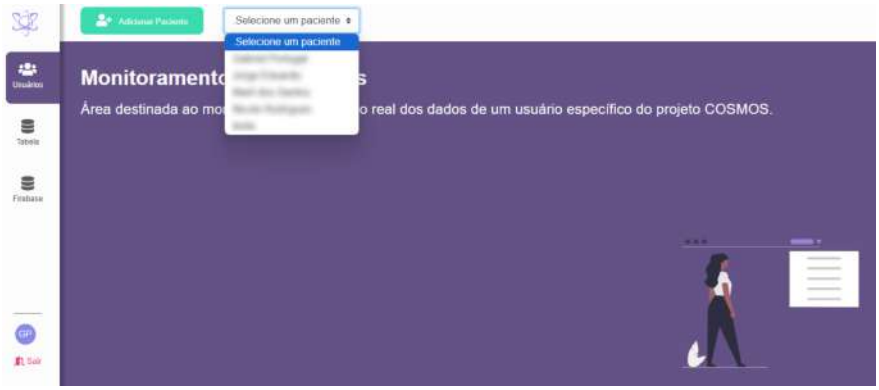


Figura IV.12: COSMOS Admin - Tela de Seleção de Paciente.

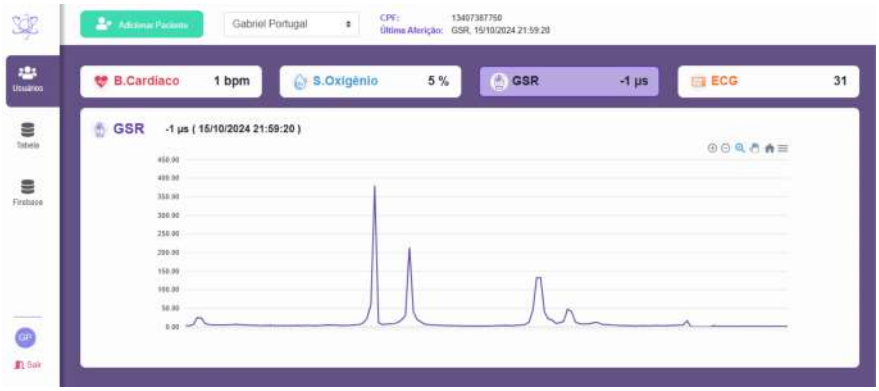


Figura IV.13: COSMOS Admin - Tela de Sinais Fisiológicos em tempo real.

(Figura IV.14), que permite a consulta de dados anteriores coletados pelo DMSF do COSMOS. Essa função possibilita que o usuário observe a evolução dos sinais ao longo do tempo, sendo um recurso importante para o diagnóstico e para a tomada de decisões baseadas em dados passados. O histórico de dados permite uma análise aprofundada e é especialmente útil para identificar padrões ou mudanças nos sinais vitais que possam indicar a necessidade de ajustes no tratamento ou no monitoramento.

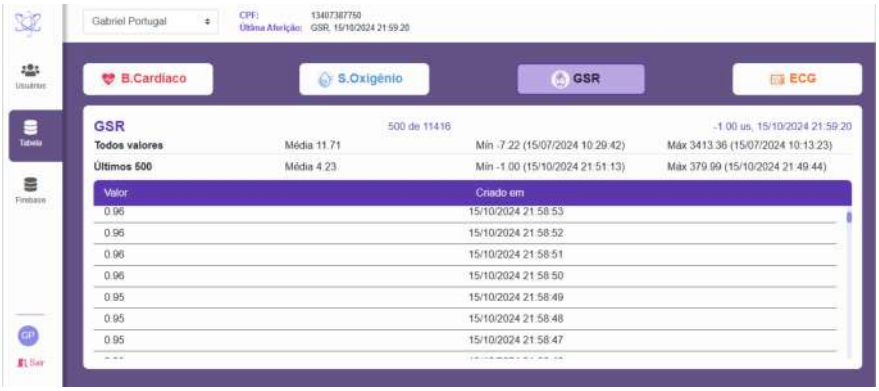


Figura IV.14: COSMOS Admin - Tela de Histórico

Para encerrar a sessão, o portal disponibiliza a funcionalidade de logout, assegurando que o acesso seja finalizado de forma segura. O deslogue garante que os dados fiquem protegidos ao

término do uso, impedindo que outras pessoas acessem as informações sem autorização. Essa funcionalidade reforça a segurança do sistema, proporcionando uma camada adicional de proteção para os dados sensíveis dos pacientes.

Essas funcionalidades, integradas ao COSMOS Admin, tornam o sistema uma ferramenta robusta para o monitoramento remoto de sinais vitais. Combinando segurança, acessibilidade e uma interface intuitiva, o portal busca contribuir para a eficácia do COSMOS, oferecendo uma solução prática e confiável para profissionais de saúde no acompanhamento de pacientes.

IV.3.3 Visualização de Dados em Tempo Real

A exibição de dados em tempo real no COSMOS Admin é uma das funcionalidades mais importantes do sistema, permitindo que os interessados no monitoramento possam monitorar os sinais fisiológicos dos pacientes de maneira contínua. Os dados são transmitidos diretamente do Servidor para o COSMOS Admin, garantindo que as informações apresentadas sejam sempre atualizadas e reflitam as condições atuais dos usuários. Essa atualização em tempo real é crucial, especialmente em situações onde a intervenção imediata pode ser necessária, como em casos de alterações abruptas nos sinais vitais.

Os gráficos apresentados na interface (Figura IV.13) são projetados para serem intuitivos e de fácil leitura, permitindo que os profissionais identifiquem rapidamente padrões, tendências e anomalias nos dados coletados. Os sinais fisiológicos monitorados, como a frequência cardíaca, a pressão arterial e os níveis de oxigênio, são exibidos em formatos de gráficos de linha (Figura IV.15), proporcionando uma visualização clara e eficaz das variações ao longo do tempo.

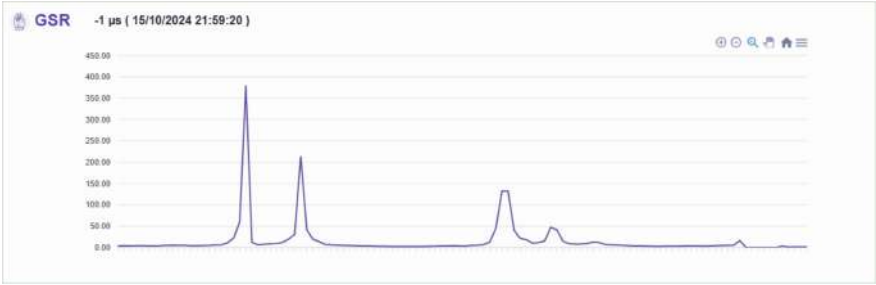


Figura IV.15: Gráfico de Linha de um dado fisiológico.

A capacidade de observar dados em tempo real também contribui para um acompanhamento proativo da saúde dos pacientes. Ao visualizar as informações imediatamente após a coleta, os profissionais podem identificar rapidamente qualquer alteração significativa que exija atenção ou ação, promovendo uma abordagem mais dinâmica e responsiva no cuidado ao paciente. Assim, a exibição gráfica dos dados em tempo real não apenas melhora a eficiência na análise, mas também potencializa a qualidade do atendimento prestado, alinhando-se com os objetivos do COSMOS de oferecer uma solução de monitoramento de saúde acessível e confiável.

IV.3.4 Interação com o Usuário

A interação com os usuários na COSMOS Admin é projetada para ser intuitiva e acessível, permitindo que profissionais de saúde naveguem facilmente pelas diversas funcionalidades do sistema. Desde o momento do login, a interface gráfica é desenvolvida com foco na usabilidade, proporcionando uma experiência fluida que minimiza a curva de aprendizado. A disposição lógica dos elementos na tela facilita a localização das opções disponíveis, como a seleção de pacientes, visualização de dados em tempo real e acesso ao histórico.

Ao selecionar um paciente, o usuário é direcionado para uma tela dedicada, onde todos os dados relevantes são apresentados de maneira clara e organizada. Os gráficos em tempo real, por exemplo, são interativos, permitindo que o usuário amplie ou detalhe informações específicas conforme necessário. Essa funcionalidade interativa promove uma análise mais rica e dinâmica dos sinais fisiológicos, possibilitando que os profissionais de saúde explorem os dados de forma profunda e intuitiva.

A interação não se limita apenas à visualização dos dados. O COSMOS Admin também permite que os usuários realizem ações diretamente na interface, como a atualização de informações do paciente ou o registro de observações. Essas ações são facilitadas por formulários simplificados que minimizam o tempo necessário para inserção de dados e maximizam a eficiência do processo. O design responsivo da interface garante que a navegação seja igualmente eficiente em diferentes dispositivos, seja em um *desktop* ou em um *tablet*, tornando o sistema acessível em diversas situações clínicas.

Além disso, a navegação dentro do COSMOS Admin é complementada por uma estrutura de menus bem definida, que guia os usuários para diferentes seções do portal, como o histórico de dados e as configurações do sistema. Essa organização em camadas ajuda a evitar a sobrecarga de informações, permitindo que os profissionais de saúde se concentrem nas tarefas em mãos. A inclusão de elementos visuais, como ícones e cores, também desempenha um papel importante, facilitando a identificação rápida das funcionalidades e aumentando a eficiência na interação.

IV.4 Servidor

O Firebase desempenha um papel essencial como servidor no COSMOS, sendo a solução escolhida para o armazenamento de dados devido à sua flexibilidade, escalabilidade e funcionalidades de sincronização em tempo real. Com um banco de dados não relacional, o Firebase permite a adaptação dinâmica da estrutura dos dados, essencial para lidar com a diversidade de informações coletadas, como dados fisiológicos e registros emocionais dos usuários.

A capacidade de registrar, atualizar e sincronizar informações instantaneamente é crucial para

aplicações que dependem de interações dinâmicas, especialmente em contextos de monitoramento de saúde. No COSMOS, essa funcionalidade assegura que os dados coletados pelo DMSF, incluindo informações fisiológicas e registros emocionais, sejam refletidos imediatamente nas interfaces do usuário. Isso garante que profissionais de saúde e usuários tenham acesso a informações precisas e atualizadas, promovendo decisões informadas e intervenções rápidas quando necessário.

Além disso, a integração do Firebase assegura a eficiência no envio e recebimento de dados entre o COSMOS App e o COSMOS Admin, proporcionando uma experiência contínua e interativa para os usuários. Essa conexão contínua é especialmente importante em situações críticas, onde a rapidez na atualização de dados pode impactar diretamente a saúde e o bem-estar dos usuários.

A utilização do Firebase não só melhora a usabilidade do sistema, mas também aumenta a confiança nas informações apresentadas, garantindo um monitoramento eficaz e em tempo real das condições de saúde dos usuários. A combinação da flexibilidade do banco de dados não relacional com as funcionalidades de tempo real torna o COSMOS robusto e eficaz, destacando-se na oferta de soluções inovadoras para o monitoramento de saúde.

IV.5 Segurança e Privacidade dos Dados

A segurança e a privacidade dos dados são prioridades fundamentais no desenvolvimento do COSMOS, especialmente considerando a natureza sensível das informações coletadas. Para garantir que os dados dos usuários estejam protegidos contra acessos não autorizados e possíveis vazamentos, o sistema adota uma série de práticas e tecnologias robustas. A seguir, são detalhadas as principais estratégias de segurança implementadas, abordando aspectos como criptografia (Subseção IV.5.1), controle de acesso (Subseção IV.5.2) e conformidade com normas de privacidade (Subseção IV.5.3), que juntos constituem a infraestrutura de proteção necessária para assegurar a integridade e a confidencialidade das informações dos usuários.

IV.5.1 Estratégias de Criptografia

A segurança dos dados no COSMOS é assegurada por robustas estratégias de criptografia que protegem as informações sensíveis dos usuários. A criptografia é aplicada tanto em repouso quanto em trânsito, garantindo que os dados armazenados no Firebase e aqueles transmitidos entre o aplicativo e o Servidor sejam acessíveis apenas por usuários autorizados. Para a transmissão de dados entre o DMSF do COSMOS e o COSMOS App, protocolos de criptografia como TLS (Transport Layer Security) são empregados, garantindo uma conexão segura e protegida contra interceptações durante a comunicação. Essa abordagem não apenas resguarda as informações enquanto elas trafegam, mas também assegura que a integridade dos dados seja mantida, evitando alterações não autorizadas durante o processo de transmissão.

Além disso, a conexão Bluetooth entre o DMSF do COSMOS e o COSMOS App é igualmente segura, utilizando padrões de criptografia para proteger os dados transmitidos entre os dispositivos. Técnicas de criptografia de ponta a ponta são implementadas, garantindo que, mesmo em situações de acesso não autorizado, os dados permaneçam ilegíveis e, portanto, inúteis para um potencial invasor. Dessa forma, tanto a comunicação via Bluetooth quanto a transmissão de dados entre o DMSF do COSMOS e o COSMOS App são fortalecidas, promovendo um ambiente seguro para o monitoramento da saúde dos usuários. Essas medidas de segurança são essenciais para garantir a confiança dos usuários no sistema, permitindo que eles compartilhem suas informações sensíveis com a certeza de que estão protegidas contra possíveis ameaças.

IV.5.2 Controle de Acesso

O controle de acesso é uma das principais camadas de segurança implementadas no COSMOS App, assegurando que apenas usuários autenticados e autorizados possam acessar informações críticas. O sistema utiliza o Firebase Authentication, o sistema implementa um gerenciamento de usuários que permite definir permissões específicas com base em funções. Isso significa que, por exemplo, os profissionais de saúde podem ter acesso a dados de pacientes, enquanto os usuários comuns podem acessar apenas suas próprias informações. Além disso, políticas de controle de acesso granular são aplicadas, permitindo que a equipe de desenvolvimento ajuste as permissões conforme necessário, de modo a proteger os dados pessoais e garantir a confidencialidade das informações armazenadas.

IV.5.3 Conformidade com Normas de Privacidade

A conformidade com normas de privacidade é um aspecto essencial do COSMOS App, que se alinha com regulamentações internacionais e locais, como o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (GDPR)[5] e a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD). O aplicativo garante que os dados dos usuários sejam coletados e processados de maneira ética e transparente, com consentimento explícito para o tratamento das informações. Além disso, o COSMOS implementa medidas para assegurar que os dados sejam armazenados apenas pelo tempo necessário, com procedimentos de exclusão adequados quando não forem mais necessários. Essas práticas não apenas protegem a privacidade dos usuários, mas também reforçam a confiança na plataforma, essencial para a aceitação e uso contínuo do aplicativo por parte dos usuários.

[5]https://gdpr-info.eu/

IV.6 Comunicação entre Componentes do COSMOS

A comunicação entre os diferentes componentes do COSMOS é essencial para garantir a eficácia e a segurança na coleta, armazenamento e recuperação dos dados fisiológicos. A coleta de dados ocorre por meio do DMSF do COSMOS, que utiliza o Bluetooth para transmitir informações para o COSMOS App. Durante esse processo, uma chave de segurança única, o nome do sensor e o valor correspondente são enviados juntamente com os dados. No COSMOS App, os dados recebidos do DMSF são temporariamente armazenados e, após a autenticação do usuário por meio do CPF do paciente, esses dados, juntamente com o CPF, são transmitidos para o Servidor. Este, operando com o Firebase, recebe e armazena os dados e o CPF de forma segura, organizando-os em um nó específico no banco de dados não relacional do Firebase. Em seguida, o COSMOS Admin interage com o Servidor para obter informações de todos os pacientes cadastrados. Quando um paciente é selecionado no COSMOS Admin, uma solicitação é enviada ao Servidor para recuperar suas aferições fisiológicas armazenadas. Toda a comunicação entre os artefatos do COSMOS está ilustrada no Diagrama de Comunicação apresentado na Figura IV.16.

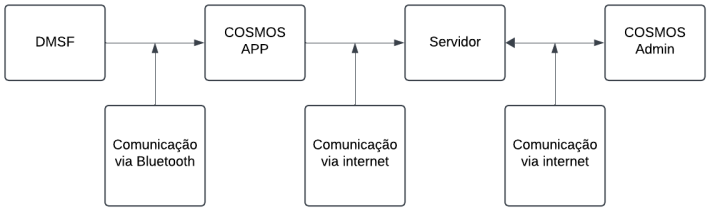


Figura IV.16: Diagrama de Comunicação entre os artefatos do COSMOS.

Nas subseções a seguir, são abordados a Integração dos Subsistemas (Subseção IV.6.1) e o Fluxo de Dados (Subseção IV.6.2) no contexto do COSMOS. A integração dos subsistemas é fundamental para assegurar que todas as partes do sistema operem de forma coesa e eficiente, permitindo a troca de informações essenciais entre os diferentes componentes. Além disso, o fluxo de dados descreve como as informações são coletadas, transmitidas e processadas ao longo do sistema, garantindo que os dados fisiológicos sejam acessíveis e úteis para os usuários.

IV.6.1 Integração dos Subsistemas

A integração dos artefatos do COSMOS é importante para garantir a fluidez do sistema no monitoramento e análise dos dados fisiológicos. Essa integração envolve quatro componentes principais: o COSMOS App, o COSMOS Admin, o Servidor e o DMSF, cada um desempenhando um papel fundamental na coleta, armazenamento e visualização dos dados.

O COSMOS App é responsável pela coleta de dados fisiológicos por meio do DMSF, utilizando tecnologia Bluetooth para estabelecer uma comunicação segura e eficiente. Os dados coletados são

transmitidos em tempo real para o Servidor, que opera com o Firebase. No Servidor, os dados são organizados e armazenados em um banco de dados não relacional, permitindo acessos rápidos e eficientes. Essa estrutura não apenas facilita a recuperação de informações, mas também assegura a proteção e a privacidade dos dados dos usuários.

Por sua vez, o COSMOS Admin fornece uma interface para a visualização e o gerenciamento dos dados armazenados no Servidor. Ele permite que os profissionais de saúde acessem informações detalhadas sobre os pacientes, realizando consultas e análises necessárias para o monitoramento da saúde. A interação entre esses componentes é contínua, com o Servidor atuando como um centralizador que orquestra a troca de informações entre o COSMOS App e o COSMOS Admin.

IV.6.2 Fluxo de Dados

O fluxo de dados em todo o COSMOS é fundamental para garantir a fluidez e a exibição em tempo real das informações. O processo começa com a aferição dos sinais fisiológicos pelo DMSF do COSMOS (etapa 1), que os transmite via Bluetooth para o COSMOS App (etapa 2). Após a autenticação do usuário, realizada por meio da validação do CPF do paciente (etapa 3 e etapa 4), os dados são enviados ao Servidor, que utiliza o Firebase para o armazenamento seguro e organizado das informações (etapa 5). Uma vez armazenados, o COSMOS Admin pode solicitar e acessar esses dados diretamente do Servidor (etapa 6 e etapa 7), permitindo que os profissionais de saúde visualizem e analisem os registros de cada paciente de forma eficiente. Este fluxo de dados é contínuo e em tempo real, assegurando que as informações disponíveis no COSMOS Admin estejam sempre atualizadas, o que otimiza a tomada de decisões clínicas e a resposta a situações de emergência. A Figura IV.17 ilustra esse fluxo, evidenciando a conexão entre os diferentes componentes do sistema.

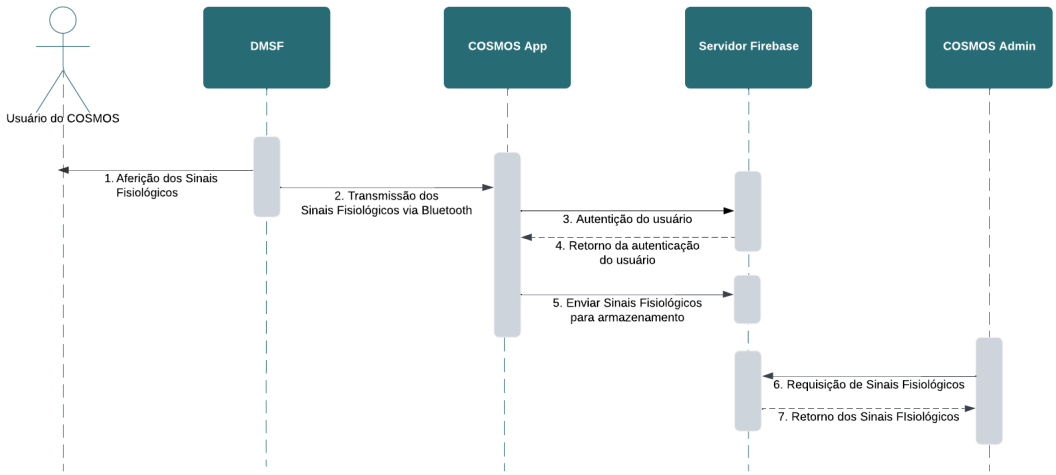


Figura IV.17: Fluxo dos dados entre os componentes do COSMOS.

Capítulo V Experimentos

O COSMOS tem como objetivo central desempenhar um papel na monitorização contínua e em tempo real dos sinais fisiológicos dos participantes, com a finalidade de contribuir para a prevenção e o auxílio no diagnóstico de condições de saúde. Para a avaliação de sua eficácia, foram conduzidos experimentos em dois ambientes distintos. O primeiro ambiente, **não controlado**, consistiu no uso dos principais artefatos do COSMOS: o DMSF e o COSMOS App, pelos participantes em seus domicílios, de forma a simular condições mais naturais e cotidianas. Nesse cenário, o objetivo principal foi avaliar a precisão e a confiabilidade das medições realizadas pelo sistema em um contexto realista. O segundo ambiente, **controlado**, foi equipado com Óculos de Realidade Virtual (VR) e com os mesmos artefatos mencionados, o DMSF e o COSMOS App. Nesse ambiente, o foco principal foi analisar a interação e a correlação entre os sinais vitais captados pelos sensores, visando entender como os participantes reagiam fisiológica e emocionalmente aos estímulos virtuais.

A amostra de participantes incluiu tanto pacientes da Pleni Saúde, uma instituição de saúde primária com mais de duzentos pacientes de diversas faixas etárias e perfis de saúde, quanto voluntários, garantindo a diversidade necessária para uma análise mais abrangente. É relevante destacar que todas as fases do experimento seguiram rigorosamente as diretrizes estabelecidas pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), conforme registrado no parecer número: 5831022.6.0000.5289.

Este capítulo adota uma abordagem sistemática para avaliar a viabilidade do COSMOS, oferecendo uma análise abrangente dos resultados obtidos ao longo dos experimentos realizados. A estrutura do capítulo está organizada em duas seções principais: Experimentos em Ambiente Não Controlado (Seção V.1) e Experimentos em Ambiente Controlado (Seção V.2). Cada uma dessas seções apresenta a descrição detalhada da metodologia utilizada, seguida pela exposição e análise dos resultados alcançados, contemplando também, de forma individualizada, as percepções e impressões dos participantes em cada ambiente de experimentação. Por fim, a Seção de Discussões do Experimento (Seção V.3) reúne e consolida os principais achados, oferece uma visão comparativa entre os dois ambientes, evidencia as diferenças observadas e promove uma discussão aprofundada acerca das implicações práticas, das limitações identificadas e das perspectivas futuras do COSMOS.

V.1 Experimentos em Ambiente Não Controlado

No **ambiente não controlado** do experimento, os participantes utilizaram o DMSF, desenvolvido para o COSMOS, em seus domicílios, e instalaram o aplicativo COSMOS App. O objetivo desse experimento foi avaliar a usabilidade e a experiência dos participantes com o sistema em seu ambiente cotidiano, sem a interferência direta dos pesquisadores. Na Subseção Metodologia (Subseção V.1.1), são detalhados os procedimentos seguidos para a condução do experimento, enquanto na Subseção Resultados dos Experimentos (Subseção V.1.2) são apresentados os dados e as conclusões obtidas ao final da aplicação do COSMOS no **ambiente não controlado**.

V.1.1 Metodologia

A metodologia do experimento em **ambiente não controlado** iniciou-se com entrevistas realizadas com os voluntários e pacientes da Pleni Saúde, com o objetivo de selecionar 10 participantes para os testes. Os participantes selecionados possuíam faixa etária entre 30 e 40 anos, com exceção de um voluntário de 68 anos. Após a seleção, os participantes foram divididos em dois grupos de 5 pessoas cada. Cada grupo utilizou o sistema em momentos distintos: o primeiro grupo utilizou o equipamento durante 5 dias consecutivos, por 6 horas diárias, e, ao final desse período, o equipamento foi repassado pelos pesquisadores ao segundo grupo, que também utilizou o sistema durante 5 dias, mantendo o mesmo período diário de 6 horas. Durante o experimento, com exceção do período de sono, quando o COSMOS não foi utilizado, os participantes utilizaram o sistema de forma contínua. Esse processo permitiu uma análise detalhada do comportamento dos participantes e garantiu que ambos os grupos tivessem acesso às mesmas condições e equipamentos.

No momento da entrega do DMSF, os participantes receberam orientações sobre o uso do COSMOS App e instruções para preencher dois formulários diários: o Diário do Humor e o Diário dos Sinais Fisiológicos. O Diário do Humor permitiu que os participantes registrassem seus estados emocionais ao longo do experimento, enquanto o Diário dos Sinais Fisiológicos coletou informações sobre o estado de saúde dos participantes. Para garantir um acompanhamento adequado, os participantes interagiram com um profissional da área de saúde, ao menos uma vez por dia, para obter suporte na coleta de dados para o preenchimento do Diário dos Sinais Fisiológicos.

Ao final do período experimental, no dia da devolução do DMSF, os participantes preencheram o questionário de usabilidade Escala de Usabilidade do Sistema (SUS), que avaliou a experiência geral com o COSMOS, e o questionário de Qualidade de Experiência, que abordou aspectos como imersão, aparência e navegabilidade do sistema. Esses questionários forneceram uma visão abrangente sobre a experiência dos participantes e ajudaram a medir a eficácia do sistema na prática.

V.1.2 Resultados dos Experimentos

A análise dos dados coletados foi realizada de maneira comparativa, confrontando as medições dos sensores com os registros autorrelatados pelos participantes. Esse processo permitiu calcular o índice de assertividade e avaliar a precisão dos dados obtidos, proporcionando uma visão abrangente sobre a usabilidade e a eficácia do COSMOS no **ambiente não controlado**.

Após a conclusão dos experimentos, os dados foram analisados sob duas abordagens principais: análise temporal e análise comparativa. Os registros do BPM, SpO2 e ECG foram comparados com os formulários preenchidos pelos participantes em conjunto com um profissional de saúde, enquanto os dados de GSR foram confrontados com as informações registradas pelos próprios participantes no Diário do Humor. Esta metodologia revelou uma diferença significativa na frequência de interações com os instrumentos de registro: o Diário de Sinais Fisiológicos foi preenchido com uma média de 2 vezes ao dia, enquanto o Diário do Humor registrou mais de 8 interações diárias, esta disparidade deve-se principalmente ao fato de que o registro dos sinais fisiológicos exigia a presença de um profissional de saúde para validação, enquanto o monitoramento do humor podia ser realizado autonomamente pelos participantes a qualquer momento. Essa abordagem permitiu verificar a precisão e a consistência das medições, além de destacar a eficácia do sistema em diferentes contextos. Para uma avaliação mais detalhada, subseções específicas apresentam os resultados individuais de cada sensor, bem como uma análise integrada dos dados coletados ao longo do experimento.

Batimentos Cardíacos por Minuto e Saturação de Oxigênio no Sangue

O sensor MAX30100 apresentou um baixo desvio padrão, indicando alta consistência nas medições em relação aos valores informados pelos participantes. Da mesma forma, os níveis de saturação de oxigênio no sangue (SpO2), também aferidos pelo MAX30100, apresentaram alta precisão quando comparados aos registros fornecidos. Esses resultados destacam a confiabilidade do sistema DMSF do COSMOS na medição tanto da frequência cardíaca quanto da saturação de oxigênio. A Tabela V.1 apresenta a comparação entre os valores do BPM informados e os aferidos pelo sensor, enquanto a Tabela V.2 exibe os dados referentes ao SpO2.

Para assegurar a privacidade dos participantes e a confidencialidade de seus dados de saúde, cada indivíduo foi identificado apenas por um número, em vez de seu nome. Além disso, as tabelas apresentam cinco registros para cada participante, em que cada linha corresponde à média diária dos valores aferidos em diferentes momentos. Dessa forma, os dados refletem a variação das medições ao longo dos dias, oferecendo uma análise mais precisa da consistência e assertividade do sistema.

A taxa de assertividade do sistema foi calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Assertividade (\%)} = \left(1 - \frac{|\text{Valor informado} - \text{Valor aferido}|}{\text{Valor informado}}\right) \times 100$$

Essa métrica avalia a proximidade entre os valores aferidos pelo sistema e os valores de referência, refletindo a precisão do DMSF. Com base nesses resultados, o DMSF revelou-se uma ferramenta eficaz e consistente para o monitoramento fisiológico, consolidando sua aplicabilidade em diferentes contextos.

Os resultados das tabelas informam a relação entre os valores informados pelos participantes e as aferições realizadas pelos sensores MAX30100. Na Tabela V.1, que trata da frequência cardíaca (BPM), observa-se uma alta taxa de assertividade na maioria das medições, com exceção de alguns casos específicos onde há discrepâncias significativas, como nos dias 4 e 5 do participante 2 e no dia 3 do participante 4. Essas diferenças podem indicar possíveis limitações do sensor ou variações individuais na percepção dos participantes. Já na Tabela V.2, que apresenta os níveis de Saturação de Oxigênio no Sangue (SpO2), os valores aferidos se mantêm dentro de uma faixa estreita (97% a 99%), com uma taxa de precisão elevada (95% a 100%). Isso sugere que o sensor tem um desempenho mais estável para a medição de SpO2 em comparação ao BPM, o que pode estar relacionado à natureza do sinal e à menor variabilidade da saturação de oxigênio no organismo.

Com base na análise dos dados do sensor MAX30100, foi possível realizar uma avaliação estatística mais aprofunda da precisão do sistema. A Figura V.1 apresenta o gráfico de intervalo de confiança a 95% para as médias de BPM aferidas pelo sistema COSMOS para cada um dos participantes do estudo.



Figura V.1: Intervalo de confiança para as médias de BPM aferidas por participante.

Cada coluna do gráfico representa a média das medições realizadas de cada participante ao longo dos cinco dias de experimento, enquanto as hastes verticais (barras de erro) indicam o intervalo de confiança associado a cada média. Para quantificar a confiabilidade global das medições, calculou-se a diferença média entre os valores informados pelos participantes e os valores aferidos pelo sensor,

Tabela V.1: Relação entre os valores informados pelos participantes e a aferição do BPM pelo Sensor MAX30100

Participante	Dia	BPM informado	BPM aferido pelo MAX30100	Taxa de assertividade
1	1	75	74	98,7%
1	2	80	79	98,8%
1	3	76	74	97,4%
1	4	81	76	93,8%
1	5	85	82	96,5%
2	1	90	88	97,8%
2	2	95	92	96,8%
2	3	100	97	97,0%
2	4	105	65	61,9%
2	5	110	67	39,1%
3	1	78	76	97,4%
3	2	82	79	96,3%
3	3	88	86	97,7%
3	4	91	87	95,6%
3	5	95	90	94,7%
4	1	102	98	96,1%
4	2	108	103	95,4%
4	3	115	69	40,0%
4	4	120	116	96,7%
4	5	125	120	96,0%
5	1	76	74	97,4%
5	2	80	78	97,5%
5	3	83	80	96,4%
5	4	86	84	97,7%
5	5	89	86	96,6%
6	1	95	93	97,9%
6	2	98	95	96,9%
6	3	102	98	96,1%
6	4	108	104	96,3%
6	5	112	108	96,4%
7	1	77	75	97,4%
7	2	82	80	97,6%
7	3	85	82	96,5%
7	4	90	86	95,6%
7	5	94	90	95,7%
8	1	99	96	96,9%
8	2	103	100	97,1%
8	3	108	105	97,2%
8	4	115	110	95,7%
8	5	120	116	96,7%
9	1	75	73	97,3%
9	2	80	78	97,5%
9	3	84	82	97,6%
9	4	88	85	96,6%
9	5	92	88	95,7%
10	1	100	97	97,0%
10	2	105	102	97,1%
10	3	110	106	96,4%
10	4	115	112	97,4%
10	5	120	116	96,7%

Tabela V.2: Relação entre os valores informados pelos participantes e a aferição da Saturação de Oxigênio pelo Sensor MAX30100

Participante	Dia	SpO2 informado	SpO2 aferido pelo MAX30100	Taxa de precisão
1	1	98	97	98,98%
1	2	99	98	98,99%
1	3	97	97	100,0%
1	4	98	97	98,98%
1	5	99	98	98,99%
2	1	98	97	98,98%
2	2	99	98	98,99%
2	3	97	97	100,0%
2	4	98	97	98,98%
2	5	99	98	98,99%
3	1	98	97	98,98%
3	2	99	98	98,99%
3	3	97	97	100,0%
3	4	98	97	98,98%
3	5	99	98	98,99%
4	1	98	97	98,98%
4	2	99	98	98,99%
4	3	97	97	100,0%
4	4	98	97	98,98%
4	5	99	98	98,99%
5	1	98	97	98,98%
5	2	99	98	98,99%
5	3	97	97	100,0%
5	4	98	97	98,98%
5	5	99	98	98,99%
6	1	98	97	98,98%
6	2	99	98	98,99%
6	3	97	97	100,0%
6	4	98	97	98,98%
6	5	99	98	98,99%
7	1	98	97	98,98%
7	2	99	98	98,99%
7	3	97	97	100,0%
7	4	98	97	98,98%
7	5	99	98	98,99%
8	1	98	97	98,98%
8	2	99	98	98,99%
8	3	97	97	100,0%
8	4	98	97	98,98%
8	5	99	98	98,99%
9	1	98	97	98,98%
9	2	99	98	98,99%
9	3	97	97	100,0%
9	4	98	97	98,98%
9	5	99	98	98,99%
10	1	98	97	98,98%
10	2	99	98	98,99%
10	3	97	97	100,0%
10	4	98	97	98,98%
10	5	99	98	98,99%

que foi de 6,72 BPM, com um intervalo de confiança de 95% variando entre 3,15 e 10,29 BPM.

O fato deste intervalo de confiança da diferença média não incluir o zero indica a presença de uma discrepância sistemática estatisticamente significativa entre as medições do sensor e os valores de referência, sugerindo um viés de medição que merece investigação adicional. Esta análise confirma as observações iniciais de alta assertividade na maioria dos casos, enquanto oferece uma compreensão quantitativa das discrepâncias encontradas, particularmente nos casos *outliers* dos participantes 2 e 4, cujos valores se situam além dos limites do intervalo de confiança esperado.

Eletrocardiograma

O sensor AD8232 desempenhou um papel fundamental no monitoramento da atividade elétrica do coração dos participantes. Sua capacidade de registrar sinais elétricos em tempo real forneceu dados essenciais para a análise do estado de saúde, permitindo a identificação de padrões cardíacos e possíveis anomalias.

Os experimentos realizados em ambiente domiciliar apresentaram um padrão característico de baixa variabilidade, indicando contextos menos estimulantes. Nessas condições, os participantes exibiram sinais de ECG mais estáveis, geralmente associados a períodos de relaxamento ou baixa atividade física.

A Figura V.2 apresenta um gráfico representativo dos dados de ECG coletados durante os experimentos em **ambiente não controlado**. O gráfico exibe um recorte temporal específico, selecionado a partir da média dos dados agregados de todos os participantes, o que permite visualizar o padrão cardíaco médio observado no estudo. No gráfico, o eixo X representa o tempo de coleta dos dados, enquanto o eixo Y indica a amplitude dos sinais elétricos do coração, evidenciando a consistência do padrão ao longo do registro. Além disso, a Figura V.2 exibe um recorte selecionado dos dados registrados, realçando os sinais do ECG de forma mais clara. Esse trecho foi escolhido por destacar com maior precisão as características das ondas elétricas do coração, possibilitando uma análise detalhada das variações observadas nos experimentos conduzidos em **ambientes não controlados**.



Figura V.2: Gráfico de atividade elétrica do coração em ambiente não controlado.

Durante os experimentos realizados em ambiente não controlado, observou-se que as aquisições de ECG efetuadas pelo sensor AD8232 apresentaram maior confiabilidade quando os participantes adotaram uma inclinação corporal de até 45° em relação ao plano horizontal. Essa condição mostrou-se ideal devido à maior estabilidade do contato dos eletrodos com a superfície cutânea, resultando em melhor aderência e menor susceptibilidade a interferências. Adicionalmente, essa angulação permitiu um equilíbrio satisfatório entre conforto postural e qualidade de sinal, reduzindo a ocorrência de artefatos por tensão muscular.

Em contrapartida, em posições superiores a 45°, registrou-se uma degradação significativa na qualidade do sinal, conforme ilustrado na Figura V.3. A imagem apresenta um recorte temporal representativo, selecionado a partir da análise agregada dos dados de múltiplos participantes, no qual se evidencia a perda de precisão nas leituras. A área demarcada pelo quadrado vermelho tracejado destaca regiões com artefatos de movimento e instabilidade na captação, atribuídos principalmente à perda de contato efetivo dos eletrodos e a micro movimentos corporais.

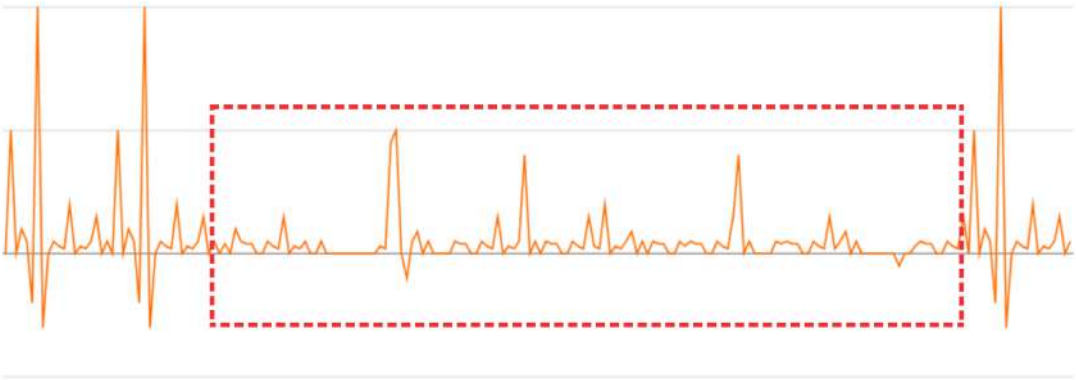


Figura V.3: Influência da posição corporal na precisão das leituras do ECG.

A consistência observada ao longo das aquisições reforça a importância do controle postural durante monitoramentos eletrocardiográficos. De forma clara e reprodutível, evidencia-se o impacto negativo de posturas inadequadas na fidedignidade do sinal. Os resultados ressaltam a relevância do posicionamento corporal controlado em aplicações que exigem alta precisão métrica, como avaliações clínicas ou estudos comparativos com múltiplos sensores.

Condutividade Galvânica da Pele

No **ambiente não controlado**, os dados do GSR apresentaram um padrão mais uniforme, refletindo a predominância de estados de relaxamento ou a exposição a estímulos cotidianos de menor impacto emocional. Esse comportamento sugere que, na ausência de eventos significativos que provoquem alterações fisiológicas, a condutância da pele tende a permanecer relativamente estável. No entanto, pequenas oscilações ainda podem ser observadas, possivelmente relacionadas a

Tabela V.3: Relação entre valores da Condutividade Galvânica da Pele (GSR) com Estado Emocional

Estado Emocional	Mín. GSR (µS)	Máx. GSR (µS)	Média (µS)
Amando	1,10	1,50	1,30
Animado(a)	1,10	2,00	1,55
Feliz	1,80	2,00	1,90
Grato	0,80	1,30	1,05
Bem	0,80	1,30	1,05
Calmo(a)	0,80	1,30	1,05
Triste	1,20	1,70	1,45
Ansioso(a)	1,70	2,60	2,15
Cansado(a)	0,80	1,30	1,05
Estressado(a)	2,50	3,50	3,00
Frustrado(a)	2,50	3,50	3,00
Nervoso(a)	2,50	3,50	3,00

variações individuais na percepção e resposta a estímulos ambientais sutis. A Figura V.4 ilustra esse comportamento, destacando a estabilidade relativa dos dados e as oscilações de menor amplitude ao longo do tempo.



Figura V.4: Estabilidade relativa e oscilações sutis nos dados de GSR em ambiente não controlado.

Para uma análise mais detalhada, a Tabela V.3 apresenta a média dos valores capturados pelos 10 participantes ao longo de cinco dias, considerando cada tipo de emoção registrada no Diário de Humor. A coleta de dados foi realizada com uma amostragem de aproximadamente 100 registros por hora durante as 6 horas diárias de uso do COSMOS, totalizando cerca de 30.000 medições ao longo dos 5 dias do experimento. Os dados foram registrados em microSiemens (µS), unidade utilizada para medir a condutância da pele. Os valores apresentados possuem um grau de confiança de 95%, com margem de erro de ±0,15 µS para as médias, calculado com base no desvio padrão das medições e no tamanho da amostra para cada estado emocional. Essa abordagem permite identificar padrões gerais na resposta fisiológica aos diferentes estados emocionais relatados pelos participantes, com uma base amostral robusta que confere confiabilidade estatística aos resultados obtidos.

Para complementar a análise quantitativa apresentada na Tabela V.3, a Figura V.5 ilustra

graficamente a relação entre os estados emocionais e os valores da condutividade galvânica da pele (GSR) em microSiemens (µS). O gráfico de barras com intervalos (mínimo e máximo) e a linha de média permite visualizar de forma intuitiva os padrões fisiológicos associados a cada emoção. Nota-se que estados emocionais como **Estressado(a)**, **Frustrado(a)** e **Nervoso(a)** apresentam os maiores valores médios de GSR (3,00 µS), além de ampla variação (2,50–3,50 µS), indicando alta ativação do sistema nervoso simpático. Em contraste, emoções como **Grato**, **Bem**, **Calmo(a)** e **Cansado(a)** exibem os menores valores (1,05 µS) e menor variabilidade (0,80–1,30 µS), refletindo estados de baixa excitação fisiológica. Estados como **Ansioso(a)** (2,15 µS) e **Feliz** (1,90 µS) ocupam posições intermediárias, sugerindo distintos perfis de ativação autonômica. A visualização gráfica reforça a consistência dos dados coletados em ambiente não controlado e corrobora a viabilidade do uso do Grove GSR Sensor para discriminar estados emocionais com base na resposta fisiológica.



Figura V.5: Variação dos valores de GSR (µS) por estado emocional. As barras representam os intervalos (mínimo e máximo) e a linha vermelha indica a média.

A Figura V.6 apresenta um gráfico de bolha que evidencia a relação de proximidade entre os valores de GSR e os estados emocionais correspondentes. Nesta representação visual, cada bolha representa um estado emocional, posicionada de acordo com seu valor médio de GSR (eixo horizontal) e agrupada por similaridade de ativação fisiológica. O tamanho das bolhas pode variar conforme a amplitude da variação dos valores (mínimo e máximo) ou simplesmente para destacar os diferentes grupos emocionais. Através deste diagrama, é possível observar claramente três *clusters* principais: o grupo de baixa ativação (valores próximos a 1,05 µS), o grupo de média ativação (entre 1,45 e 2,15 µS) e o grupo de alta ativação (próximos a 3,00 µS). Esta visualização alternativa reforça os padrões identificados na análise quantitativa e demonstra como estados emocionais semanticamente diferentes podem compartilhar perfis fisiológicos similares.

Nota: Os gráficos foram gerados a partir dos dados médios agregados de 10 participantes, coletados ao longo de 5 dias em ambiente não controlado. A metodologia de registro das emoções baseou-se no Diário de Humor preenchido pelos participantes.

Além disso, a Figura V.7 ilustra um recorte dos dados de um dos participantes que apresentou

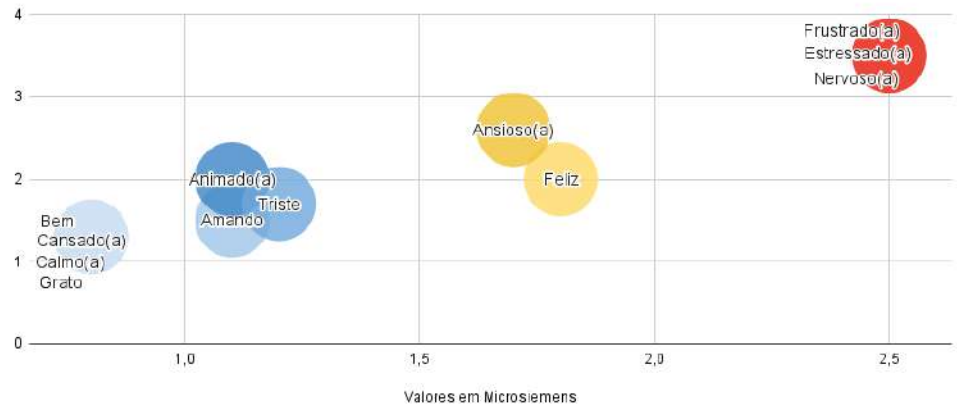


Figura V.6: Distribuição e agrupamento natural dos estados emocionais identificados através dos padrões de resposta GSR

variações mais expressivas, proporcionando uma representação gráfica mais clara das oscilações observadas. A escolha desse recorte foi baseada nas informações contidas nos registros, permitindo uma melhor compreensão das mudanças na condutância da pele em função das emoções relatadas. De acordo com a Tabela V.3, é possível observar que oscilações superiores a 1,7 mS indicam que o participante ficou ansioso ou feliz, enquanto variações que ultrapassaram os 2,5 mS sugerem que o participante estava ficando estressado, frustrado ou nervoso.

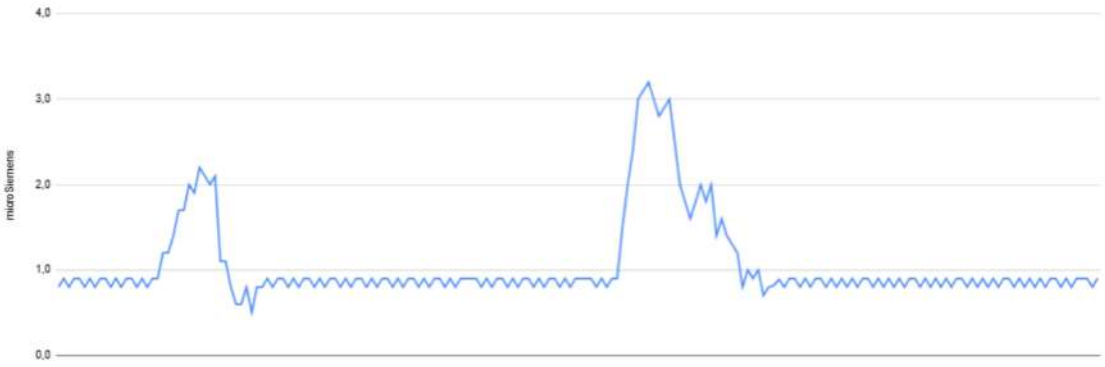


Figura V.7: Recorte dos dados de GSR de um participante com variações mais expressivas.

Vale ressaltar que os dados coletados pelo GSR tangenciam conceitos fundamentais da psicologia, como proposto na Teoria da Ativação [Andreassi, 2000] e no modelo bidimensional da emoção [Russell, 1980], que relacionam respostas fisiológicas a estados emocionais. No entanto, este trabalho não se propõe a aprofundar essas questões teóricas, uma vez que seu foco está voltado para a elaboração e validação de artefatos tecnológicos, e não para a comprovação ou análise detalhada de teorias psicológicas.

Sensores Integrados

A integração dos sensores no sistema COSMOS foi essencial para o sucesso do experimento, permitindo a coleta simultânea de múltiplos sinais fisiológicos e proporcionando uma análise abrangente e detalhada. Cada sensor desempenhou um papel específico: o AD8232 foi utilizado para registrar o ECG, o MAX30100 monitorou a frequência cardíaca e a oxigenação sanguínea, e o sensor GSR capturou as variações na condutância da pele, relacionadas aos estados emocionais. A convergência desses dados possibilitou uma visão integrada do estado físico e emocional dos participantes, viabilizando comparações e análises precisas entre os diferentes parâmetros fisiológicos e suas manifestações comportamentais.

Essa integração permitiu uma avaliação detalhada das interações entre os sinais vitais e os estímulos aplicados aos participantes. A análise dos dados coletados revelou correlações significativas entre a atividade elétrica do coração (ECG), a frequência cardíaca (BPM), a oxigenação sanguínea (SpO2) e as variações na condutância da pele (GSR), destacando momentos de excitação e relaxamento. Esses achados evidenciam a relação direta entre as respostas fisiológicas e os estados emocionais dos participantes, auxiliando na análise do real estado de saúde do participante, ao considerar tanto os aspectos físicos quanto emocionais em tempo real.

A Figura V.2 e as Tabelas V.1, V.2 e V.3 apresentam dados obtidos em um **ambiente não controlado**, no qual os sinais exibiram maior nitidez, possibilitando a seleção de trechos mais representativos das correlações entre os diferentes parâmetros fisiológicos monitorados. Nessa condição, os registros de ECG, BPM, SpO2 e GSR revelaram padrões consistentes e bem definidos. Como cada sensor opera em escalas próprias e produz valores de naturezas distintas, tornou-se necessária a aplicação de uma etapa de normalização, garantindo que todos os sinais contribuíssem com o mesmo peso para as análises comparativas. Para isso, os dados foram normalizados por meio da seguinte expressão:

$$ValorNormalizado = 100 \times \left(\frac{(\text{Valor do sensor} - \text{menor valor lido}}{(\text{maior valor lido} - \text{menor valor lido})} \right)$$

Os recortes dos dados pertencem a um mesmo participante, cujos registros apresentam variações mais expressivas, facilitando a análise das interações entre os sinais fisiológicos. A Figura V.2 apresenta a evolução da atividade elétrica do coração registrada pelo AD8232 ao longo do tempo, destacando os períodos de maior excitação cardíaca. Este gráfico é fundamental para entender como a atividade elétrica do coração responde a diferentes estímulos experimentais, como situações de estresse ou excitação. Para uma análise mais completa, os dados de ECG foram combinados com as leituras de GSR, permitindo observar como as variações na atividade elétrica do coração se correlacionam com os picos na frequência cardíaca e as mudanças na condutância da pele. A

sobreposição desses dados facilita a identificação de momentos específicos de excitação emocional, correlacionando diretamente as respostas fisiológicas aos estímulos vivenciados pelos participantes. A mudança de padrão, indicada pelo retângulo tracejado na Figura V.8, evidencia essas variações com maior clareza.

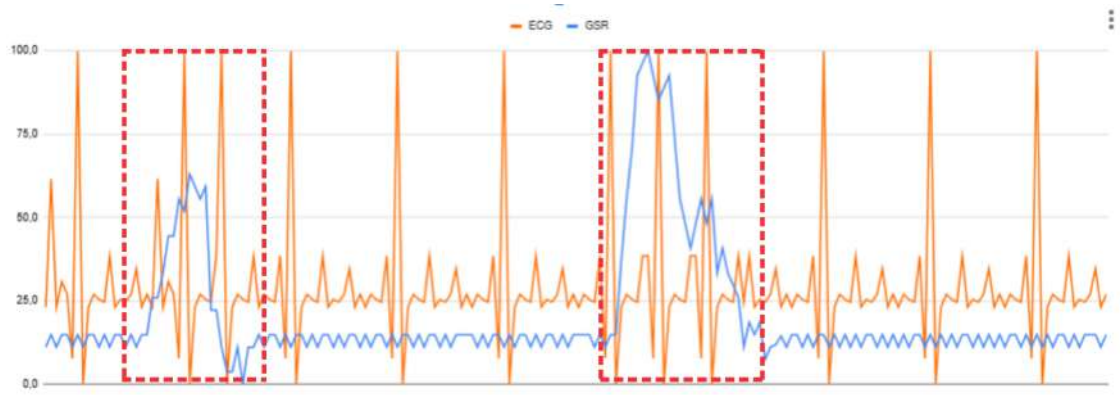


Figura V.8: Gráfico do ECG com GSR, ressaltando a correlação entre os sinais vitais em ambiente não controlado.

A Figura V.9 compara os dados do BPM e GSR ao longo de um período experimental, destacando as variações na frequência cardíaca e na condutividade galvânica da pele durante diferentes momentos do experimento. Esse gráfico foi projetado para identificar padrões de variação sincronizada ou divergente entre o ritmo cardíaco e a condutância da pele. Ao correlacionar esses dois parâmetros, o gráfico revela como as alterações no BPM podem estar associadas a picos de excitação ou relaxamento, evidenciando a interação entre as respostas autonômicas do corpo e os estímulos emocionais. A mudança de padrão, indicada pelo retângulo tracejado na Figura V.9, evidencia essas variações com maior clareza.

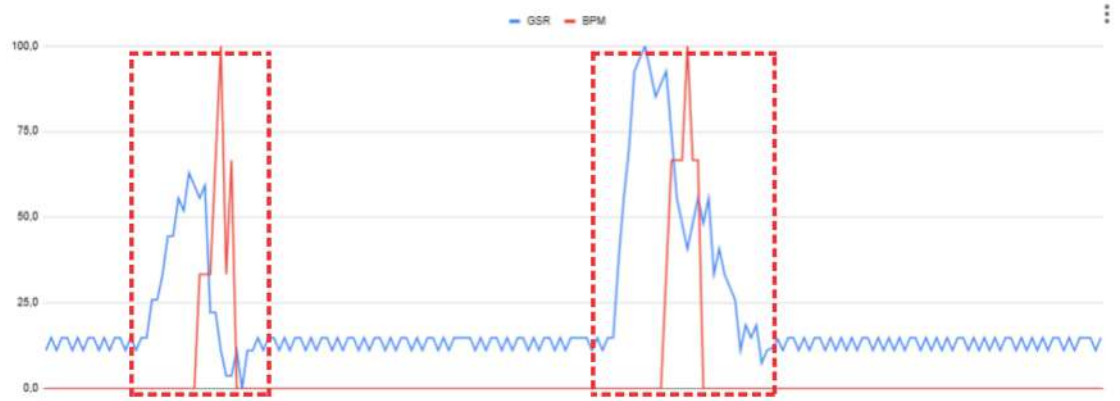


Figura V.9: Gráfico do BPM com GSR, ressaltando a correlação entre os sinais vitais em ambiente não controlado.

Os resultados para a saturação de oxigênio não apresentaram variações significativas nem correlação relevante com os outros sinais vitais durante os momentos de excitação ou relaxamento, sugerindo que o SpO2 não contribuiu de maneira significativa para a análise dos estados emocionais

dos participantes.

A interdependência entre os dados dos sensores também gerou um modelo de análise robusto, capaz de avaliar a saúde cardiovascular e o estado emocional de forma integrada. A análise comparativa entre os dados coletados permitiu validar o COSMOS na captura de sinais fisiológicos relevantes, e os resultados mostraram uma forte correlação entre o ECG, a frequência cardíaca e os sinais de estresse e relaxamento, como indicados pelo GSR. Esse processo de integração de sensores não só ampliou a eficácia da coleta de dados, mas também reforçou a utilidade do COSMOS como uma ferramenta para monitoramento remoto da saúde, com a capacidade de fornecer uma análise mais completa e contextualizada dos participantes.

Experiências dos Participantes

A análise das respostas dos participantes em relação à Qualidade de Experiência do COSMOS App no ambiente não controlado revela percepções variadas sobre diferentes aspectos da interface e funcionalidades. Como o uso ocorreu em contextos reais, como em casa, na rua e em diversos outros locais, os resultados refletem situações de uso cotidiano e trazem uma visão prática da experiência com o sistema. No quesito "Design Atraente", os participantes atribuíram uma média de 4,5, indicando que a aparência visual foi considerada agradável mesmo em condições distintas de uso. Em relação à legibilidade das fontes, a média foi de 4, demonstrando que, mesmo em ambientes externos, as informações puderam ser lidas de forma satisfatória. Já os "Botões de Navegação" receberam média de 3,5, sugerindo que, em contextos de mobilidade, sua eficiência foi percebida como intermediária.

Quanto à compreensão das funções, os participantes atribuíram a pontuação máxima de 5, indicando clareza na identificação das funcionalidades. A "Apresentação Simples" também recebeu 5, mostrando que a simplicidade na forma de exibição das informações foi valorizada. Os "Gráficos Harmônicos" obtiveram média de 4, refletindo boa integração visual, mesmo em situações variadas. A visualização das "Aferições em Tempo Real" recebeu a nota máxima de 5, ressaltando a importância dessa funcionalidade em usos fora do ambiente controlado.

A "Concentração no Aplicativo" foi bem avaliada, com nota 5, demonstrando envolvimento durante o uso, ainda que em ambientes externos. No entanto, a baixa pontuação de 1 para "Não Percepção do Tempo" sugere que os usuários tinham consciência do tempo ao utilizar o app, o que pode indicar menor imersão no cotidiano. Esse resultado, entretanto, também pode ser interpretado de forma positiva, já que o COSMOS não foi projetado para uso contínuo e cotidiano, mas sim para interações casuais voltadas ao monitoramento. Assim, os dados indicam que é possível manter a concentração necessária durante o uso, sem que isso demande longos períodos de atenção ou gere distrações excessivas. A "Navegação Intuitiva" alcançou nota 5, enquanto o "Uso de Poucos Cliques"

recebeu média de 4, apontando que, embora funcional, o acesso às opções poderia ser mais ágil. Já a "Percepção da Funcionalidade da Tela" ficou em 3,5, sinalizando percepção intermediária sobre a clareza das telas em contextos variados. A Figura V.10 apresenta um gráfico radar da Qualidade de Experiência do COSMOS App em ambiente não controlado, ilustrando visualmente os resultados mencionados e facilitando a compreensão das médias atribuídas pelos participantes a cada item avaliado.

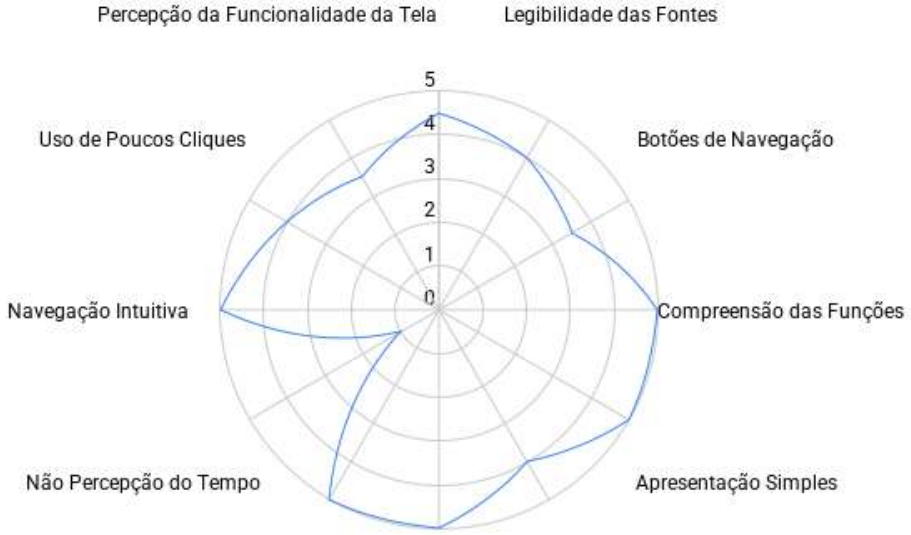


Figura V.10: Gráfico radar da Qualidade de Experiência do COSMOS App em ambiente não controlado.

A Escala de Usabilidade do Sistema (SUS) foi aplicada com o objetivo de aferir a percepção de usabilidade do COSMOS de forma integral, contemplando tanto o DMSF quanto o COSMOS App. Essa abordagem permitiu avaliar não apenas a interface do aplicativo, mas também a experiência do usuário em relação ao sistema como um todo, identificando pontos fortes e aspectos que poderiam ser aprimorados em diferentes contextos de uso. A medida resultou em 72,5 pontos, considerada boa, indica que, mesmo em ambientes não controlados, os participantes perceberam o COSMOS como satisfatório e funcional. Destaca-se que os usuários mostraram neutralidade quanto ao uso frequente (2,5), sugerindo que, embora reconheçam benefícios, fatores externos ou limitações contextuais podem ter influenciado a adoção regular. A facilidade de uso (3,5) foi avaliada acima da complexidade percebida (1,5), reforçando que o sistema não é considerado complicado, mas ainda exige atenção em certos aspectos.

Em relação ao suporte, a pontuação de 2,5 para "Ajuda de pessoa técnica" indica indecisão: os usuários, em uso real, não sentiram forte necessidade de assistência, mas também não descartaram essa possibilidade. A integração das funções recebeu nota alta (4,5), enquanto a inconsistência foi avaliada como mínima (1). O "Rápido aprendizado" e a "Confiança para uso" receberam média de

3,5, sugerindo que os participantes sentiram facilidade em aprender e utilizar o sistema no dia a dia. Por outro lado, a baixa pontuação de 1 para "Aprender coisas novas" indica que o uso cotidiano não demandou novos aprendizados, tornando a adoção mais natural em diferentes contextos de uso real. Além disso, a Figura V.11 apresenta o gráfico referente à Escala de Usabilidade do Sistema (SUS), mostrando de forma consolidada as pontuações atribuídas pelos participantes e permitindo uma análise visual rápida da usabilidade percebida do COSMOS App em ambiente não controlado.

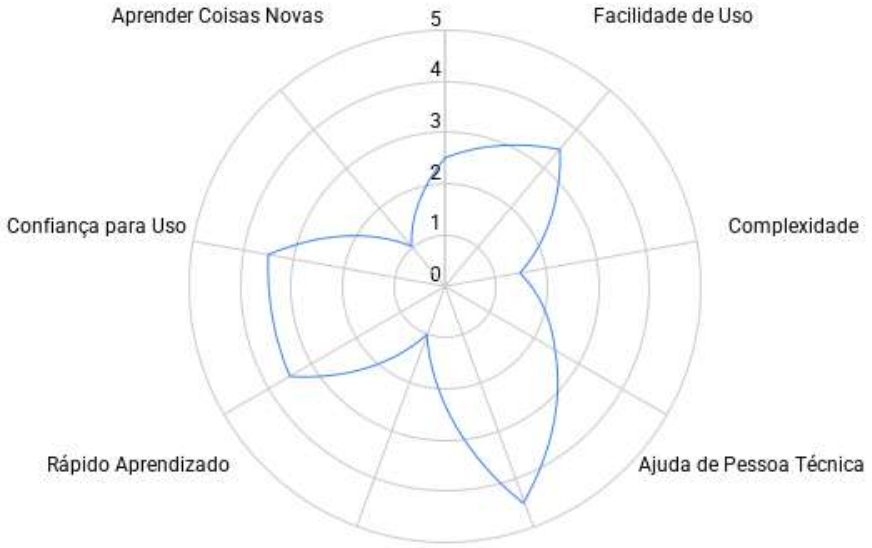


Figura V.11: Gráfico radar da SUS do COSMOS em ambiente não controlado.

V.2 Experimentos em Ambiente Controlado

No **ambiente controlado** do experimento, os participantes foram alocados em uma sala equipada com VR e o DMSF do COSMOS, com o objetivo de monitorar suas reações fisiológicas durante a experiência de VR. Essa configuração possibilitou a análise das respostas fisiológicas dos participantes em um **ambiente controlado**, oferecendo dados precisos sobre as reações observadas enquanto estavam imersos em estímulos virtuais. A metodologia adotada é explorada com mais detalhes na Subseção V.2.1, onde são apresentados os procedimentos adotados para garantir a precisão dos resultados. Já a Subseção V.2.2 discute os resultados obtidos neste ambiente.

V.2.1 Metodologia

A metodologia do experimento em **ambiente controlado** teve início com a realização de sessões em uma sala equipada com VR, onde os participantes utilizaram o DMSF do COSMOS. A seleção dos participantes foi aberta, sem restrições, com o objetivo de incluir o maior número possível de pessoas, totalizando 43 participantes, entre pacientes da Pleni Saúde e voluntários, com faixa etária

variando entre 20 e 29 anos. Durante as sessões, os participantes foram imersos em um ambiente virtual controlado, especificamente um simulador de montanha-russa. A Figura V.12 ilustra alguns dos cenários e momentos do jogo simulador de montanha-russa em que os participantes foram inseridos. Enquanto isso, o DMSF monitorava em tempo real seus sinais fisiológicos, incluindo BPM, SpO2, ECG e GSR.



Figura V.12: Cenários e momentos do jogo simulador de montanha-russa utilizado no experimento.

Durante o experimento, os participantes receberam assistência para vestir corretamente o DMSF, garantindo que o equipamento fosse utilizado de maneira adequada. Enquanto estavam imersos no ambiente virtual, o sistema registrava seus dados fisiológicos em tempo real. Cada sessão teve duração de 5 minutos por participante. Após cada imersão, os participantes foram orientados a preencher o Diário do Humor, onde registraram seus estados emocionais durante a interação com os estímulos virtuais. Esse diário forneceu uma visão detalhada das reações afetivas dos participantes ao longo da experiência no ambiente virtual. A Figura V.13 ilustra o desenvolvimento do experimento, incluindo o uso do DMSF e a interação dos participantes com o ambiente virtual.



Figura V.13: Experimento conduzido em ambiente controlado.

V.2.2 Resultados dos Experimentos

A análise dos dados coletados foi conduzida com foco na análise temporal, uma vez que o experimento em **ambiente controlado** foi realizado sem a participação de um profissional de saúde. O objetivo principal era investigar as relações entre os sinais captados pelos sensores, e não avaliar a precisão das medições. Para isso, os registros do BPM, SpO2, ECG e GSR foram analisados em função do tempo, permitindo observar como as respostas fisiológicas dos participantes variaram durante a imersão no ambiente virtual.

Os dados de GSR foram correlacionados com as informações registradas pelos próprios participantes no Diário do Humor, buscando identificar padrões entre as reações emocionais e as respostas fisiológicas. Essa abordagem permitiu explorar a consistência dos dados ao longo do tempo, sem a necessidade de compará-los com medições de referência realizadas por profissionais de saúde. Para uma avaliação mais detalhada, subseções específicas apresentam os resultados individuais de cada sensor, bem como uma análise integrada dos dados coletados ao longo do experimento.

Batimentos Cardíacos por Minuto e Saturação de Oxigênio no Sangue

A análise dos dados do BPM foi realizada por meio de uma abordagem temporal, uma vez que não foi possível realizar uma análise comparativa. Isso ocorreu porque o experimento em ambiente controlado não contou com a presença de um profissional de saúde ou com a utilização de equipamentos homologados pelo Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) ou Anvisa (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) para medição do BPM. Dessa forma, a análise temporal permitiu observar o comportamento dos batimentos cardíacos dos participantes ao longo do tempo, em resposta aos estímulos proporcionados pelo VR.

Os resultados obtidos indicaram que, em quase todos os participantes, houve um padrão semelhante de resposta fisiológica. Durante o momento em que o simulador de montanha-russa apresentava a queda do carrinho, foi observado um leve aumento nos valores do BPM. Após a conclusão da queda, os batimentos cardíacos retornaram gradualmente aos níveis basais, indicando uma resposta fisiológica consistente com a experiência de imersão no VR. Esse comportamento sugere que o estímulo virtual foi capaz de induzir uma reação fisiológica mensurável, ainda que transitória.

A Figura V.14 ilustra o momento do aumento do BPM durante a queda e a subsequente normalização dos batimentos cardíacos, representando a média agregada dos dados de todos os participantes. No quadro A, é possível observar que o participante estava vendo no VR, com o carrinho da montanha-russa em movimento estável. No quadro B, nota-se que o participante começa a visualizar o trilho da montanha-russa virtual descendo abruptamente, indicando o momento que antecede a queda. No quadro C, o carrinho está em queda livre e em alta velocidade, momento em que se observa o pico de aumento dos batimentos cardíacos. No quadro D, o carrinho começa a

diminuir a velocidade, e os batimentos cardíacos iniciam o processo de normalização. Por fim, no quadro E, o carrinho retorna a uma velocidade normal, e os batimentos cardíacos dos participantes se estabilizam, retornando aos níveis basais.

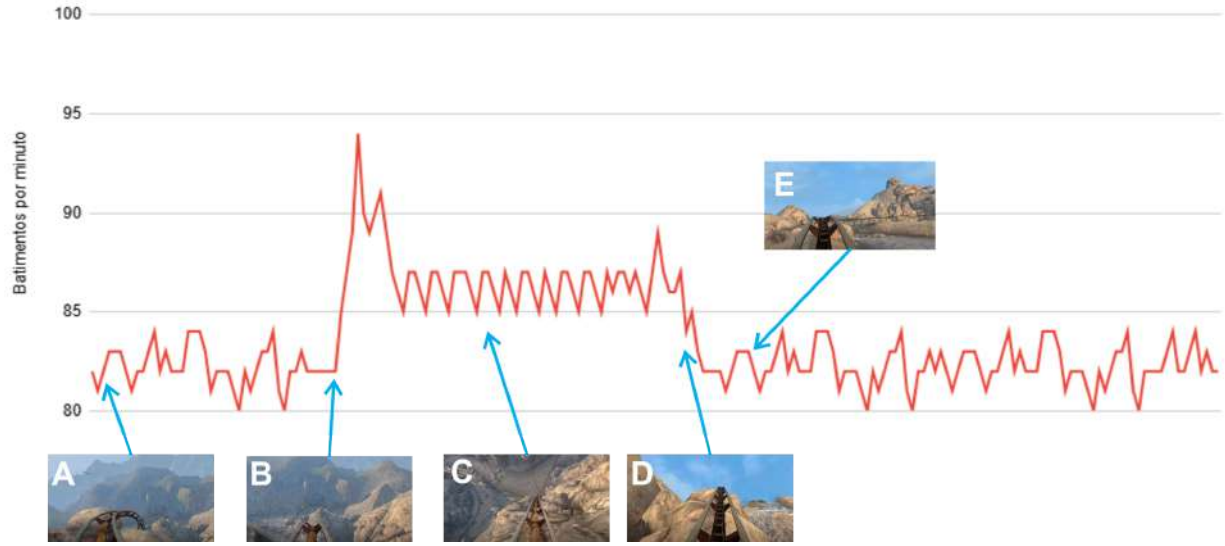


Figura V.14: Variação temporal dos BPM durante a imersão no simulador de montanha-russa.

Eletrocardiograma

Durante os experimentos realizados em **ambiente controlado**, observou-se uma forte correlação entre os picos de atividade elétrica registrados no ECG e os momentos de alta excitação emocional dos participantes. A Figura V.15 ilustra um gráfico dos dados do ECG capturados durante os experimentos, onde o eixo Y representa a amplitude dos sinais elétricos do coração. Assim como os resultados do BPM, o ECG apresentou um padrão de resposta semelhante em quase todos os participantes. Durante o momento em que o simulador de montanha-russa apresentava a queda do carrinho, foi registrado um aumento significativo na atividade elétrica do coração. Após o término da queda, os sinais elétricos retornaram gradualmente aos níveis basais, indicando uma resposta fisiológica transitória ao estímulo virtual.

A Figura V.15 é composta por cinco quadros que detalham a relação entre a experiência virtual e os sinais do ECG, representando a média agregada dos dados de todos os participantes. A consistência do padrão observado na maioria dos indivíduos valida a análise representativa da resposta fisiológica coletiva durante o experimento. No quadro A, é possível observar o cenário inicial do simulador, com o carrinho da montanha-russa em movimento estável, correspondendo a um padrão basal de atividade elétrica no ECG. No quadro B, o participante visualiza o trilho da montanha-russa descendo abruptamente, momento que antecede a queda e coincide com o início de uma leve alteração nos sinais elétricos. No quadro C, o carrinho está em queda livre e em alta velocidade, registrando-se o pico de atividade elétrica no ECG, associado ao momento de maior excitação emo-

cional. É interessante observar que, durante a queda do carrinho, a distância entre os picos do ECG diminuiu significativamente, indicando um aumento na frequência da atividade elétrica do coração. Esse comportamento reflete uma resposta fisiológica intensa ao estímulo emocional proporcionado pela queda. No quadro D, o carrinho começa a reduzir sua velocidade, e os sinais elétricos do coração iniciam o processo de normalização, com a distância entre os picos aumentando gradualmente. Por fim, no quadro E, o carrinho retorna a uma velocidade constante, e os sinais do ECG estabilizam-se, retornando aos níveis basais, com a distância entre os picos restabelecida ao padrão inicial.

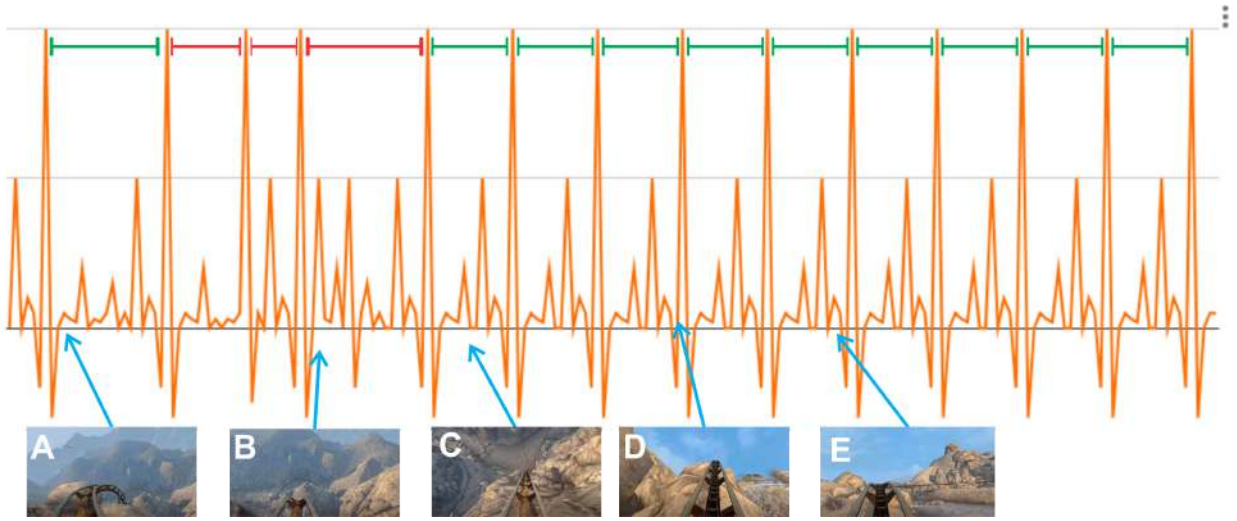


Figura V.15: Variação temporal do ECG durante a imersão no simulador de montanha-russa.

Vale ressaltar que, diferentemente do **ambiente não controlado**, o experimento em **ambiente controlado** permitiu manter os participantes em uma posição favorável para o sensor AD8232, garantindo a captura de sinais com maior qualidade e estabilidade.

Condutividade Galvânica da Pele

A análise dos dados de GSR foi realizada por meio de uma abordagem temporal, uma vez que o foco do experimento em ambiente controlado era observar as respostas fisiológicas dos participantes aos estímulos emocionais proporcionados pelo ambiente virtual. Os resultados ilustram que as reações registradas pelo GSR foram significativamente mais intensas em comparação com o ambiente não controlado, evidenciando que a imersão no VR potencializou as respostas emocionais dos participantes. Essa intensificação pode ser atribuída ao caráter imersivo e envolvente do simulador de montanha-russa, que forçou uma reação mais pronunciada do sistema nervoso autônomo.

Quase todos os participantes apresentaram um padrão semelhante de resposta. Durante o momento em que o simulador de montanha-russa entrava na queda do carrinho, foi observado um aumento abrupto nos valores de GSR, indicando uma elevação na atividade das glândulas sudoríparas e, consequentemente, na excitação emocional. Após a conclusão da queda, os valores de

GSR retornaram gradualmente aos níveis basais, sugerindo uma normalização da resposta fisiológica. Esse comportamento reforça a hipótese de que os estímulos visuais e sensoriais do VR são capazes de induzir reações fisiológicas mensuráveis e consistentes. A Figura V.16 ilustra o momento do aumento do GSR durante a queda e a subsequente normalização após o término do estímulo, representando a média agregada dos dados de todos os participantes. A consistência do padrão observado na maioria dos indivíduos (onde quase todos apresentaram respostas semelhantes) confirma a validade estatística e fisiológica do fenômeno registrado.

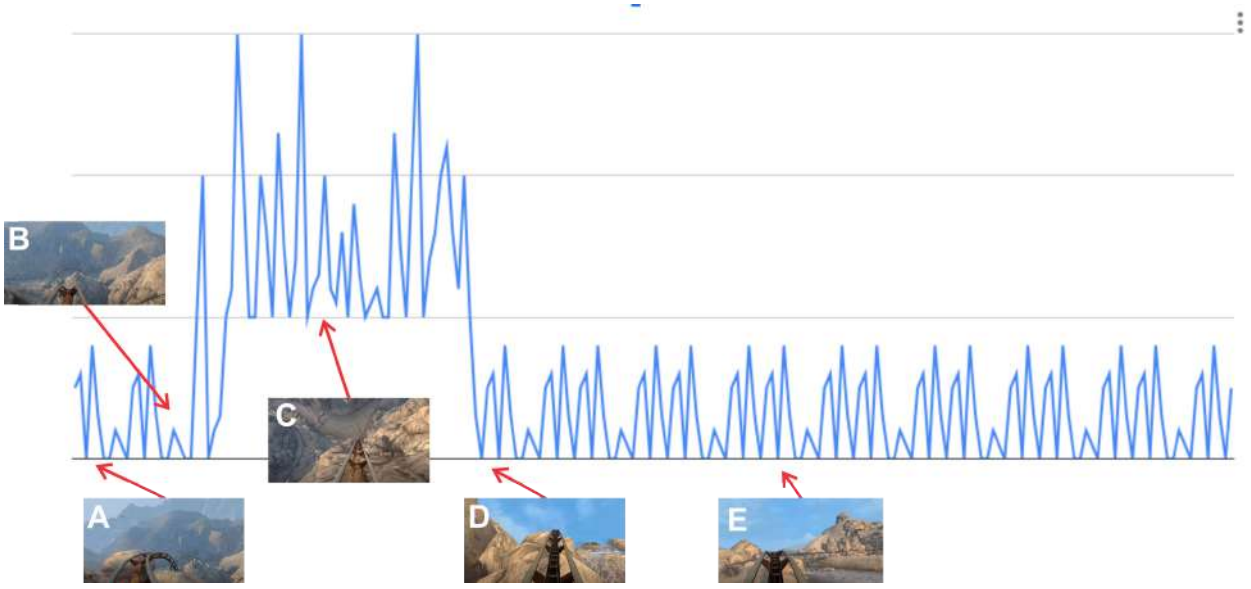


Figura V.16: Variação temporal do GSR durante a imersão no simulador de montanha-russa.

A Figura V.16 é composta por cinco quadros que detalham a relação entre a experiência virtual e os sinais do GSR. No quadro A, é possível observar o cenário inicial do simulador, com o carrinho da montanha-russa em movimento estável, correspondendo a um padrão basal de atividade do GSR. No quadro B, o participante visualiza o trilho da montanha-russa descendo abruptamente, momento que antecede a queda e coincide com o início de uma leve alteração nos valores de GSR. No quadro C, o carrinho está em queda livre e em alta velocidade, registrando-se o pico de atividade do GSR, associado ao momento de maior excitação emocional. No quadro D, o carrinho começa a reduzir sua velocidade, e os valores de GSR iniciam o processo de normalização. Por fim, no quadro E, o carrinho retorna a uma velocidade constante, e os valores de GSR estabilizam-se, retornando aos níveis basais.

Sensores Integrados

Ao observar simultaneamente os gráficos de BPM (Figura V.14), ECG (Figura V.15) e GSR (Figura V.16), identifica-se uma sequência temporal clara e consistente nas respostas fisiológicas dos participantes durante a queda do carrinho no simulador de montanha-russa. O primeiro sinal

de alteração ocorre no GSR, que começa a aumentar ligeiramente antes mesmo da queda, indicando uma resposta antecipatória do sistema nervoso autônomo ao estímulo visual iminente. Esse comportamento sugere que a excitação emocional, medida pela atividade das glândulas sudoríparas, é desencadeada assim que o participante percebe a iminência da queda, refletindo uma reação rápida e involuntária ao estímulo virtual.

Em seguida, o ECG apresenta um aumento na atividade elétrica do coração, coincidindo com o momento exato da queda do carrinho. Esse pico no ECG ocorre logo após o início da resposta do GSR, indicando que a excitação emocional inicial desencadeia uma resposta cardíaca mais intensa. A diminuição na distância entre os picos do ECG durante a queda reforça a ideia de que o coração responde de forma imediata e significativa ao estímulo emocional, aumentando sua frequência de atividade elétrica.

Por fim, o BPM apresenta um aumento um pouco mais tardio, atingindo seu pico após o pico do ECG. Essa demora na resposta do BPM pode ser explicada pelo tempo necessário para que a atividade elétrica do coração se traduza em um aumento mensurável na frequência cardíaca. O pico do BPM ocorre durante a queda, mas sua normalização é mais gradual, refletindo uma resposta fisiológica mais sustentada em comparação com o GSR e o ECG.

A Figura V.17 ilustra de forma integrada a sequência temporal das respostas fisiológicas mediante a média agregada dos dados de todos os participantes, capturando padrões consistentes observados na maioria da amostra. A sincronização entre os sinais de ECG, GSR e BPM durante a experiência imersiva evidencia a coerência das reações autonômicas aos estímulos virtuais. No quadro A, é possível observar o cenário inicial do simulador, com o carrinho da montanha-russa em movimento estável, correspondendo a valores basais de GSR, ECG e BPM. No quadro B, o participante visualiza o trilho da montanha-russa descendo abruptamente, momento que antecede a queda e coincide com o início do aumento do GSR, indicando a resposta antecipatória do sistema nervoso autônomo. No quadro C, o carrinho está em queda livre e em alta velocidade, registrando-se o pico de atividade elétrica no ECG e o início do aumento do BPM, refletindo a resposta cardíaca intensa ao estímulo emocional. No quadro D, o carrinho começa a reduzir sua velocidade, e os valores de GSR e ECG iniciam o processo de normalização, enquanto o BPM atinge seu pico. Por fim, no quadro E, o carrinho retorna a uma velocidade constante, e todos os sinais fisiológicos (GSR, ECG e BPM) estabilizam-se, retornando aos níveis basais. Considerando que cada tipo de sensor possui métricas e valores distintos, foi aplicada uma normalização aos dados, atribuindo o mesmo peso a todos os sinais. A normalização foi realizada utilizando a fórmula:

$$ValorNormalizado = 100 \times \left(\frac{(\text{Valor do sensor} - \text{menor valor lido}}{(\text{maior valor lido} - \text{menor valor lido})} \right)$$

A compreensão dessa sequência temporal e da coordenação entre as respostas fisiológicas tem

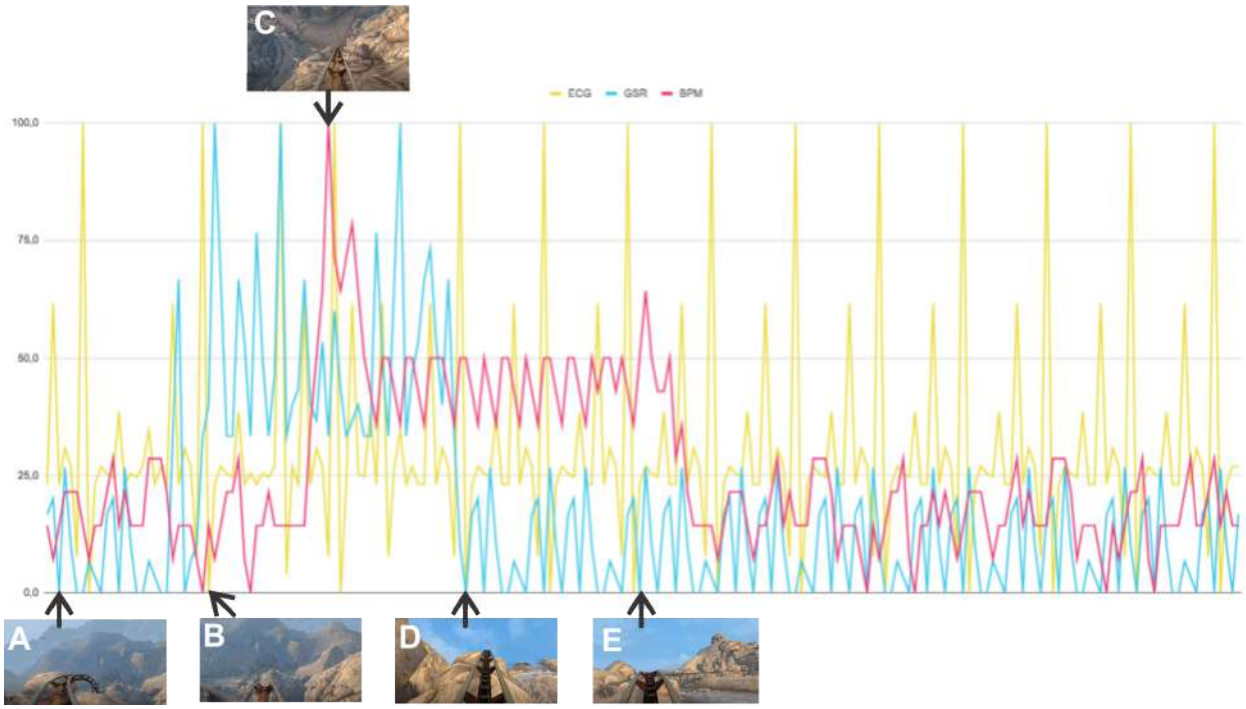


Figura V.17: Variação temporal do GSR, ECG e BPM durante a imersão no simulador de montanha-russa.

implicações significativas para a saúde, especialmente no contexto de monitoramento contínuo e prevenção de condições médicas. Ao identificar padrões de resposta fisiológica a estímulos emocionais, como os observados no simulador de montanha-russa, é possível desenvolver sistemas de monitoramento mais precisos e personalizados. Esses sistemas podem detectar precocemente alterações no sistema nervoso autônomo e na atividade cardíaca, permitindo intervenções rápidas em casos de estresse excessivo, ansiedade ou até mesmo arritmias cardíacas. Além disso, a capacidade de correlacionar sinais fisiológicos com estados emocionais abre caminho para aplicações em saúde mental, como terapias baseadas em biofeedback, onde os pacientes aprendem a regular suas respostas fisiológicas por meio de treinamento e autoconhecimento. Dessa forma, a integração desses dados não apenas melhora a precisão diagnóstica, mas também contribui para estratégias de prevenção e promoção da saúde, tanto física quanto mental.

Experiências dos Participantes

A análise das respostas dos participantes em relação à Qualidade de Experiência do COSMOS App no ambiente controlado apresenta características distintas em comparação ao uso em situações reais. Nesse caso, os participantes estavam utilizando um óculos de realidade virtual (VR) durante a realização do experimento, o que representou uma condição diferente de interação. É importante destacar que os participantes não possuíam experiência prévia com o COSMOS App; o primeiro contato ocorreu apenas durante a atividade prática. Além disso, o formulário de avaliação foi

preenchido após o término do experimento, de modo a capturar as impressões imediatas da interação.

No quesito “Design Atraente”, a média atribuída foi de 4,0, indicando que os participantes avaliaram a interface como visualmente agradável mesmo após terem tido contato com o COSMOS somente depois de usar o VR. A “Legibilidade das Fontes” obteve média de 4, demonstrando que as informações permaneceram claras. Os “Botões de Navegação” foram avaliados em 3,5, sugerindo percepção intermediária quanto à facilidade de uso nesse contexto experimental. A compreensão das funções recebeu nota máxima de 5, evidenciando clareza no entendimento das possibilidades oferecidas pelo sistema. A “Apresentação Simples” também foi avaliada em 5, reforçando a valorização da objetividade. Os “Gráficos Harmônicos” receberam 4, mostrando que os elementos visuais foram considerados consistentes. Já a possibilidade de acompanhar “Aferições em Tempo Real” alcançou nota máxima de 5, reforçando o valor prático dessa funcionalidade.

A “Concentração no Aplicativo” foi avaliada com nota 0, e a pontuação mínima de 1 para “Não Percepção do Tempo” refletem o fato de que os participantes não utilizaram o COSMOS App durante o experimento com o VR, interagindo com o sistema somente após o término da atividade. Dessa forma, essas pontuações não indicam falta de interesse, mas sim a ausência de uso durante o uso do óculos VR. A “Navegação Intuitiva” recebeu nota 5, confirmando a facilidade de interação após o primeiro contato. O “Uso de Poucos Cliques” obteve média de 3,5, indicando acesso relativamente ágil às funcionalidades, enquanto a “Percepção da Funcionalidade da Tela” foi avaliada em 3,5, sinalizando clareza intermediária nas telas apresentadas. A Figura V.18 mostra um gráfico radar que representa a Qualidade de Experiência do COSMOS App em ambiente controlado, evidenciando os resultados obtidos pelos participantes e permitindo visualizar de forma clara as médias atribuídas a cada item avaliado.

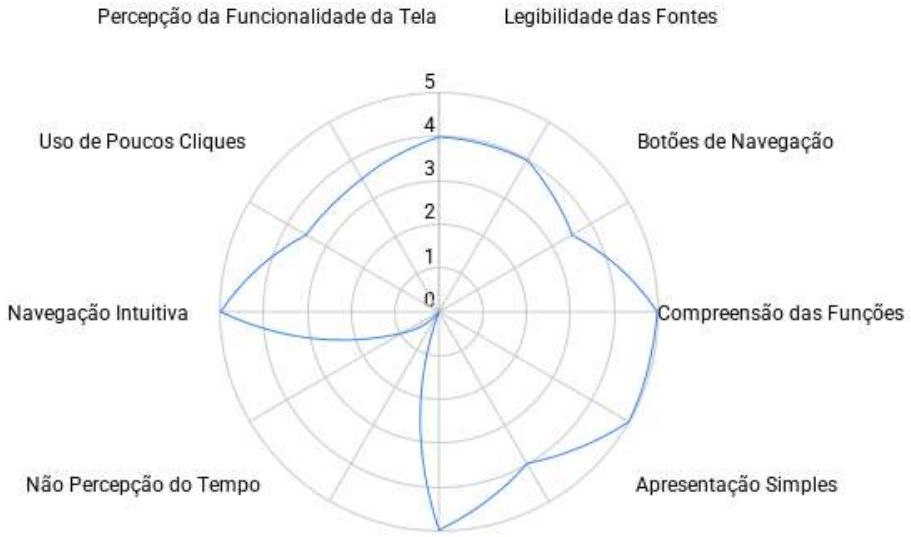


Figura V.18: Gráfico radar da Qualidade de Experiência do COSMOS App em ambiente controlado.

A Escala de Usabilidade do Sistema (SUS) foi utilizada para avaliar a experiência de uso do COSMOS de maneira abrangente, englobando tanto o DMSF quanto o COSMOS App. Esse procedimento possibilitou analisar não apenas a interface do aplicativo, mas também a interação geral dos participantes com o sistema, permitindo identificar seus pontos positivos e aspectos passíveis de melhoria em diferentes cenários de utilização. A pontuação geral foi de **76**, considerada boa para sistemas digitais. O formulário foi preenchido após a experiência prática, refletindo percepções imediatas da interação em VR. A pontuação de **3,0** para "Uso Frequente" indica neutralidade quanto ao uso cotidiano. A facilidade de uso (**4,0**) superou a complexidade (**2,0**), mostrando que o sistema é simples de manejar mesmo sem experiência prévia. A "Ajuda de pessoa técnica" recebeu **3,0**, apontando leve incerteza quanto ao suporte necessário.

Os participantes avaliaram positivamente a integração das funcionalidades (**4,5**) e não perceberam inconsistências relevantes (**1,5**). O "Rápido Aprendizado" e a "Confiança para uso" obtiveram **4,0**, indicando segurança no contato inicial. Por fim, a nota **2,0** para "Aprender coisas novas" sugere que a interação não exigiu grande esforço de aprendizado, aspecto positivo para uso em contextos clínicos ou de monitoramento. Além disso, a Figura V.19 apresenta um gráfico consolidado da Escala de Usabilidade do Sistema (SUS) em ambiente controlado, evidenciando as pontuações atribuídas pelos participantes e permitindo uma visualização rápida da percepção de usabilidade do COSMOS App.

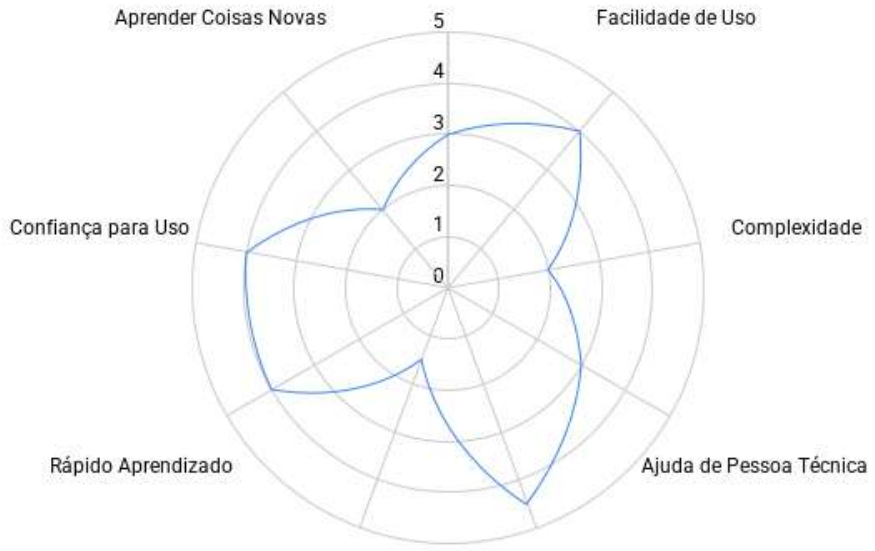


Figura V.19: Gráfico radar da SUS do COSMOS em ambiente controlado.

V.3 Discussões do Experimento

Antes de detalhar os resultados, a discussão é estruturada em três subseções principais, permitindo uma análise clara e organizada dos experimentos realizados. Primeiramente, será apresentada a comparação entre os experimentos conduzidos em ambientes não controlado e controlado (Subseção V.3.1), destacando as diferenças nas respostas fisiológicas e na experiência do usuário, bem como os pontos fortes de cada cenário para a coleta de dados.

Em seguida, será abordada a análise dos dados consolidados (Subseção V.3.2) obtidos em ambos os ambientes, mostrando como os sinais fisiológicos e a percepção de usabilidade se complementam. Essa subseção evidencia a consistência das medições e a capacidade do COSMOS de fornecer informações relevantes tanto em contextos cotidianos quanto em situações controladas, permitindo avaliar sua robustez e aplicabilidade prática.

Por fim, a seção apresenta uma síntese geral (V.3.3) que integra os achados dos dois ambientes, discutindo suas implicações para o desenvolvimento de tecnologias de monitoramento contínuo. Essa abordagem possibilita compreender como os diferentes contextos de uso influenciam os resultados, além de oferecer perspectivas sobre aplicações futuras, melhorias do sistema e estratégias para maximizar a experiência do usuário com o COSMOS.

V.3.1 Comparação Ambiente Não Controlado com Ambiente Controlado

A comparação entre os experimentos conduzidos nos ambientes não controlado e controlado revela diferenças fundamentais tanto na natureza das respostas fisiológicas captadas quanto na experiência geral dos participantes com o sistema COSMOS. No ambiente não controlado, caracterizado pelo uso cotidiano e domiciliar, os dados exibiram uma variabilidade mais suave e estável, refletindo a predominância de estados de relaxamento e a exposição a estímulos ambientais rotineiros de menor impacto. Esse cenário foi crucial para validar a usabilidade, a confiabilidade e a aplicabilidade prática do sistema em condições reais, onde fatores externos imprevisíveis e a ausência de supervisão direta colocaram à prova a robustez do DMSF e do COSMOS App.

Em contraste, o ambiente controlado, equipado com tecnologia de VR, proporcionou um contexto altamente imersivo e padronizado, onde estímulos emocionais intensos e previsíveis (como a queda virtual em uma montanha-russa) foram aplicados. Isso resultou em respostas fisiológicas muito mais pronunciadas e sincronizadas, com picos abruptos e bem definidos no GSR, ECG e BPM durante os momentos de maior excitação. Este ambiente mostrou-se ideal para isolar e estudar as correlações específicas entre estímulos emocionais discretos e as reações do sistema nervoso autônomo, oferecendo um alto grau de controle para análise causal.

Do ponto de vista da experiência do usuário, a avaliação por questionários também apontou dis-

tinções significativas. No ambiente não controlado, a Qualidade de Experiência e a usabilidade (SUS de 72,5) foram consideradas boas, com os participantes valorizando a simplicidade, a legibilidade e a funcionalidade de monitoramento em tempo real para uso casual. Já no controlado, onde o foco era a imersão em VR e não a interação contínua com o aplicativo, a usabilidade manteve-se em nível bom (76 no SUS), mas itens como "Concentração no App"e "Não Percepção do Tempo"tiveram pontuação baixa, refletindo o uso pontual e contextual do sistema após a experiência virtual. A Figura V.20 ilustra a comparação dos resultados de Qualidade de Experiência entre os ambientes controlado e não controlado, permitindo visualizar as diferenças perceptivas nos dois contextos de uso. De forma complementar, a Figura V.21 apresenta a comparação dos SUS, destacando de maneira evidente as variações na percepção de usabilidade entre os diferentes cenários experimentais.

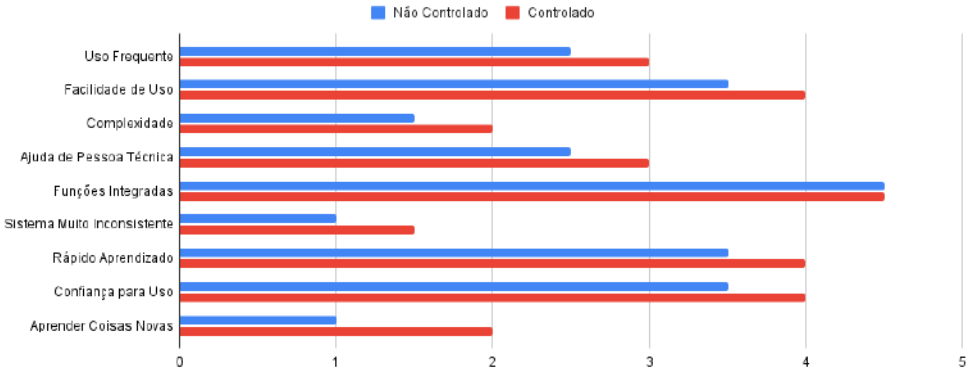


Figura V.20: Qualidade de Experiência nos Ambientes Controlado e Não Controlado.

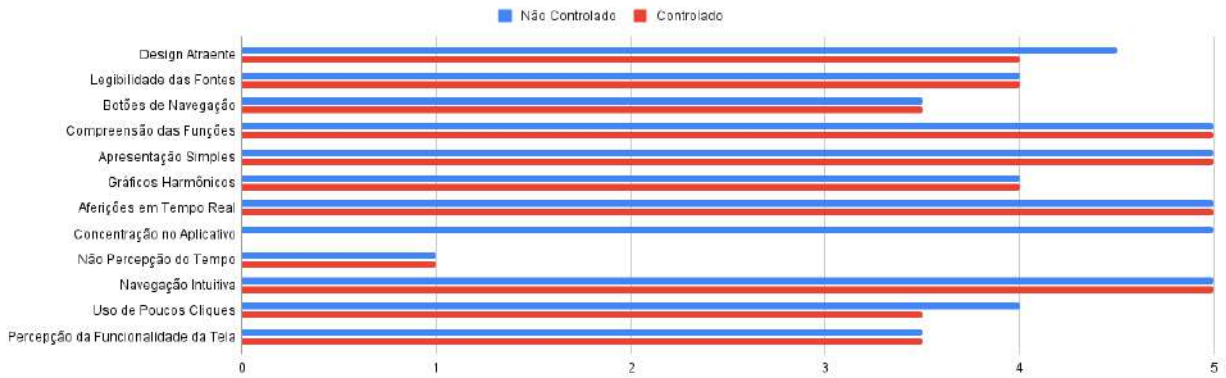


Figura V.21: Avaliação SUS nos Ambientes Controlado e Não Controlado.

Em síntese, cada ambiente ofereceu contribuições únicas e complementares para a avaliação do COSMOS. O não controlado demonstrou a viabilidade prática e a resistência do sistema para operar de forma contínua e autônoma no dia a dia dos usuários. O controlado, por sua vez, comprovou a precisão e a sensibilidade dos sensores para capturar respostas fisiológicas agudas e correlacioná-las diretamente com estímulos emocionais definidos. Juntos, eles validam o COSMOS como uma plataforma versátil e robusta, adequada tanto para o monitoramento passivo de longo prazo quanto

para a investigação aprofundada de respostas fisiológicas em contextos experimentais específicos.

V.3.2 Dados Consolidados

Com base na análise consolidada dos dados obtidos nos experimentos realizados em ambos os ambientes, foi possível observar que o sistema COSMOS demonstra consistência e confiabilidade na captura de sinais fisiológicos, independentemente do contexto de utilização. No ambiente não controlado, os dados exibiram padrões de baixa variabilidade, condizentes com situações cotidianas de menor excitação emocional, enquanto no ambiente controlado, os estímulos de realidade virtual provocaram respostas fisiológicas intensas e bem definidas, com picos sincronizados nos sinais de GSR, ECG e BPM. Essa complementaridade entre os ambientes reforça a capacidade do sistema de operar de forma eficaz tanto em condições reais quanto em cenários experimentais padronizados, validando sua aplicabilidade em diferentes contextos de monitoramento.

Uma das principais descobertas consolidadas refere-se à sequência temporal das respostas fisiológicas durante a exposição a estímulos emocionais intensos, observada de forma clara no ambiente controlado. Verificou-se que o GSR é o primeiro sinal a apresentar alterações, indicando uma resposta antecipatória do sistema nervoso autônomo, seguido pelo ECG, que registra aumento imediato na atividade elétrica do coração, e finalmente pelo BPM, que exibe uma resposta mais tardia, porém sustentada. Essa sequência destaca a interdependência entre os sistemas fisiológicos e a importância da análise integrada dos sinais para uma compreensão abrangente do estado emocional e cardiovascular dos usuários.

Além disso, os resultados consolidados confirmaram a alta precisão dos sensores na aferição de frequência cardíaca e saturação de oxigênio em condições não controladas, com taxas de assertividade superiores a 95% na maioria das medições. A estabilidade do sensor de SpO2, que manteve valores entre 97% e 99% com alta precisão, contrastou com a maior variabilidade do BPM, reforçando a importância de considerar as particularidades de cada sinal vital na interpretação dos dados.

Do ponto de vista da experiência do usuário, a consolidação das avaliações de usabilidade e qualidade de experiência revelou que o COSMOS foi percebido como um sistema intuitivo, funcional e visualmente atraente em ambos os ambientes, com pontuações SUS consideradas boas (72,5 no não controlado e 76 no controlado). A usabilidade manteve-se elevada mesmo com a diversidade de contextos, embora aspectos como concentração e percepção de tempo tenham variado conforme a natureza da interação, refletindo a adaptabilidade do sistema a diferentes cenários de uso.

Em síntese, a análise consolidada dos dados demonstra que o COSMOS é uma plataforma robusta e versátil, capaz de fornecer medições precisas e consistentes de múltiplos parâmetros fisiológicos, além de oferecer uma experiência de usuário satisfatória. A correlação entre sinais físicos e emocionais, observada no ambiente controlado, abre caminho para aplicações inovadoras em monito-

ramento contínuo de saúde, prevenção de condições médicas e intervenções baseadas em biofeedback, posicionando o sistema como uma ferramenta promissora para a integração entre tecnologia e cuidado em saúde.

V.3.3 Perspectivas e Implicações

Os resultados consolidados dos experimentos trazem implicações significativas para o futuro do monitoramento de saúde, posicionando o COSMOS não apenas como uma ferramenta de avaliação, mas como uma plataforma potencial para intervenções personalizadas e em tempo real. A capacidade do sistema de capturar, integrar e correlacionar sinais fisiológicos discretos — como a resposta antecipatória do GSR, a atividade elétrica cardíaca do ECG e a resposta tardia do BPM abre caminho para o desenvolvimento de sistemas preditivos de saúde. Estes poderiam, por exemplo, alertar usuários sobre picos de estresse ou ansiedade antes que se tornem clinicamente significativos, ou detectar padrões anômalos na atividade cardíaca que demandem investigação médica. A aplicação do COSMOS em terapias de biofeedback representa outra frente promissora, onde os indivíduos poderiam aprender a autorregular suas respostas fisiológicas mediante o retorno imediato fornecido pelos sensores.

As perspectivas futuras também envolvem a ampliação da atuação do COSMOS para além do ambiente de pesquisa, integrando-o a ecossistemas de saúde digital e telemedicina. A robustez demonstrada em ambiente não controlado indica sua viabilidade para monitoramento remoto de pacientes (RM), permitindo o acompanhamento contínuo de indivíduos com condições crônicas, idosos em situação de vulnerabilidade ou mesmo no pós-operatório. Em um contexto de saúde populacional, a agregação anônima dos dados coletados poderia contribuir para a identificação de padrões de saúde pública, orientando políticas preventivas com base em evidências concretas sobre o bem-estar físico e emocional da comunidade.

Por fim, os achados desta pesquisa servem como base para iterações futuras do próprio sistema. Questões identificadas, como a sensibilidade do sensor de ECG à postura do usuário e a variabilidade na percepção de usabilidade entre contextos, apontam para direções claras de aprimoramento. A miniaturização do DMSF, a exploração de novos sensores (como termografia ou EMG) e o desenvolvimento de algoritmos de inteligência artificial para análise automatizada e contextualizada dos dados são passos naturais para transformar o COSMOS em uma tecnologia ubíqua e verdadeiramente transformadora na promoção da saúde e na melhoria da qualidade de vida.

Capítulo VI Considerações Finais

O presente trabalho propôs o desenvolvimento e a validação do COSMOS, um sistema integrado de monitoramento remoto de saúde. A plataforma foi concebida para atender às demandas da Atenção Primária com Telemonitoramento (APT), oferecendo uma solução tecnológica que permite o acompanhamento contínuo e em tempo real de pacientes em ambiente domiciliar. Ao integrar um dispositivo de aquisição de dados, interfaces para usuários e um servidor central, o sistema visa superar as limitações das consultas tradicionais, proporcionando um fluxo constante de informações clínicas que habilitam a tomada de decisão médica mais ágil e personalizada.

A arquitetura do COSMOS é composta por quatro componentes principais que atuam de forma sinérgica. O Dispositivo de Monitoramento de Sinais Fisiológicos (DMSF) é responsável pela captura dos dados vitais do paciente. Essas informações são então transmitidas para um Servidor baseado em Firebase, que atua como o núcleo central para armazenamento e processamento dos dados. Por fim, as interfaces COSMOS Admin (web) e COSMOS App (mobile) disponibilizam os dados de forma segura e acessível, respectivamente, para profissionais de saúde, que podem visualizar e gerenciar o estado de seus pacientes, e para os próprios pacientes, permitindo-lhes interagir com o sistema e ter acesso a informações sobre sua saúde.

A seção de Considerações Finais organiza-se em subseções que consolidam o encerramento do trabalho. Primeiramente, Contribuições e Resultados Obtidos (subseção VI.0.1) sintetiza de forma clara as principais conquistas e resultados do projeto, destacando o seu valor acrescentado e como estes respondem diretamente aos objetivos delineados no início da pesquisa. Na sequência, Limitações e Desafios (subseção VI.0.2) aborda de modo crítico as restrições e obstáculos enfrentados durante o desenvolvimento e a validação do sistema, promovendo uma reflexão transparente sobre fatores que podem ter condicionado o seu alcance ou desempenho. A subseção Perspectivas Futuras (subseção VI.0.3) avança propostas concretas para a continuação da investigação, delineando possíveis caminhos para melhorias técnicas, funcionalidades adicionais e estudos de implementação que possam potencializar a eficácia e a adoção do COSMOS em contextos reais. Por fim, a subseção final, intitulada Considerações Finais (subseção VI.0.4), serve como epílogo, oferecendo uma reflexão global e conclusiva que reitera a importância do sistema desenvolvido e o seu potencial impacto no domínio da telemedicina.

VI.0.1 Contribuições e Resultados Obtidos

Os resultados apontam que o COSMOS é uma solução tecnologicamente viável e clinicamente relevante para o monitoramento remoto de sinais vitais e respostas emocionais, validado através de experimentos realizados tanto em ambiente não controlado quanto controlado. Os testes confirmaram a precisão dos sensores, a usabilidade das interfaces e a robustez da integração entre todos os subsistemas, cumprindo assim os objetivos principais do projeto. Estes resultados atestam não apenas o funcionamento técnico do sistema, mas também sua aplicabilidade prática em cenários reais de telemonitoramento.

Em relação ao desempenho técnico, os sensores apresentaram alta confiabilidade nas medições. O sensor MAX30100 alcançou alta assertividade na aferição de BPM, superior a 95% na maioria dos casos, e valores consistentes de SpO2, entre 97% e 99%. O sensor AD8232 mostrou-se eficaz na captura de sinais de eletrocardiograma (ECG), particularmente quando os utilizadores estavam em posição reclinada até 45 graus. Adicionalmente, o sensor da condutividade galvânica da pele (GSR) permitiu detetar variações emocionais, como ansiedade, felicidade e estresse, com base na condutância cutânea.

A integração multimodal dos dados provou ser uma das contribuições mais significativas, permitindo uma análise conjunta do estado físico e emocional dos utilizadores. Em ambiente controlado, foi possível observar uma sequência temporal clara nas respostas fisiológicas: o GSR registou a resposta mais imediata (antecipatória), seguido pelo ECG, que refletiu a atividade elétrica cardíaca, e, por fim, pelo BPM, que manifestou uma resposta tardia. Esta correlação temporal entre sinais oferece um potencial significativo para uma avaliação mais completa do bem-estar do paciente.

A usabilidade do sistema foi outro ponto forte, com pontuações positivas na Escala de Usabilidade do Sistema (SUS): 72,5 em ambiente domiciliar e 76 em ambiente controlado. Os participantes destacaram a facilidade de uso, a intuitividade da interface e a utilidade do monitoramento em tempo real. Estes aspetos, combinados com a precisão técnica, sustentam a aplicabilidade do COSMOS em Atenção Primária com Telemonitoramento (APT), viabilizando o acompanhamento contínuo de populações vulneráveis, como pacientes crônicos, idosos ou em pós-operatório, e facilitando a detenção precoce de complicações.

VI.0.2 Limitações e Desafios

Apesar dos resultados promissores, o desenvolvimento e a validação do sistema COSMOS enfrentaram limitações significativas que devem ser reconhecidas. A variabilidade individual entre os participantes emergiu como um desafio central, uma vez que diferenças anatômicas, condições de saúde pré-existentes e distintos níveis de familiaridade com tecnologia impactaram diretamente tanto a adesão ao protocolo de monitoramento quanto a consistência das medições obtidas. Esta

heterogeneidade, embora representativa de uma população real, introduziu ruído nos dados e exigiu a implementação de ajustes personalizados durante os testes.

Outra limitação técnica crítica esteve relacionada com o posicionamento dos sensores, particularmente do eletrocardiograma (ECG). O sensor AD8232 mostrou-se sensível à postura do utilizador, com a qualidade do sinal a degradar-se significativamente em posições não reclinadas. Este facto exigiu a definição de orientações específicas para a colocação dos elétrodos e restringiu a liberdade de movimento durante a monitorização contínua, podendo afetar a experiência do utilizador em contextos domiciliares não supervisionados. Adicionalmente, a natureza intrusiva de alguns sensores, como a banda torácica para ECG, foi mencionada por alguns participantes como um fator de desconforto durante a utilização prolongada.

A generalização dos resultados foi também condicionada pelo tamanho e pelo contexto da amostra estudada. Embora diversa, a amostra total de 53 participantes (10 em ambiente não controlado e 43 em controlado) é considerada limitada para extrapolações amplas, sendo necessários estudos de maior escala para consolidar a validade estatística das conclusões. Paralelamente, a interpretação dos dados da condutividade galvânica da pele (GSR) mostrou-se complexa, pois as respostas fisiológicas registadas podiam ser influenciadas por uma multiplicidade de fatores além do estado emocional intencionalmente induzido, como temperatura ambiente, umidade ou movimentos involuntários, requerendo, portanto, uma análise contextual cuidadosa para evitar falsas correlações.

VI.0.3 Perspectivas Futuras

O COSMOS abre caminho para diversas linhas de pesquisa e desenvolvimento futuro:

- **Expansão da Amostra:** Incluir mais participantes de diferentes faixas etárias, condições clínicas e contextos socioeconômicos.
- **Novos Sensores:** Incorporar sensores adicionais, como termografia, eletromiográfico ou bioimpedância, para ampliar o escopo de monitoramento.
- **Algoritmos de IA:** Desenvolver modelos preditivos baseados em aprendizado de máquina para detecção automática de anomalias e padrões de saúde.
- **Integração com Sistemas de Saúde:** Conectar o COSMOS a prontuários eletrônicos e plataformas de telemedicina já existentes.
- **Miniaturização:** Reduzir o tamanho do DMSF e melhorar seu design para uso contínuo e discreto.

VI.0.4 Encerramento

O COSMOS representa um avanço significativo na área de monitoramento remoto de saúde, combinando tecnologia acessível, interface amigável e capacidade de integração de múltiplos sinais fisiológicos. Os resultados obtidos confirmam sua viabilidade técnica e utilidade prática, posicionando-o como uma ferramenta promissora para o futuro da saúde digital, especialmente em contextos de atenção domiciliar e telemedicina.

Além de contribuir para o campo da Computação em Saúde, este trabalho está alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) e o ODS 10 (Redução das Desigualdades). A integração de múltiplos sensores em um único sistema permite maior abrangência e eficiência na coleta de dados, promovendo a equidade no acesso a tecnologias de monitoramento.

Apesar dos avanços apresentados, é importante reconhecer as limitações do estudo, como a necessidade de validação em populações mais amplas e a adaptação do sistema a diferentes contextos clínicos. A análise crítica desses aspectos fornece direcionamentos para futuras melhorias, como aprimoramento da interface, otimização do processamento de dados e integração com prontuários eletrônicos.

Por fim, espera-se que o COSMOS inspire novas pesquisas e aplicações inovadoras, contribuindo para uma medicina mais preventiva, personalizada e acessível a todos. A continuidade do desenvolvimento tecnológico e da colaboração interdisciplinar pode transformar significativamente a forma como os cuidados de saúde são oferecidos, consolidando o COSMOS como uma referência em soluções digitais para monitoramento remoto.

Referências

Alizadeh Meghrazi, M., Tian, Y., Mahnam, A., Bhattachan, P., Eskandarian, L., Taghizadeh Kakhki, S., Popovic, M. R., and Lankarany, M. Multichannel ecg recording from waist using textile sensors. *BioMedical Engineering OnLine*, 19(1):1–18, 2020.

Andreassi, J. Psychophysiology: Human behavior and physiological response; lawrence erlabaum associates. *Inc.: Mahwah, NJ, USA*, 2000.

Aqajari, S. A. H., Cao, R., Kasaeyan Naeini, E., Calderon, M.-D., Zheng, K., Dutt, N., Liljeberg, P., Salanterä, S., Nelson, A. M., and Rahmani, A. M. Pain assessment tool with electrodermal activity for postoperative patients: method validation study. *JMIR mHealth and uHealth*, 9(5):e25258, 2021.

Arslan, R. B. and Candan, Ç. A wearable system implementation for the internet of medical things (iomt). In *2022 44th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, pages 2447–2450. IEEE, 2022.

Ashfaq, Z., Mumtaz, R., Rafay, A., Zaidi, S. M. H., Saleem, H., Mumtaz, S., Shahid, A., Poorter, E. D., and Moerman, I. Embedded ai-based digi-healthcare. *Applied Sciences*, 12(1):519, 2022.

Azim, S., Soubache, I., Annapurna, B., Prasad, S., Sujatha, C. K., and Singh, R. K. Portable stress measurement and analysis system (psmas): The correlation of body and mind analysis using gsr sensor. In *Emerging Electronics and Automation: Select Proceedings of E2A 2021*, pages 139–147. Springer, 2022.

Azzawi, M. A., Hassan, R., and Bakar, K. A. A. A review on internet of things (iot) in healthcare. *International Journal of Applied Engineering Research*, 11(20):10216–10221, 2016.

Badgujar, K. C., Badgujar, A. B., Dhangar, D. V., and Badgujar, V. C. Importance and use of pulse oximeter in covid-19 pandemic: general factors affecting the sensitivity of pulse oximeter. *Indian Chemical Engineer*, 62(4):374–384, 2020.

Barbosa, I. d. A. and Silva, M. J. P. d. Cuidado de enfermagem por telessaúde: qual a influência da distância na comunicação? *Revista Brasileira de Enfermagem*, 70:928–934, 2017.

Bitterman, N. Design of medical devices—a home perspective. *European journal of internal medicine*, 22(1):39–42, 2011.

Blackstock, F. C. and Roberts, N. J. Using telemedicine to provide education for the symptomatic patient with chronic respiratory disease. *Life*, 11(12):1317, 2021.

Bokolo, A. J. Application of telemedicine and ehealth technology for clinical services in response to covid-19 pandemic. *Health and technology*, 11(2):359–366, 2021.

Caldeira, N. H., Bertelli, A., Neves, C. V., Silva, L. A. G., Lima, B. R. d. S., and Matsuda, F. H. H. Relato de experiencia: Monitoramento pós alta de pacientes com feridas crônicas atendidos em ambulatório de estomaterapia. In *Congresso Paulista de Estomaterapia*, 2022.

Carvalho, S. T., Murta, L., and Loques, O. Variabilities as first-class elements in product line architectures of homecare systems. In *2012 4th International Workshop on Software Engineering in Health Care (SEHC)*, pages 33–39. IEEE, 2012.

Choong, M. K., Galgani, F., Dunn, A. G., and Tsafnat, G. Automatic evidence retrieval for systematic reviews. *Journal of medical Internet research*, 16(10):e223, 2014.

Chuquimarca, L., Roca, D., Torres, W., Amaya, L., Orozco, J., and Sánchez, D. Development of a mobile iot device for supervision and alert bpm problems. In *Information and Knowledge in Internet of Things*, pages 311–329. Springer, 2021.

Cruz, M. G. C., de Miranda Cavalcanti, L. A., D'Albuquerque, A. C., Vasconcelos, M. M., and de Carvalho Reis, R. Vantagens e entraves do uso da telemedicina no acompanhamento de pacientes com insuficiência cardíaca. *Research, Society and Development*, 10(9):e0410917708–e0410917708, 2021.

Darshan, K. and Anandakumar, K. A comprehensive review on usage of internet of things (iot) in healthcare system. In *2015 International Conference on Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology (ICERECT)*, pages 132–136. IEEE, 2015.

De Vito, L., Picariello, E., Picariello, F., Rapuano, S., and Tudosa, I. A prototype of a wearable health device for mobile telemonitoring applications. In *2022 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*, pages 1–6. IEEE, 2022.

El-Hajj, C. and Kyriacou, P. A. A review of machine learning techniques in photoplethysmography for the non-invasive cuff-less measurement of blood pressure. *Biomedical Signal Processing and Control*, 58:101870, 2020.

El-Saleh, A. A., Sheikh, A. M., Albreem, M. A., and Honnurvali, M. S. The internet of medical things (iomt): opportunities and challenges. *Wireless networks*, 31(1):327–344, 2025.

Faruque, L. I., Wiebe, N., Ehteshami-Afshar, A., Liu, Y., Dianati-Maleki, N., Hemmelgarn, B. R., Manns, B. J., and Tonelli, M. Effect of telemedicine on glycated hemoglobin in diabetes: a systematic review and meta-analysis of randomized trials. *Cmaj*, 189(9):E341–E364, 2017.

Fernandes, Maria das Graças Melo e Fragoso, K. M. Atendimento domiciliário ao idoso na atenção primária à saúde. *Revista de APS*, 8(2):173–180, 2005.

França, I. F., Pereira, A. E., Silva, M. M., Cordeiro, B. M., Junior, I. G. S., and Bulcao-Neto, R. F. Saso: Sistema de apoio à saúde ocupacional. In *Anais da VIII Escola Regional de Computação Aplicada à Saúde*, pages 82–85. SBC, 2021.

Gonçalves, C. R., Cruz, M. T. d., Oliveira, M. P., Morais, A. J. D., Moreira, K. S., Rodrigues, C. A. Q., and Leite, M. T. d. S. Recursos humanos: fator crítico para as redes de atenção à saúde. *Saúde em Debate*, 38:26–34, 2014.

Greiwe, J. and Nyenhuis, S. M. Wearable technology and how this can be implemented into clinical practice. *Current allergy and asthma reports*, 20:1–10, 2020.

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., and Palaniswami, M. Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7):1645–1660, 2013.

Guzman-Sandoval, V. M., Gaytan-Lugo, L. S., and Santana-Mancilla, P. C. I-care: An iomt remote monitoring system of physiological pain in pediatric patients. In *2021 Mexican International Conference on Computer Science (ENC)*, pages 1–4. IEEE, 2021.

Haghi, M., Thurow, K., and Stoll, R. Wearable devices in medical internet of things: scientific research and commercially available devices. *Healthcare informatics research*, 23(1):4–15, 2017.

Inglis, S. C., Clark, R. A., Dierckx, R., Prieto-Merino, D., and Cleland, J. G. Structured telephone support or non-invasive telemonitoring for patients with heart failure. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (10), 2015.

Iqbal, S. M., Mahgoub, I., Du, E., Leavitt, M. A., and Asghar, W. Advances in healthcare wearable devices. *NPJ Flexible Electronics*, 5(1):9, 2021.

Júnior, F. A. A. D. C., Galvao, R. F., and de Assis Brito Filho, F. Sistema para monitoramento nao-invasivo da frequência cardıaca e oximetria de pulso por fotopletismografia. *Anais do Encontro de Computação do Oeste Potiguar ECOP/UFERSA (ISSN 2526-7574)*, (5), 2021.

Koch, S. Home telehealth—current state and future trends. *International journal of medical informatics*, 75(8):565–576, 2006.

Leff, B., Weston, C. M., Garrigues, S., Patel, K., Ritchie, C., Care, N. H.-B. P., and Network, P. C. Home-based primary care practices in the united states: current state and quality improvement approaches. *Journal of the American Geriatrics Society*, 63(5):963–969, 2015.

Leite, F. B. M. Telessaúde: estudo de custos na secretaria de saúde de pernambuco. Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco, 2020.

Leite, M. Y. F. Estudo de técnicas de detecção do complexo qrs na onda do eletrocardiograma (ecg), 2023.

Lizano-Díez, I., Amaral-Rohter, S., Pérez-Carbonell, L., and Aceituno, S. Impact of home care services on patient and economic outcomes: a targeted review. *Home Health Care Management & Practice*, 34(2):148–162, 2022.

Loques, O. and Sztajnberg, A. Adaptation issues in software architectures of remote health care systems. In *Proceedings of the 2010 ICSE Workshop on Software Engineering in Health Care*, pages 24–28, 2010.

Massaroni, C., Venanzi, C., Silvatti, A. P., Lo Presti, D., Saccomandi, P., Formica, D., Giurazza, F., Caponero, M. A., and Schena, E. Smart textile for respiratory monitoring and thoraco-abdominal motion pattern evaluation. *Journal of biophotonics*, 11(5):e201700263, 2018.

McGrath, M. J. and Scanaill, C. N. *Sensor technologies: Healthcare, wellness, and environmental applications*. Springer Nature, 2013.

Mendes, E. V. et al. O cuidado das condições crônicas na atenção primária à saúde: o imperativo da consolidação da estratégia da saúde da família, 2012.

Mohamed, W. and Abdellatif, M. M. Telemedicine: An iot application for healthcare systems. In *Proceedings of the 8th International Conference on Software and Information Engineering*, pages 173–177, 2019.

Montagu, J. and Coles, E. M. Mechanism and measurement of the galvanic skin response. *Psychological Bulletin*, 65(5):261, 1966.

Mukhopadhyay, S. C. Wearable sensors for human activity monitoring: A review. *IEEE sensors journal*, 15(3):1321–1330, 2014.

Naranjo-Hernández, D., Talaminos-Barroso, A., Reina-Tosina, J., Roa, L. M., Barbarov-Rostan, G., Cejudo-Ramos, P., Márquez-Martín, E., and Ortega-Ruiz, F. Smart vest for respiratory rate monitoring of copd patients based on non-contact capacitive sensing. *Sensors*, 18(7):2144, 2018.

Ngandu, N. K., Mmotsa, T. M., Dassaye, R., Thabetha, A., Odendaal, W., Langdown, N., and Ndwandwe, D. Hospital acquired covid-19 infections amongst patients before the rollout of covid-19 vaccinations, a scoping review. *BMC infectious diseases*, 22(1):140, 2022.

North, S. Telemedicine in the time of covid and beyond. *Journal of Adolescent Health*, 67(2):145–146, 2020.

Oliveira, D. L. M. Telemedicina no brasil: ameaças à proteção de dados pessoais em decorrência da flexibilização da pandemia e da regulamentação precária. *Revista de Direito Sanitário*, 22(2):e0011–e0011, 2022.

Orwat, C., Graefe, A., and Faulwasser, T. Towards pervasive computing in health care–a literature review. *BMC medical informatics and decision making*, 8(1):1–18, 2008.

Paula, A. d. C., Maldonado, J. M. S. d. V., and Gadelha, C. A. G. Telemonitoramento e a dinâmica empresarial em saúde: desafios e oportunidades para o sus. *Revista de Saúde pública*, 54, 2020.

Perez, M. V., Mahaffey, K. W., Hedlin, H., Rumsfeld, J. S., Garcia, A., Ferris, T., Balasubramanian, V., Russo, A. M., Rajmane, A., Cheung, L., et al. Large-scale assessment of a smartwatch to identify atrial fibrillation. *New England Journal of Medicine*, 381(20):1909–1917, 2019.

Portugal, G., Rios, A., Mauro, R., Júnior, F. P., Schocair, C. O., Gualberto, P. H., Brandão, D., and Guedes, G. Aasi: Sensor activation algorithm with interaction for low-cost microcontrollers. In *2023 18th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, pages 1–6. IEEE, 2023.

Pötter, H. and Sztajnberg, A. Arquitetura de software de um sistema de telemonitoramento de pacientes idosos. In *Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde (SBCAS)*, pages 1296–1305. SBC, 2014.

Russell, J. A. A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology*, 39(6):1161, 1980.

Saad, W. H. B. M., Zainudin, M. N. S., Ibrahim, M. B. M., Radzi, S. A., and Razak, M. S. J. B. A. Prototype development of iot-based blood glucose level (bgl) monitoring system using galvanic skin response (gsr) sensor. *Telematique*, 22(01):1877–1889, 2023.

Sahoo, R. K., Prusty, A. R., Rout, A., Das, B., and Sethi, P. Mental stress detection using gsr sensor data with filtering methods. In *Intelligent Systems: Proceedings of ICMIB 2021*, pages 537–548. Springer, 2022.

Scanaill, C. N., Carew, S., Barralon, P., Noury, N., Lyons, D., and Lyons, G. M. A review of approaches to mobility telemonitoring of the elderly in their living environment. *Annals of biomedical engineering*, 34:547–563, 2006.

Schönle, P. C. *A Power Efficient Spectrophotometry PPG Integrated Circuit for Mobile Medical Instruments*. ETH Zürich, 2017.

Sellera, P. E. G., Pedebos, L. A., Harzheim, E., Medeiros, O. L. d., Ramos, L. G., Martins, C., and D'Avila, O. P. Monitoramento e avaliação dos atributos da atenção primária à saúde em nível nacional: novos desafios. *Ciência & Saúde Coletiva*, 25:1401–1412, 2020.

Shaji, S., Pathinarupothi, R. K., Rangan, E. S., Menon, K. U., and Ramesh, M. V. Heart lung health monitor: Remote at-home patient surveillance for pandemic management. In *2021 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, pages 127–130. IEEE, 2021.

Shneiderman, B., Plaisant, C., Cohen, M. S., Jacobs, S., Elmqvist, N., and Diakopoulos, N. *Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction*. Pearson, 2016.

Someya, T. and Amagai, M. Toward a new generation of smart skins. *Nature biotechnology*, 37(4):382–388, 2019.

Souza, I. E. d. Classificação de sinais fisiológicos para inferência do estado emocional de usuários, 2019.

Taherdoost, H. Wearable healthcare and continuous vital sign monitoring with iot integration. *Computers, Materials & Continua*, 81(1), 2024.

Thaler, M. S. *ECG Essencial - Eletrocardiograma na Prática Diária*. Artmed, 2013.

Villarejo, M. V., Zapirain, B. G., and Zorrilla, A. M. A stress sensor based on galvanic skin response (gsr) controlled by zigbee. *Sensors*, 12(5):6075–6101, 2012.

Widmer, R. J., Collins, N. M., Collins, C. S., West, C. P., Lerman, L. O., and Lerman, A. Digital health interventions for the prevention of cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis. In *Mayo Clinic Proceedings*, volume 90, pages 469–480. Elsevier, 2015.

Yamamoto, T. T. I., Bandiera-Paiva, P., and Ito, M. Avaliação da usabilidade de interface gráfica de dois sistemas de gestão hospitalar. *Journal of Health Informatics*, 7(2), 2015.

Yu, W., Liang, F., He, X., Hatcher, W. G., Lu, C., Lin, J., and Yang, X. A survey on the edge computing for the internet of things. *IEEE access*, 6:6900–6919, 2017.