

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA COMPUTAÇÃO

Conf-eHealth: Uma Arquitetura para o Desenvolvimento de
Aplicações eHealth com Confiabilidade

Breno de Oliveira Renó

Itajubá, Dezembro de 2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA COMPUTAÇÃO

Breno de Oliveira Renó

Conf-eHealth: Uma Arquitetura para o Desenvolvimento de
Aplicações eHealth com Confiabilidade

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia da Computação como parte dos requisitos
para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia
da Computação.

Área de Concentração: Sistemas de Computação

Orientador: Prof. Dr. Edvard Martins de Oliveira

Dezembro de 2023

Itajubá - MG

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a minha família que esteve presente durante toda a minha trajetória, especialmente aos meus pais que sempre trabalharam duro para que eu pudesse estudar e seguir meus sonhos.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Edvard Martins de Oliveira, pelo auxílio no desenvolvimento do trabalho, todas as correções e conversas, mesmo que remotamente, foram de grande ajuda durante o processo.

Agradeço aos professores e colegas que fizeram parte da caminhada no programa, especialmente ao colega Rodrigo Maia que fez parte da idealização da primeira versão da arquitetura que posteriormente foi defendida neste trabalho.

Por fim, agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Computação e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais pela oportunidade e auxílio durante o período de estudo.

Hoje, você triunfará sobre o que foi ontem; amanhã, triunfará sobre os menos preparados; depois, sobre os mais competentes.

Miyamoto Musashi

Resumo

Este trabalho apresenta a arquitetura Conf-eHealth, que tem como objetivo ser um modelo de referência para o desenvolvimento de aplicações *eHealth* com confiabilidade. A arquitetura se faz relevante em função das necessidades de confiabilidade das tecnologias relacionadas ao monitoramento de pacientes. Inicialmente foi realizada uma revisão sistemática da literatura sobre o estado da arte das aplicações *eHealth* e os principais desafios enfrentados no desenvolvimento destas. Após a revisão da literatura, a proposta da arquitetura de referência é descrita. A concepção das necessidades, atributos de qualidade e a metodologia utilizada para a construção da arquitetura são descritas e posteriormente a arquitetura é apresentada através do conceito de visões arquiteturais.

Com o objetivo de garantir os atributos de qualidade desejados, o trabalho apresenta a avaliação da arquitetura proposta em duas partes. Primeiro uma avaliação arquitetural foi feita com base no *Software Architecture Analysis Method*, resultando em uma compreensão conceitual da capacidade da arquitetura em abranger os atributos de qualidade. Depois, um experimento foi realizado, envolvendo a construção de uma aplicação móvel de acordo com o componente mapeado na arquitetura proposta, explicitando a possibilidade da implementação deste componente utilizando uma base de dados real. Os resultados mostram que o aplicativo é capaz de lidar com os dados recebidos e auxiliar a tomada de decisão com acurácia. Por fim, são apresentadas as conclusões do trabalho, destacando os resultados alcançados, a importância da arquitetura Conf-eHealth para o avanço da área e indicando trabalhos futuros.

Abstract

This work presents the Conf-eHealth architecture, which aims to be a reference model for developing eHealth applications with trustworthiness. The architecture is relevant due to the needs of technologies related to patient monitoring. Initially, a systematic literature review was carried out on the state of the art of eHealth applications and the main challenges faced in their development. After the literature review, the proposed reference architecture is described. The conception of needs, quality attributes and the methodology used to build the architecture are described and subsequently the architecture is presented through the concept of architectural visions.

In order to guarantee the desired quality attributes, the work presents the evaluation of the proposed architecture in two parts. First an architectural evaluation was carried out based on the Software Architecture Analysis Method, resulting in a conceptual understanding of the architecture's ability to encompass quality attributes. Afterwards, an experiment was carried out, involving the construction of a mobile application according to the component mapped in the proposed architecture, explaining the possibility of implementing this component using a real database. The results show that the application is capable of handling the data received and assisting in decision making accurately. Finally, the conclusions of the work are presented, highlighting the results achieved, the importance of the Conf-eHealth architecture for the advancement of the area and indicating future work.

Sumário

Sumário	6
Lista de ilustrações	9
Lista de tabelas	10
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Motivação	12
1.2 Objetivos	14
1.3 Estrutura do Documento	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 Metodologia de Pesquisa	16
2.1.1 Definição das questões de pesquisa	17
2.1.2 Condução da pesquisa	17
2.1.3 Seleção dos artigos	17
2.1.4 Extração de dados e mapeamento	18
2.2 Resultados da Revisão Sistemática	19
2.2.1 ZigBee	20
2.2.2 LoRa	20
2.2.3 5G	21
2.2.4 WiFi	21
2.3 Discussão	22
2.3.1 RQ1: Como funcionam as aplicações que lidam com as informações coletadas dos sistemas <i>eHealth</i> ?	22
2.3.2 RQ2: Quais informações podem ser monitoradas através dessas aplicações?	22
2.3.3 RQ3: Essas aplicações são confiáveis?	24
2.3.4 RQ4: Quão bem um paciente pode ser monitorado com essas aplicações?	24
2.3.5 RQ5: Como o médico é notificado em casos emergenciais?	24
2.3.6 RQ6: Quais são as vantagens e desvantagens dessas aplicações?	26
2.4 Considerações Finais	27
3 PROCESSO ARQUITETURAL	29
3.1 Descrição do Contexto	29
3.2 Requisitos Arquiteturalmente Significativos	31
3.2.1 Análise arquitetural	31
3.3 Processo de Construção da Arquitetura	33

3.3.1	Passo 01: Decisão do tipo de arquitetura de referência	33
3.3.2	Passo 02: Seleção da estratégia de <i>design</i>	34
3.3.3	Passo 03: Aquisição empírica de dados	34
3.3.3.1	Dojot	34
3.3.3.2	FIWARE	36
3.3.3.3	Referências adicionais	37
3.3.4	Passo 04: Construção da arquitetura de referência	38
3.3.5	Passo 05: Permitir variabilidade na arquitetura	38
3.3.6	Passo 06: Avaliar a arquitetura de referência	39
4	MODELAGEM DA ARQUITETURA	40
4.1	Descrição da Arquitetura	40
4.1.1	Visão de contexto	40
4.1.2	Visão de contêiner	41
4.1.3	Visão de implantação	43
4.1.4	Visão de camadas	44
4.2	Rationale	46
5	AVALIAÇÃO ARQUITETURAL	47
5.1	Métodos de Avaliação Arquitetural	47
5.1.1	<i>Software architecture analysis method</i>	48
5.2	Avaliação Realizada	48
5.2.1	Desenvolver cenários	49
5.2.1.1	Descrição dos cenários	50
5.2.2	Descrever arquitetura(s)	52
5.2.3	Classificar/Priorizar cenários	52
5.2.4	Avaliar cenários indiretos individualmente	53
5.2.5	Avaliar interações de cenário	53
5.2.6	Gerar avaliação geral	53
5.3	Resultados da Aplicação do Método	54
5.3.1	Comentários gerais e direções futuras	57
6	EXPERIMENTOS	59
6.1	Plano de Experimento	59
6.1.1	Contexto do experimento	60
6.1.2	Cenários e regras de negócio definidas	60
6.1.3	Algoritmo proposto e base de dados utilizada	62
6.1.4	Especificações técnicas	63
6.2	Execução do Experimento	64
6.3	Discussões	67

7	CONCLUSÃO	69
7.1	Próximos Passos e Direções Futuras	70
7.2	Publicação	70
	REFERÊNCIAS	71
	ANEXOS	76
	ANEXO A – PARECER CONSUBSTANCIADO	77

Lista de ilustrações

Figura 1 – Exemplos de aplicações <i>eHealth</i> presentes na literatura. (A) Arquitetura de monitoramento de pacientes com multi-sensores IoT para COVID-19 (LAVRIC et al., 2022). (B) Esquema geral da plataforma de monitoramento remoto pessoal ou de grupo (CHOI; NOH; SHIN, 2020).	13
Figura 2 – Modelo visual da metodologia de pesquisa adotada.	16
Figura 3 – Mapeamento sistemático realizado.	19
Figura 4 – Artigos encontrados por base de dados.	20
Figura 5 – Artigos publicados por ano.	20
Figura 6 – Exemplos de modelagem presentes na literatura. (A) Arquitetura de um sistema IoT de <i>smart healthcare</i> (LAKSHMI; GHONGE; OBAID, 2021). (B) Arquitetura IoT de três camadas (WU et al., 2021).	22
Figura 7 – Exemplo de apresentação de dados de saúde presentes em (CHEN et al., 2018), (WU; WU; YUCE, 2019b) e (LI et al., 2021).	23
Figura 8 – Exemplo de gerenciamento de notificações emergenciais presente em (BISWAS et al., 2021).	25
Figura 9 – Atributos que compõem a confiabilidade.	29
Figura 10 – Arquitetura de microsserviços Dojot (CPQD REVISION, 2020).	35
Figura 11 – Arquitetura FIWARE (FIWARE FOUNDATION, E.V., 2022).	37
Figura 12 – Visão de contexto da arquitetura.	40
Figura 13 – Visão de contêiner da arquitetura.	42
Figura 14 – Visão de implantação macro.	43
Figura 15 – Visão de implantação micro.	44
Figura 16 – Visão de camadas da arquitetura.	45
Figura 17 – Representação visual do modelo SAAM (PAUL; KAZMAN; KLEIN, 2002).	49
Figura 18 – Modelo de cenário de avaliação.	50
Figura 19 – Gráfico de classificação dos cenários.	54
Figura 20 – Gráfico de priorização dos cenários.	56
Figura 21 – Regras de negócio para frequência cardíaca (BPM).	61
Figura 22 – Algoritmo proposto para o experimento.	62
Figura 23 – Visão geral dos resultados.	64
Figura 24 – Capturas de tela durante a execução do primeiro cenário.	65
Figura 25 – Capturas de tela durante a execução do segundo cenário.	66
Figura 26 – Capturas de tela durante a execução do terceiro cenário.	67

Lista de tabelas

Tabela 1 – Critérios de Inclusão (IC - <i>Inclusion criteria</i>)	18
Tabela 2 – Critérios de Exclusão (EC - <i>Exclusion criteria</i>)	18
Tabela 3 – Cenário de avaliação para Disponibilidade.	50
Tabela 4 – Cenário de avaliação para Interoperabilidade.	51
Tabela 5 – Cenário de avaliação para Eficiência Energética.	51
Tabela 6 – Cenário de avaliação para Acurácia.	51
Tabela 7 – Cenário de avaliação para Segurança.	52
Tabela 8 – Cenário de avaliação para Latência.	52
Tabela 9 – Resultados dos dados coletados.	54
Tabela 10 – Dados do estudo realizado por Tsuji (TSUJI et al., 1996).	60

Glossário

API	<i>Application Programming Interface</i>
ARID	<i>Active Reviews for Intermediate Designs</i>
ATAM	<i>Architecture Tradeoff Analysis Method</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
EC	<i>Exclusion Criteria</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
IC	<i>Inclusion Criteria</i>
IOS	<i>iPhone Operating System</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
RA	<i>Reference Architecture</i>
REST	<i>Representational State Transfer</i>
RQ	<i>Research Question</i>
SAAM	<i>Software Architecture Analysis Method</i>
SLR	<i>Systematic Literature Review</i>

1 Introdução

Uma utilização importante e atual de aplicações IoT (*Internet of Things*) se faz presente na área da saúde. Em uma aplicação *eHealth* os dispositivos IoT são capazes de monitorar os pacientes de maneira remota. Esses dispositivos fazem a transmissão das informações coletadas entre dispositivos e para um cuidador externo (médicos, enfermeiros, familiares ou sistema automatizado). Com os recentes avanços das tecnologias voltadas para a área da saúde consultas médicas podem ser realizadas via telemedicina com bom nível de satisfação de ambas as partes (BOWEN et al., 2021), além disso, acompanhamentos perioperatórios também podem ser realizados com as novas tecnologias desenvolvidas (ROOT et al., 2022).

Por outro lado ainda existem preocupações, os dados coletados de um ambiente *eHealth* são dados sensíveis e necessitam ser precisos e coerentes, para entender as condições de saúde de um indivíduo, além de serem também atuais e claros, para a tomada de decisão em casos emergenciais (KUMARAGE et al., 2016)(KHAN et al., 2022a). Uma das principais limitações destas aplicações é o acesso a informações imprecisas dos pacientes. As aplicações IoT são limitadas e ineficientes em termos de segurança, transmissão e interconectividade (KHAN et al., 2022b).

Apesar das características individuais únicas de cada aplicação *eHealth*, existem pontos em comum na estrutura das aplicações apresentadas pela maioria dos autores, são eles:

- Dispositivos IoT (sensores), que fazem o monitoramento do paciente ou do ambiente ao seu redor. Através desses sensores é possível monitorar pressão sanguínea, nível de açúcar no sangue, temperatura do corpo e do ambiente, batimentos cardíacos, taxa de respiração e entre outras informações importantes;
- Aplicações *web* e *mobile*, que são utilizadas para controlar dispositivos, apresentar dados relativos a saúde do paciente e notificar cuidadores externos em casos emergenciais;
- Servidor em nuvem, amplamente utilizado para armazenar e disponibilizar a grande quantidade de dados gerados neste tipo de aplicação.

1.1 Motivação

Os usuários envolvidos nesses ambientes (pacientes ou cuidadores externos, por exemplo) utilizam aplicações móveis através de um *smartphone* para consultar os dados provenientes desses ambientes de monitoramento ou, em alguns casos, controlar os dispositivos

presentes nos mesmos. Neste contexto, existem também aplicações *web* que realizam tais tarefas.

Na literatura é possível encontrar diversas aplicações deste tipo, porém, é difícil garantir a confiabilidade das mesmas, uma vez que os testes propostos pelos autores dessas aplicações são incompletos e de difícil reprodução. Os autores geralmente apresentam testes ou aplicações práticas de seus sistemas propostos, no entanto, estes geralmente incluem apenas os conceitos fundamentais que os autores relacionam ao seu próprio trabalho, precisão, segurança e eficiência, por exemplo, mas não todos os conceitos que compõem uma aplicação desse tipo.

Isso se qualifica como um problema a ser pesquisado, justamente pelo fato de essas aplicações estarem trabalhando com dados sensíveis e que estão diretamente relacionados à saúde e ao bem-estar dos pacientes. A Figura 1 é composta de dois exemplos de aplicações encontradas na literatura. O primeiro apresenta a arquitetura de um sistema de monitoramento com multi-sensores para o gerenciamento de pacientes com COVID-19. O segundo apresenta o esquema geral de uma plataforma de monitoramento remoto de saúde respiratória e qualidade do sono.

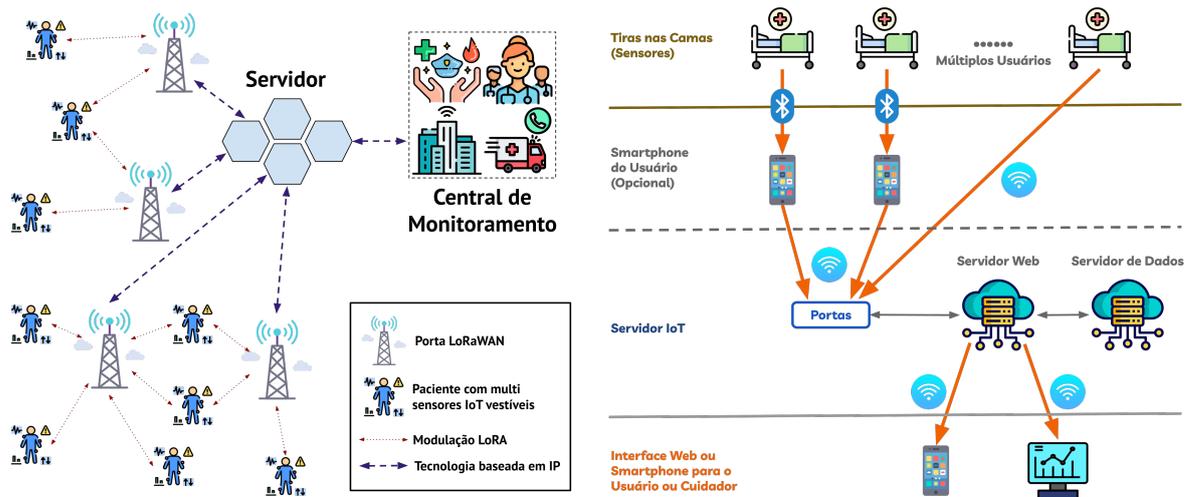


Figura 1 – Exemplos de aplicações *eHealth* presentes na literatura. (A) Arquitetura de monitoramento de pacientes com multi-sensores IoT para COVID-19 (LAVRIC et al., 2022). (B) Esquema geral da plataforma de monitoramento remoto pessoal ou de grupo (CHOI; NOH; SHIN, 2020).

Com base nas informações levantadas, é possível argumentar que essas aplicações são apenas parcialmente confiáveis. Para se tornarem totalmente confiáveis são necessários testes, que vão além dos conceitos definidos pelos autores e que validem essas aplicações através de diferentes pontos de vista. Uma opção para tal se dá por meio de uma arquitetura de *software* que abranja todo o escopo de uma aplicação *eHealth*.

Uma Arquitetura de Referência (RA) define um conjunto de padrões e boas práticas que guiam a construção de arquiteturas futuras e sistemas dentro do domínio de aplicação. Essas arquiteturas capturam a essência de arquiteturas existentes e as necessidades futuras

de evolução, para fornecer orientação e auxiliar no desenvolvimento de novas arquiteturas de sistemas (CLOUTIER et al., 2010). A hipótese deste trabalho é que uma RA adequada pode auxiliar a provisão de confiabilidade para aplicações *eHealth*, além disso ela também pode ser desenvolvida para facilitar o entendimento sobre arquiteturas e direções futuras entre vários produtos, organizações e disciplinas.

1.2 Objetivos

Tendo como base o cenário discutido, este trabalho tem como objetivo geral, propor uma arquitetura de referência para um sistema de saúde (*eHealth/Healthcare*) relacionado ao monitoramento remoto de um paciente e a tomada de decisão sobre a sua saúde, podendo essa ter um caráter emergencial. Para o desenvolvimento da arquitetura os seguintes objetivos específicos são propostos:

1. Realizar uma revisão sistemática de literatura, com intenção de levantar o que existe de mais atual na área, bem como as necessidades e desafios enfrentados pelos pesquisadores;
2. Com base na revisão sistemática de literatura, realizar uma análise arquitetural e desenvolver uma arquitetura de referência que tem como principal objetivo, garantir a confiabilidade dessas aplicações;
3. Avaliar a arquitetura desenvolvida em duas partes. (I) Avaliar a abrangência conceitual da arquitetura através do *Software Architecture Analysis Method* (SAAM). (II) Realizar um experimento de validação de um dos componentes apresentados na arquitetura.

1.3 Estrutura do Documento

Este documento está dividido em sete capítulos, que abrangem o estudo sistemático dos trabalhos disponíveis na área, a proposta da arquitetura, a avaliação do modelo, os experimentos e a conclusão do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta a revisão sistemática de literatura realizada, descrevendo a metodologia de pesquisa adotada, os resultados alcançados e a discussão das questões relevantes da área.

O Capítulo 3 apresenta o processo arquitetural, realizando uma análise do contexto da arquitetura, levantando os requisitos arquiteturalmente significativos e apresentando a metodologia adotada para a construção da arquitetura.

O Capítulo 4 apresenta a arquitetura proposta no trabalho, especificando os detalhes da modelagem através de quatro visões arquiteturais, são elas: visão de contexto, visão de container, visão de implantação e visão de camadas.

O Capítulo 5 apresenta a avaliação arquitetural realizada, descrevendo o método SAAM, sua aplicação e os resultados desse processo em duas turmas de alunos.

O Capítulo 6 apresenta o experimento realizado para o trabalho, mostrando o plano de experimento traçado, as especificações técnicas, a execução do experimento e os resultados obtidos.

Por fim, o Capítulo 7 apresenta as conclusões do trabalho, esclarecendo os principais resultados alcançados e também as aberturas ainda existentes para trabalhos futuros.

2 Fundamentação Teórica

Com o objetivo de entender o que existe de mais atual na literatura da área e de compor o trabalho, uma Revisão Sistemática de Literatura (SLR - *Systematic Literature Review*) foi conduzida. Este capítulo apresenta, passo a passo, a composição do protocolo de pesquisa, as perguntas a serem respondidas e os resultados alcançados.

2.1 Metodologia de Pesquisa

A SLR conduzida teve como objetivo entender o estado-da-arte de aplicações *eHealth*. A metodologia utilizada na pesquisa é baseada em PETERSEN et al. (2008) e desenvolve os seguintes passos: (i) Definição das questões de pesquisa, (ii) Condução da pesquisa, (iii) Seleção de Artigos, e (iv) Extração de dados e mapeamento. A Figura 2 resume a metodologia de pesquisa adotada.

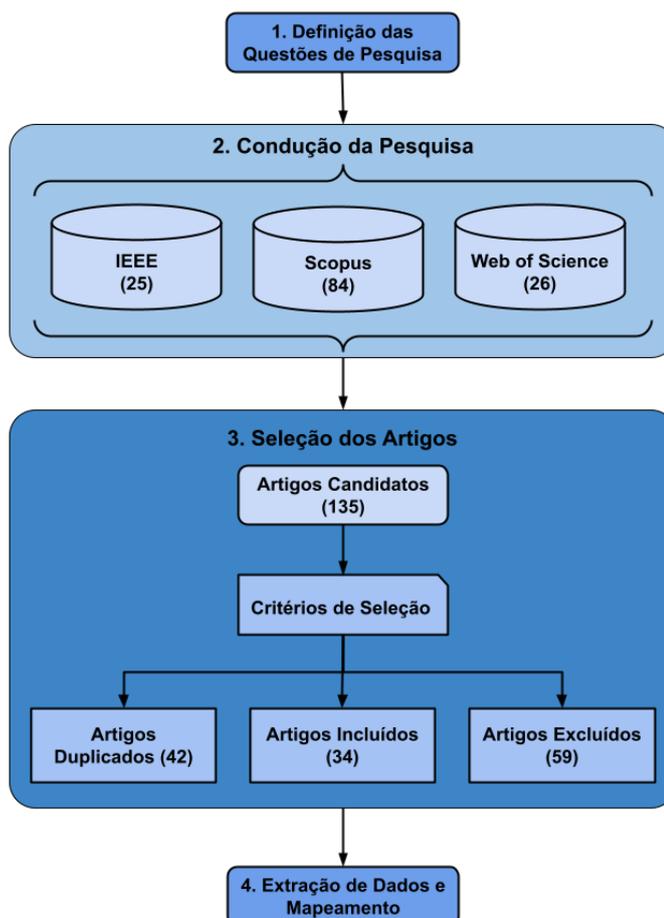


Figura 2 – Modelo visual da metodologia de pesquisa adotada.

2.1.1 Definição das questões de pesquisa

A SLR se inicia com a definição das questões de pesquisa. Essas questões têm como objetivo guiar a pesquisa em busca de trabalhos atuais e relevantes. Baseado no cenário definido no Capítulo 1 as seguintes questões foram definidas para direcionar o trabalho:

1. **RQ1:** Como funcionam as aplicações que lidam com as informações coletadas dos sistemas *eHealth*?
2. **RQ2:** Quais informações podem ser monitoradas através dessas aplicações?
3. **RQ3:** Essas aplicações são confiáveis?
4. **RQ4:** Quão bem um paciente pode ser monitorado com essas aplicações?
5. **RQ5:** Como o médico é notificado em casos emergenciais?
6. **RQ6:** Quais são as vantagens e desvantagens dessas aplicações?

As questões foram definidas de forma a possibilitar a obtenção de uma visão geral do cenário atual dos ambientes *eHealth*, incluindo os aspectos positivos e negativos das aplicações e também as necessidades existentes para trabalhos futuros. Depois da análise dos trabalhos selecionados as questões são respondidas na Seção 2.3.

2.1.2 Condução da pesquisa

O escopo do protocolo de pesquisa é definido com o objetivo de identificar artigos candidatos para a composição da pesquisa. A primeira etapa da pesquisa é estabelecer a *string* de busca. A seleção correta das palavras é de importância crítica para os resultados buscados e para remover falsos positivos. A *string* de busca foi definida de acordo com KEELE et al. (2007) e utilizada para realizar a busca nas bases de dados.

Além das palavras-chave usadas para compor a *string* de busca, foram utilizados filtros na pesquisa de acordo com os critérios de inclusão, como ano de publicação e idioma, por exemplo. As seguintes bases de dados foram consultadas: *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) IEEEExplore digital library*¹, *Elsevier Scopus*² e *ISI Web of Science*³.

2.1.3 Seleção dos artigos

A busca realizada nas bases de dados retornou 135 artigos (IEEE: 25 artigos, Scopus: 84 artigos e Web of Science: 26 artigos). Em seguida, os critérios de inclusão e exclusão descritos nas Tabelas 1 e 2, respectivamente, foram aplicados aos artigos, o que resultou em 34 artigos selecionados para a leitura completa.

¹ <https://ieeexplore.ieee.org/>

² <https://www.elsevier.com/en-us/solutions/scopus>

³ <https://clarivate.com/webofsciencelibrary/>

Tabela 1 – Critérios de Inclusão (IC - *Inclusion criteria*)

Critério	Descrição
IC-01	O artigo deve conter as palavras-chaves pesquisadas.
IC-02	O artigo deve englobar uma aplicação relacionada à <i>eHealth</i> .
IC-03	O artigo deve apresentar o desenvolvimento, aplicação ou modelagem de um sistema <i>eHealth</i> .

Tabela 2 – Critérios de Exclusão (EC - *Exclusion criteria*)

Critério	Descrição
EC-01	Estar em outra língua que não seja inglês.
EC-02	Não ser um artigo.
EC-03	Não conter uma aplicação relacionada à <i>eHealth</i> .
EC-04	Não conter as palavras-chave pesquisadas.
EC-05	Artigos duplicados.

Quando se trata do EC-02 - Não ser um artigo, no contexto da pesquisa, apenas artigos científicos publicados em periódicos indexados pelas bases de busca SCOPUS, IEEE, e Web of Science foram consideradas.

Para além dos artigos científicos publicados em revistas, estas bases de busca também indexam os seguintes tipos de documentos (que não foram considerados no contexto desta pesquisa):

- SCOPUS: Livros, Relatórios Técnicos e Patentes;
- IEEE: Livros, *ebooks* e normas IEEE;
- Web of Science: Revisões, Patentes, Livros e capítulos de livros, Relatórios técnicos, Notícias científicas, Teses e Dissertações.

2.1.4 Extração de dados e mapeamento

Após a seleção dos artigos para a composição do trabalho, a extração de dados teve como objetivo coletar informações relevantes para responder às questões de pesquisa definidas no protocolo da SLR. Após a leitura completa de cada artigo, os seguintes itens-chave foram extraídos:

- Título;
- Ano de publicação;
- Palavras-chave;
- Problema abordado;
- Principais conceitos abordados (segurança, disponibilidade e etc.);
- Principais tecnologias usadas;

- Se a tecnologia foi validada através de testes em laboratório, simulação ou através de aplicações reais.

A Figura 3 mostra o mapeamento sistemático resultante da leitura e extração de dados dos artigos selecionados. O mapeamento sistemático permite entender as principais escolhas de tecnologias *eHealth* baseado nos recursos disponíveis em cada uma, o nível de maturidade e o protocolo de comunicação utilizado.

Principal protocolo usado	Recursos			Maturidade Tecnológica	
	Capaz de monitorar dados do paciente?	Capaz de monitorar dados do ambiente?	Permite notificações de emergência?	Testado em laboratório?	Testado em aplicações reais (indústria)?
ZigBee	[8], [9], [10], [11], [12], [13]	---	[09], [11], [12]	[08], [11], [12]	---
LoRa	[14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]	[15], [16], [17], [19], [20], [22]	[14], [15], [16], [17], [18], [19], [20]	[14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]	[14], [17], [20]
5G	[23], [25], [26]	[25]	---	[23], [24], [25], [26]	[23]
WiFi	[28], [29], [30], [31], [32], [33], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41]	[33], [37]	[29], [33], [37], [38], [40], [41]	[27], [28], [30], [31], [33], [34], [35], [36], [39], [40], [41]	[35]

Figura 3 – Mapeamento sistemático realizado.

2.2 Resultados da Revisão Sistemática

Esta seção discute os principais resultados encontrados após a análise dos artigos selecionados. A Figura 4 apresenta a porcentagem de artigos encontrados em cada uma das bases de dados, enquanto a Figura 5 mostra a quantidade de trabalhos publicados por ano.

O restante desta seção apresenta as principais conclusões retiradas dos artigos analisados, divididos pelo principal protocolo de comunicação utilizado nas aplicações propostas pelos autores.

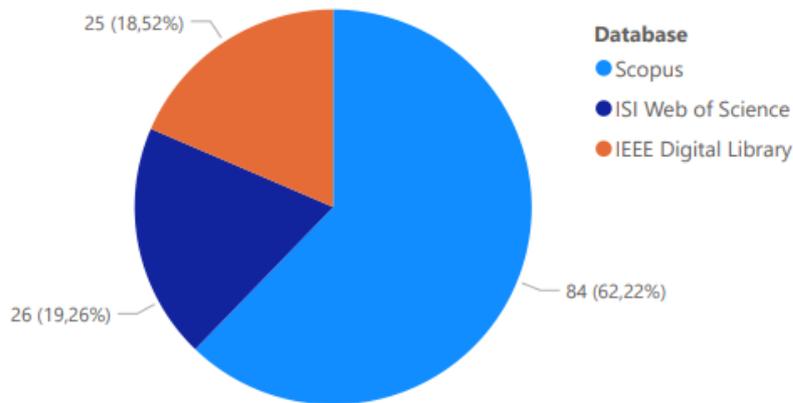


Figura 4 – Artigos encontrados por base de dados.

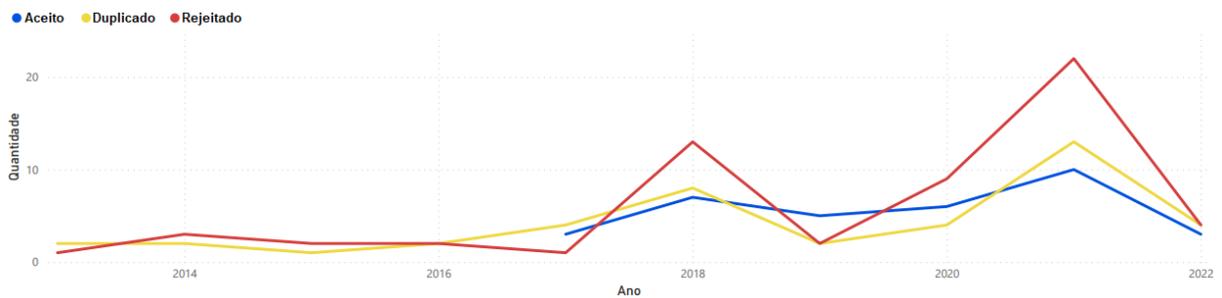


Figura 5 – Artigos publicados por ano.

2.2.1 ZigBee

Os autores dos trabalhos que utilizam o protocolo ZigBee caracterizam o mesmo como um protocolo de transmissão de baixa frequência, adequado para aplicações onde uma rede de sensores pode conter muitos dispositivos, e a eficiência energética é um ponto relevante para a arquitetura do sistema, uma vez que os mesmos podem não ter acesso a uma fonte de energia. Os principais conceitos encontrados nos artigos desta seção são confiabilidade, segurança, precisão dos dados e escalabilidade. Vale ressaltar que os autores optaram pelo protocolo que garante eficiência energética para realizar o monitoramento, mas ainda existem preocupações quanto à manipulação e segurança dos dados gerados. Seis trabalhos que utilizam o protocolo ZigBee foram avaliados, esses trabalhos podem ser encontrados em (PRASAD; CHIPLUNKAR; NAYAK, 2017), (DEVI et al., 2018), (LAKSHMI; GHONGE; OBAID, 2021), (LIU; CUI, 2017), (YI et al., 2018) e (NATARAJA; NATARAJA, 2017).

2.2.2 LoRa

A principal característica apontada pelos autores dos trabalhos sobre o protocolo *Long Range* (LoRa) é a área de cobertura, sem que haja um consumo excessivo de energia.

Nos artigos estudados nesta seção, os termos-chave encontrados são confiabilidade, custo-benefício, independência, segurança e desempenho. O monitoramento remoto do paciente ou do ambiente ainda traz algumas incertezas, uma vez que a eficiência energética de maneira individual não é suficiente para garantir a confiabilidade do sistema. Neste contexto é necessário também uma boa relação entre desempenho e segurança no monitoramento a longa distância. Nove trabalhos que utilizam o protocolo LoRa foram avaliados, esses trabalhos podem ser encontrados em (HUYNH; NGUYEN; TRAN, 2018), (WU; WU; YUCE, 2019b), (WU; WU; YUCE, 2019a), (WU et al., 2021), (KHAREL; REDA; SHIN, 2019), (R et al., 2021), (LAVRIC et al., 2022), (HAN et al., 2020) e (WU et al., 2018).

2.2.3 5G

A tecnologia 5G promete uma alta taxa de transmissão de dados em alta velocidade e com baixa latência. É possível perceber essa característica nos artigos estudados, sendo que os conceitos-chave de suas aplicações são *performance* e tempo de resposta. Porém, é recorrente a preocupação com a eficiência energética dos sistemas por parte dos autores. Quanto maior a velocidade de transmissão e a quantidade de dados transmitidos, maior o custo energético da aplicação, e isso ainda é um problema a ser resolvido. Os autores propõem diferentes estratégias para melhorar a correlação entre transmissão de dados e custo energético, mas ainda há muito a ser explorado nesses trabalhos. Quatro trabalhos que utilizam o 5G foram avaliados, esses trabalhos podem ser encontrados em (CHEN et al., 2018), (WIJETHILAKA et al., 2022), (CHEN, 2021) e (SIGWELE et al., 2018).

2.2.4 WiFi

Uma grande variedade de trabalhos utilizando *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) foi proposta nos artigos, gerando um amplo conjunto de termos-chave. Neste contexto, é possível encontrar confiabilidade, acessibilidade, eficiência, segurança e precisão. Apesar dos avanços significativos da área nos últimos anos, que têm crescido continuamente, diversos obstáculos ainda geram preocupação para os autores e precisam ser superados. Essa pluralidade de preocupações pode ser vista nesta seção, onde os autores propõem diferentes técnicas e aplicações para resolver os respectivos problemas mapeados nos artigos. Quinze trabalhos que utilizam o WiFi foram avaliados, esses trabalhos podem ser encontrados em (FOUAD; KAMEL, 2021), (ADIL et al., 2022), (MIA et al., 2021), (FARO; GIORDANO; VENTICINQUE, 2020), (RAHIMOON; ABDULLAH; TAIB, 2020), (KANSARA; BHOJANI; CHAUHAN, 2018), (BISWAS et al., 2021), (RANA; SHARMA, 2021), (CHOI; NOH; SHIN, 2020), (KULKARNI; SUCHETHA; KUMARAVEL, 2019), (SOOD et al., 2018), (YANG et al., 2020), (LIU et al., 2019), (AL-KHAMMASI; ALI, 2021) e (LI et al., 2021).

Com base nos artigos estudados é possível planejar a discussão dos resultados, respondendo às questões de pesquisa definidas.

2.3 Discussão

Nesta seção são levantadas e discutidas as respostas para as questões de pesquisa definidas na Seção 2.1 com base nas informações adquiridas na revisão dos artigos.

2.3.1 RQ1: Como funcionam as aplicações que lidam com as informações coletadas dos sistemas *eHealth*?

Apesar das características individuais únicas de cada uma das aplicações estudadas, existe uma estrutura padrão seguida pela maioria dos autores. Os ambientes *eHealth* são geralmente compostos por um conjunto de sensores, que monitoram e coletam dados do paciente, servidores em nuvem, que armazenam os dados e aplicativos *web* e/ou *mobile* para controlar, supervisionar ou apresentar os dados. A Figura 6 apresenta dois exemplos de modelagens feitas pelos autores dos sistemas encontrados nos artigos.

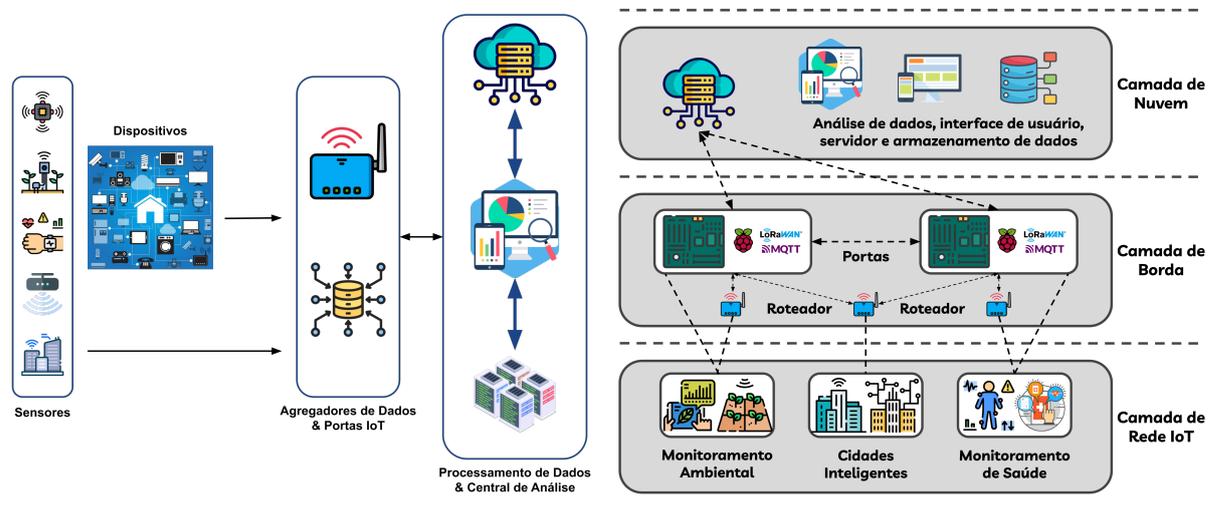


Figura 6 – Exemplos de modelagem presentes na literatura. (A) Arquitetura de um sistema IoT de *smart healthcare* (LAKSHMI; GHONGE; OBAID, 2021). (B) Arquitetura IoT de três camadas (WU et al., 2021).

2.3.2 RQ2: Quais informações podem ser monitoradas através dessas aplicações?

Os sistemas de monitoramento de saúde podem monitorar diferentes dados médicos, como atividade cardíaca por meio de sensores de ECG (eletrocardiograma), nível de glicemia, pulso, pressão arterial, número de passos, batimentos cardíacos, frequência respiratória, temperatura do corpo e do ambiente, entre muitos outros.

Outros exemplos a se considerar são: Em (HAN et al., 2020) os autores usam um método baseado em multi sensores para detectar e entender a postura dos usuários. Em (WU et al., 2018) os autores se concentram em monitorar o ambiente em que o usuário está, fatores como nível de monóxido de carbono, dióxido de carbono e intensidade de raios ultravioleta podem afetar diretamente a saúde das pessoas no ambiente. A frequência

respiratória é o principal fator monitorado para auxiliar no diagnóstico e tratamento da COVID-19 no contexto da pandemia, onde o contato pessoal precisava ser mínimo, conforme apresentado em (LI et al., 2021). Em (NATARAJA; NATARAJA, 2017), os autores propõem uma solução baseada em IoT que pode ser adaptada a um colchão de rotação lateral usado para pacientes acamados, incorporando sensores para reconhecer o desconforto do paciente.

Os sistemas *eHealth* podem apresentar os dados de saúde coletados nos ambientes monitorados de diferentes formas, no entanto, os autores concordam, em maioria, que a melhor estratégia é através de um aplicativo *mobile* ou um aplicativo *web* responsivo, como pode ser visto na Figura 7.

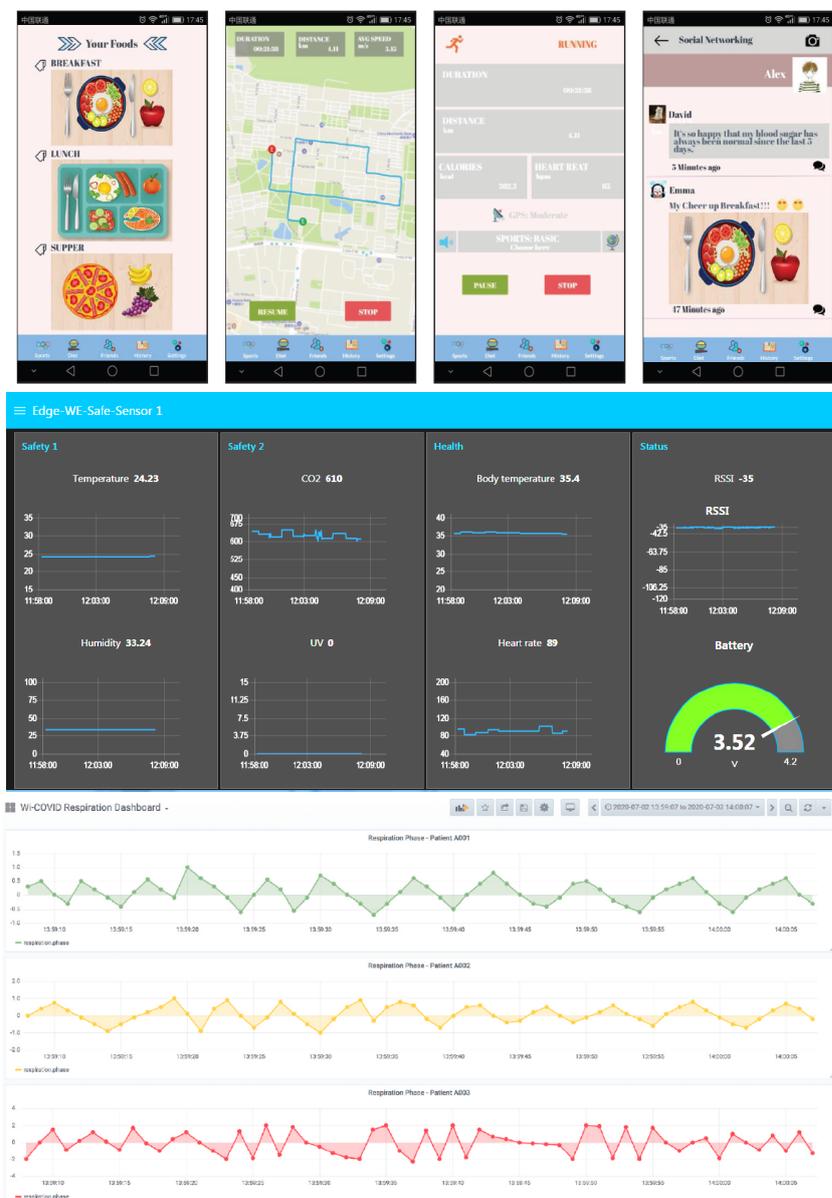


Figura 7 – Exemplo de apresentação de dados de saúde presentes em (CHEN et al., 2018), (WU; WU; YUCE, 2019b) e (LI et al., 2021).

2.3.3 RQ3: Essas aplicações são confiáveis?

Ao avaliar os artigos selecionados é possível notar que 27 dos 34 trabalhos estudados apresentam testes ou aplicações práticas de seus sistemas propostos. Entretanto, esses testes geralmente abrangem apenas os conceitos fundamentais que os autores escolheram para seus trabalhos, deixando de fora outros conceitos essenciais para uma aplicação desse tipo. Por exemplo, um autor pode planejar testes para avaliar a segurança dos dados de sua aplicação, mas pode negligenciar outros atributos igualmente importantes para aplicações na área de saúde, como eficiência energética, precisão, latência e outros.

Neste contexto, essas aplicações podem ser consideradas confiáveis somente quando avaliadas em relação ao seu propósito principal e no seu contexto específico de testes. Para que essas alcancem maiores níveis de confiabilidade, são necessários testes que vão além dos conceitos definidos pelos autores, talvez utilizando *frameworks* ou arquiteturas que cubram todo o escopo das aplicações com este propósito, desde a coleta dos dados no ambiente de monitoramento até o tratamento, armazenamento ou apresentação dos mesmos para um cuidador externo.

2.3.4 RQ4: Quão bem um paciente pode ser monitorado com essas aplicações?

Com as novas tecnologias desenvolvidas, novas opções de monitoramento de pacientes tornam-se acessíveis. Atualmente, não apenas médicos podem monitorar a saúde de um paciente, mas também outros cuidadores externos (enfermeiros, sistemas automatizados ou familiares, por exemplo). Entre as soluções de monitoramento estudadas na SLR, existem casos em que os autores apresentam processos de testes preocupados com a qualidade do monitoramento do paciente. Embora, em outros artigos, para medir o quão bem esses sistemas podem monitorar os pacientes, mais testes são necessários. Em geral, um bom nível de monitoramento é encontrado nos cenários apresentados.

2.3.5 RQ5: Como o médico é notificado em casos emergenciais?

Além do monitoramento em tempo real, os sistemas também oferecem ferramentas para notificar os cuidadores externos em casos de emergência. Um exemplo de gerenciamento de notificações emergenciais pode ser visto na Figura 8.

Situações de emergência, como uma parada cardíaca, por exemplo, requerem serviços médicos imediatos. Em (WU et al., 2021) o sistema proposto aciona um alarme de emergência caso o mesmo não detecte um batimento cardíaco em 2 segundos, ou seja, quando a frequência cardíaca estiver abaixo de 30 batimentos por minuto (BPM) ou caso ocorra uma parada total. O tempo máximo de resposta é o limite superior de 2 segundos, além do atraso de transmissão BLE (*Bluetooth Low Energy*) do sensor para o roteador local.

Em (SOOD et al., 2018) os autores propõem a aplicação chamada Sukoon, que dá a localização atual, latitude, longitude e coordenadas GPS (*Global Position System*), aos

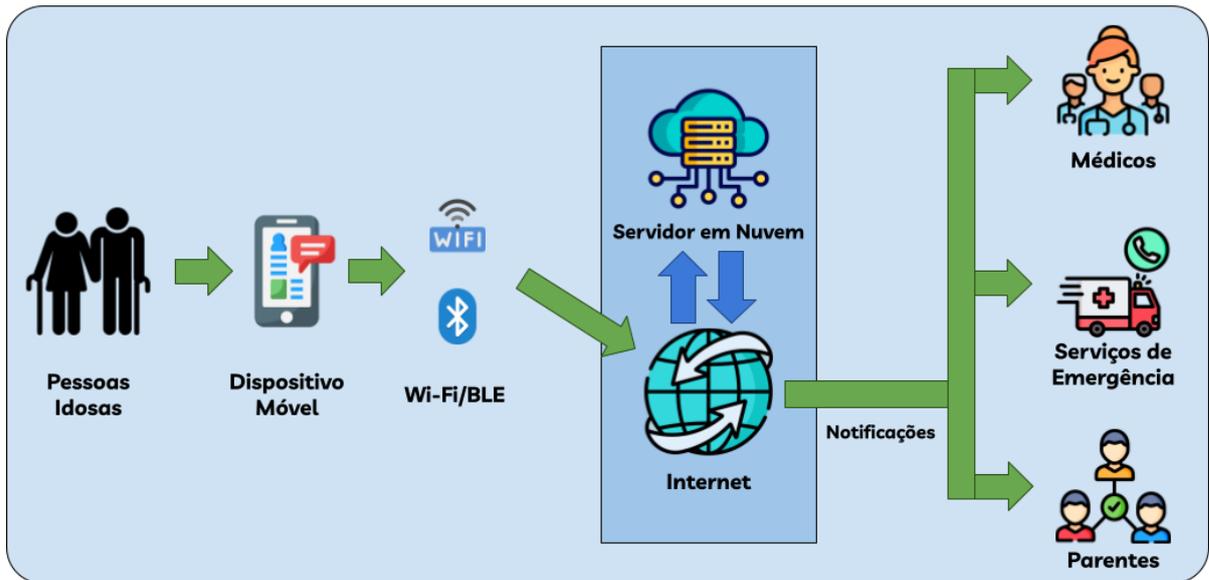


Figura 8 – Exemplo de gerenciamento de notificações emergenciais presente em (BISWAS et al., 2021).

contatos adequados do usuário em casos de emergência. Além disso, o aplicativo também fornece aos contatos, locais para onde ligar quando o usuário pressiona o botão de pânico ou quando os valores combinados do acelerômetro e do sensor de pulsação ultrapassam o limite superior definido. Isso exemplifica a capacidade de notificações emergenciais desses aplicativos, porém, ainda com limitações. Os autores desenvolveram o aplicativo apenas para o sistema Android, e a distância entre os sensores e o aplicativo não pode ultrapassar 14 metros, o que pode ser um obstáculo em diversos casos.

O sistema proposto em (LI et al., 2021) usa a ferramenta de visualização Grafana para permitir que o cuidador externo estabeleça alarmes quando a frequência respiratória de um paciente ultrapassar certos limites. Quando o sistema detecta um valor de respiração incomum, ele aciona um alarme no painel, que permite ao profissional de saúde visualizar o estado atual do paciente. A estrutura permite que os cuidadores visualizem a frequência respiratória atual e as informações históricas, o que ajuda no processo de tomada de decisão. No entanto, os autores projetaram o sistema para ser implementado em dispositivos específicos que podem utilizar Wi-Fi, o que pode ser um fator limitante para alguns ambientes.

Com base nos artigos estudados e nos avanços recentes da área, é plausível afirmar que o monitoramento de pacientes torna-se cada vez mais abrangente e eficaz. Essas aplicações permitem aos médicos e a outros cuidadores externos, acompanharem a saúde do paciente em tempo real ou em casos de emergência, embora ainda existam algumas limitações, como apresentadas nos exemplos anteriormente. Entretanto, essas aplicações mostram um bom nível de monitoramento de saúde e possibilidades promissoras para o futuro.

2.3.6 RQ6: Quais são as vantagens e desvantagens dessas aplicações?

As tecnologias de monitoramento, como as estudadas neste capítulo, oferecem avanços significativos relacionados ao cuidado de um paciente e esses avanços são os principais pontos fortes dessas aplicações. Por exemplo, em contextos onde o contato humano precisa ser minimizado, como na pandemia de COVID-19 ou outras doenças com alta taxa de transmissão, a possibilidade de monitoramento remoto da saúde é uma ferramenta poderosa para evitar a propagação de doenças e garantir a segurança da equipe médica e de outros pacientes.

Muitas vezes, os sistemas de saúde de diversos países têm dificuldades em lidar com o volume de pacientes, como em um contexto pandêmico, por exemplo. Ferramentas para monitoramento remoto podem ser soluções mais acessíveis para a população em geral. A implementação dessas aplicações requer menos recursos físicos, como instalações hospitalares e equipamentos de alto custo, e essas soluções garantem aos pacientes mais liberdade e conforto, já que um médico pode auxiliá-lo e ele pode se recuperar dentro de sua própria casa.

Além de monitorar a saúde do paciente também é possível monitorar o ambiente ao seu redor. Dessa forma, o sistema ou um cuidador externo pode realizar ações para lidar com a saúde do paciente ao melhorar o ambiente em que ele se encontra. Além do processo de tomada de decisão relacionado à saúde do paciente e ao ambiente ao seu redor, os sistemas também potencializam a possibilidade de agilizar o atendimento a um paciente em casos de emergência.

Por fim, outro ponto positivo dessas ferramentas está relacionado à possibilidade de realizar diagnósticos inteligentes de doenças com antecedência através da coleta de dados em conjunto com inteligência artificial, como pode ser visto em (CHEN et al., 2018), (MIA et al., 2021), (LIU et al., 2019) e (LI et al., 2021). Portanto, é possível prever as necessidades futuras de saúde, monitorar as condições em tempo real e agir de forma imperativa em relação às necessidades urgentes.

Com base nos trabalhos estudados, é possível relacionar diretamente os principais pontos fracos dessas aplicações com as limitações que elas possuem. Por exemplo, os autores vincularam diretamente a vida útil de sensores que monitoram um paciente ou ambiente à bateria desses sensores e é por isso que diversos artigos buscam soluções para reduzir o consumo de energia.

Sensores são dispositivos que possuem limitações físicas. Garantir que esses dispositivos tenham uma vida útil suficientemente longa é essencial para o monitoramento adequado do paciente. Mesmo com sistemas que permitem o uso de tecnologias e protocolos que visam o baixo custo energético e a eficiência do ambiente, essa limitação ainda é um impeditivo para a aplicação prática de diversos sistemas. Esse é um desafio enfrentado por qualquer aplicação que busca realizar o monitoramento remoto de pacientes.

A segurança no compartilhamento de dados médicos é outra questão importante, e

é outro ponto tratado por parte dos trabalhos. Ao lidar com informações consideradas sensíveis, a perda, interceptação ou alteração de dados pode trazer consequências graves para os pacientes. Outro fator importante é a distância em que um sistema pode monitorar o paciente sem perda de informações ou tempo de resposta em casos de emergência. Portanto, essa questão também precisa ser considerada ao desenvolver uma aplicação desse tipo.

O funcionamento correto dos sistemas depende do uso adequado de diferentes sensores, que monitoram diferentes aspectos da saúde do paciente. A interoperabilidade é um requisito desses sistemas. Os sistemas devem ser capazes de entender os dados provenientes destes sensores, independentemente do tipo de informação coletada, por exemplo, temperatura, frequência cardíaca, glicemia, etc. Os dispositivos também precisam ser interoperáveis, pois os sensores precisam se conhecer dentro da rede de sensores. Diversas aplicações não podem utilizar protocolos ou tecnologias diferentes das propostas pelos autores. Assim, esses sistemas ficam limitados a casos específicos, e a replicação em outros casos pode ser inviável.

2.4 Considerações Finais

Monitorar a saúde de pacientes é uma aplicação importante e atual dos sistemas IoT. A SLR foi realizada para discutir o estado da arte dessas aplicações e reunir informações de pesquisas atuais. Neste processo, foi possível descobrir os pontos fortes, as perspectivas futuras e os desafios dessas aplicações, principalmente relacionados ao alto nível de confiabilidade necessário.

A pesquisa mostra que é possível não apenas monitorar pacientes e tomar decisões emergenciais, mas também diagnosticar e prevenir doenças usando dispositivos IoT e coleta de dados. No entanto, essas aplicações ainda carecem de uma padronização ou conjunto de boas práticas para garantir a confiabilidade do seu uso.

Os artigos avaliados debatem questões como segurança, eficiência energética, usabilidade, precisão e outras. Além disso, todos os artigos foram publicados nos últimos seis anos, mostrando que essas questões são contemporâneas e relevantes para o contexto atual da tecnologia.

Mesmo com todos os pontos positivos apresentados nos artigos, ainda existem lacunas para pesquisas futuras. Por exemplo, as aplicações IoT precisam ser feitas para escalabilidade, portanto aumentar a distância de monitoramento e o número de pacientes monitorados é um aspecto fundamental neste cenário. Isto representa uma limitação que muitos dos sistemas estudados enfrentam, e mais pesquisas são necessárias para mitigar problemas na qualidade do monitoramento.

Selecionar a melhor estratégia arquitetural e tecnológica para uma aplicação também é um fator importante. Em um ambiente de monitoramento de saúde, esta é uma tarefa árdua, considerando as vantagens e desvantagens das diferentes tecnologias e protocolos

disponíveis. Nesse contexto, faz-se necessário uma base arquitetural que permita avaliar os trabalhos que utilizam diferentes opções de monitoramento em diferentes contextos, porém usando os mesmos padrões e métricas. Isso pode ser alcançado por exemplo, por meio de uma arquitetura de referência para essas aplicações.

3 Processo Arquitetural

Com base nas informações coletadas na revisão sistemática de literatura, é possível perceber que a confiabilidade é uma das principais preocupações no desenvolvimento de sistemas que monitoram a saúde de um paciente. Uma falha em um sistema de monitoramento pode levar a consequências sérias, incluindo o agravamento do estado de saúde do paciente ou até mesmo a perda de uma vida.

Considerando o contexto descrito e as informações levantadas no Capítulo 2 este trabalho tem como objetivo a proposição de uma arquitetura de *software* de referência para a construção de aplicações de monitoramento de saúde. Entretanto, antes da construção do modelo proposto faz-se necessário a análise arquitetural do contexto, levantando as principais preocupações da aplicação e os atributos arquiteturalmente significativos.

3.1 Descrição do Contexto

A arquitetura de referência proposta tem como base a confiabilidade, porém, este é um termo amplo e que pode ser interpretado de diferentes maneiras. Desta forma é necessário definir quais são os principais atributos a serem testados com o objetivo de garantir a confiabilidade de um *software*. Para esse trabalho a confiabilidade será proposta como um conjunto de seis atributos que podem ser vistos na Figura 9.

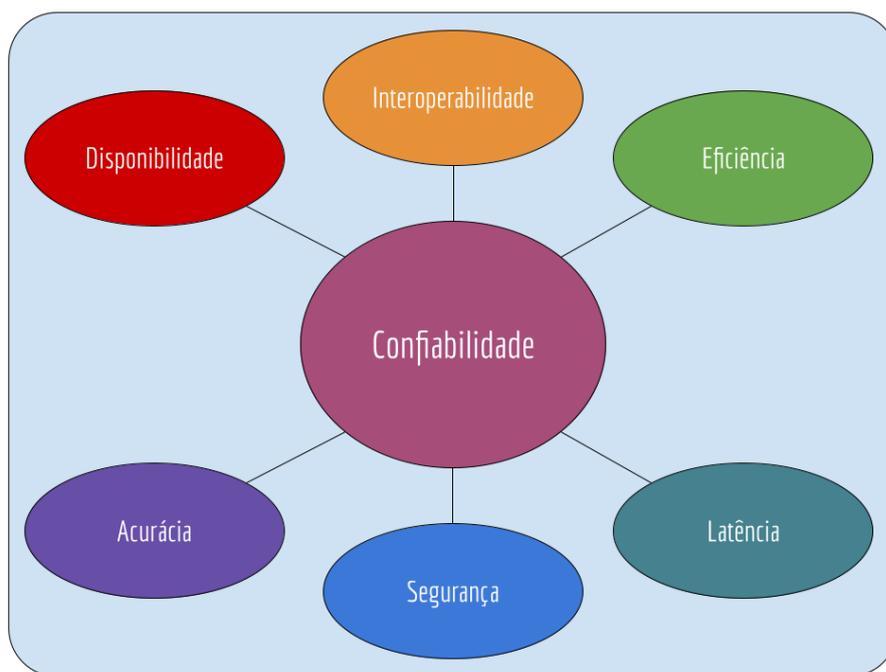


Figura 9 – Atributos que compõem a confiabilidade.

Os atributos de qualidade escolhidos para compor o conceito de confiabilidade são derivados das principais preocupações relacionadas a um sistema de monitoramento de saúde. De acordo com a revisão sistemática de literatura realizada os atributos são:

- **Disponibilidade:** O monitoramento de um paciente precisa ser ininterrupto independentemente da condição de saúde momentânea do mesmo. Desta forma, uma notificação emergencial pode ser feita a qualquer momento através dessas aplicações, assim, a disponibilidade do sistema precisa ser garantida 24 horas por dia e 7 dias por semana.
- **Interoperabilidade:** Uma vez que diferentes sensores podem estar medindo diferentes aspectos da saúde de um paciente de maneira simultânea, a interoperabilidade do sistema precisa ser garantida.
- **Eficiência Energética:** Os sensores que monitoram os pacientes precisam ser eficientes para garantir o monitoramento por um grande período de tempo. Trocas constantes de dispositivos em função do gasto energético podem ser um impeditivo para a aplicação correta dos sistemas, assim a eficiência energética é um atributo necessário para a confiabilidade.
- **Acurácia:** As aplicações *web/mobile* precisam permitir decisões assertivas sobre a saúde do paciente. Assim, para garantir essa assertividade, a acurácia dos dados precisa ser garantida. Mesmo dados corretos podem levar a decisões erradas, se não forem claros e apresentados de maneira fiel à condição do paciente.
- **Segurança:** Os sensores coletam e transmitem dados dos ambientes de monitoramento enquanto os servidores em nuvem armazenam esses dados, disponibilizando-os para consultas das aplicações *web/mobile*. Esses processos precisam garantir a segurança dos dados, uma vez que são sensíveis e pessoais para cada paciente. Além disso, a autenticação de usuários e dispositivos é essencial em todas as comunicações.
- **Latência:** A comunicação entre sensores e aplicações *web/mobile* precisa acontecer em tempo real, ou seja, com baixa latência. Em aplicações que monitoram a respiração ou os batimentos cardíacos de um paciente, por exemplo, poucos segundos de atraso podem fazer diferença para salvar uma vida.

É possível constatar que as aplicações estudadas no Capítulo 2 levantam preocupações consideráveis, uma vez que trabalham com a saúde de uma pessoa, são compostas de dispositivos diversos e não existe uma padronização clara que tenha como objetivo garantir a confiabilidade de maneira global. Na literatura geralmente são abordados apenas atributos de qualidade individualmente. Desta forma, faz-se necessário a definição dos requisitos arquiteturalmente significativos para a arquitetura proposta.

3.2 Requisitos Arquiteturalmente Significativos

Para cada atributo que compõe o conceito de confiabilidade definido na Seção 3.1 foi realizada uma análise arquitetural e posteriormente, com objetivo de avaliar a arquitetura, são definidos os cenários de qualidade acerca desses atributos.

3.2.1 Análise arquitetural

Ao abordar a disponibilidade do sistema, o mesmo pode ser entendido em duas partes: monitoramento em tempo real e consulta aos dados históricos do paciente.

- A consulta aos dados históricos do paciente precisa estar disponível durante o tempo de uso de um cuidador externo. Neste contexto, o sistema acessa os dados no banco apenas quando uma consulta for feita explicitamente.
- Por outro lado, o monitoramento do paciente em toda sua composição precisa estar disponível em tempo real, de maneira ininterrupta. Isso significa que os elementos que compõem essa parte do sistema precisam estar disponíveis 24 horas por dia, 7 dias por semana.
- Em caso de falhas, o sistema precisa se recuperar no menor tempo possível, de maneira a diminuir o tempo de indisponibilidade das partes essenciais o máximo possível.

O funcionamento correto do sistema depende do uso adequado de diferentes sensores, que monitoram diferentes aspectos da saúde de um paciente. Desta forma a interoperabilidade do sistema é um requisito de grande importância.

- O sistema deverá ser capaz de entender os dados provenientes destes sensores independentemente do tipo de informação coletada, por exemplo, temperatura, batimentos cardíacos, glicemia e entre outros.
- Os dispositivos, por sua vez, também precisam ser interoperáveis. Mesmo dispositivos que utilizam diferentes protocolos de comunicação, precisam trabalhar em conjunto dentro de uma mesma rede de sensores.

Sensores são dispositivos que possuem limitações físicas, principalmente em bateria e desempenho, e garantir que os mesmos tenham um tempo de vida útil suficientemente grande é essencial para o monitoramento adequado de pacientes.

- A arquitetura precisa permitir o uso de tecnologias e protocolos voltados para o baixo custo energético garantindo maior vida útil para os dispositivos nestes ambientes.
- Por exemplo, uma rede de sensores precisa ser capaz de se manter em funcionamento monitorando um paciente por um período de tempo determinado sem precisar de

reposição de dispositivos. Esse nível de controle sobre a vida útil dos dispositivos garante que os mesmos possam ser trocados antes de uma falha ocorrer, aumentando a confiabilidade do sistema.

Sobre a precisão dos dados, aqui chamado de acurácia, mesmo dados corretos, podem levar a interpretações equivocadas se eles não representam de maneira adequada a condição do paciente.

- Uma vez que o sistema recebe os dados de diferentes dispositivos e entende esses dados, em função da interoperabilidade da arquitetura, ele precisa armazenar os mesmos no banco de dados de maneira padronizada para possibilitar uma consulta adequada. Por exemplo, caso um sensor colete os batimentos cardíacos do paciente a cada segundo, é necessário que outras informações coletadas, como taxa de respiração ou temperatura do corpo, também sejam armazenadas com o mesmo *timestamp*.
- Esse nível de acurácia precisa ser garantido tanto para consultas em tempo real quanto para consultas posteriores, formando um histórico do paciente que auxiliará a tomada de decisão.

Um paciente é uma entidade central do sistema e é a fonte dos dados coletados. Esses dados, por sua vez, são sensíveis e a segurança dos mesmos precisa ser garantida.

- Um paciente tem seus direitos garantidos pela Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD)(AUTORIDADE NACIONAL DE PROTEÇÃO DE DADOS PESSOAIS (ANPD), 2018). Portanto, ele pode solicitar acesso aos seus dados, porém, por se tratarem de informações sobre a saúde do mesmo, esses dados não podem ser alterados por nenhuma entidade.
- Além disso, por se tratarem de informações sensíveis, todas as transmissões que são feitas em redes externas precisam ser criptografadas.
- Qualquer acesso aos dados que seja proveniente de um usuário ou sistema, não autenticado, deve ser impedido, e em casos de qualquer alteração forçada, o sistema deve ser capaz de identificar as alterações feitas e aplicar as correções adequadas.

O tempo de resposta do sistema, ou latência do sistema, também pode ser interpretado de maneira diferente por partes diferentes da arquitetura.

- Ao monitorar sinais vitais de um paciente, o sistema precisa ser capaz de emitir um alerta de ajuda em casos emergenciais, para isso o tempo de respostas entre a rede de sensores e a entidade emissora precisa ser mínimo.
- Em casos de consultas históricas ao banco de dados, esse tempo de resposta pode ser mais flexível, uma vez que este não tem caráter emergencial.

- Em casos de demora extensa sobre a comunicação do setor de monitoramento, o sistema deve ser capaz de interpretar esse atraso como uma falha e, a partir disso, começar os processos adequados para recuperação.

O processo arquitetural envolve não apenas a análise do contexto discutido e os requisitos arquiteturalmente significativos, mas também o processo adotado para a construção da arquitetura. Assim, é necessário planejar a construção da arquitetura de referência de acordo com uma metodologia adequada.

3.3 Processo de Construção da Arquitetura

Para a construção da arquitetura de referência proposta neste trabalho a abordagem de seis passos presente em (GALSTER; AVGERIOU, 2011) foi utilizada como base. A abordagem em questão é composta por:

- Passo 01: Decisão do tipo de arquitetura de referência;
- Passo 02: Seleção da estratégia de *design*;
- Passo 03: Aquisição empírica de dados;
- Passo 04: Construção da arquitetura de referência;
- Passo 05: Permitir variabilidade na arquitetura;
- Passo 06: Avaliar a arquitetura de referência.

3.3.1 Passo 01: Decisão do tipo de arquitetura de referência

Seguindo a metodologia proposta por GALSTER (2011), o primeiro passo busca definir o tipo de arquitetura de referência a ser construído. Existem cinco tipos de arquiteturas de referência que podem ser escolhidas através das questões porquê, quando e onde da criação da mesma. A definição dos tipos de arquitetura foi proposta em (ANGELOV; GREFEN; GREEFHORST, 2009), são elas:

- Tipo 01: Arquiteturas clássicas de padronização a serem implementadas em várias organizações;
- Tipo 02: Arquiteturas clássicas de padronização a serem implementadas em uma única organização;
- Tipo 03: Arquiteturas clássicas de facilitação para várias organizações projetadas por uma organização de *software* em cooperação com organizações de usuários;
- Tipo 04: Arquiteturas clássicas de facilitação projetadas para serem implementadas em uma única organização;

- Tipo 05: Arquiteturas preliminares de facilitação projetadas para serem implementadas em várias organizações.

Durante o desenvolvimento do primeiro passo, a arquitetura proposta foi definida como uma arquitetura de referência do Tipo 01: Arquiteturas clássicas de padronização a serem implementadas em várias organizações.

3.3.2 Passo 02: Seleção da estratégia de *design*

O segundo passo da metodologia busca definir a estratégia de *design* utilizada na construção da arquitetura. A decisão sobre a estratégia de *design* é afetada pelo tipo de arquitetura escolhido no passo anterior. Se o tipo da arquitetura escolhida for preliminar, a arquitetura será projetada do zero. Se um tipo escolhido for clássico, ela será projetada com base em artefatos de arquiteturas já existentes (GALSTER; AVGERIOU, 2011).

Rotineiramente, arquiteturas de referência são construídas com base em experiências passadas de projetos e/ou arquiteturas existentes, porém, também podem ser construídas sem nenhuma referência prévia. Para este trabalho, a arquitetura foi desenhada com base em artefatos existentes, sendo essa uma arquitetura “orientada por pesquisa”. Uma arquitetura orientada por pesquisa significa que o *design* da arquitetura de referência é inspirado em pesquisas realizadas e materiais levantados com antecedência.

3.3.3 Passo 03: Aquisição empírica de dados

O terceiro passo da metodologia adotada, define como coletar dados para solidificar a construção da arquitetura. Para a continuidade da abordagem adotada e dado as características da arquitetura de referência proposta, a coleta de dados foi feita através do estudo de duas arquiteturas *open source*:

1. Arquitetura Dojot, disponível em (CPQD REVISION, 2020);
2. Arquitetura FIWARE, disponível em (FIWARE FOUNDATION, E.V., 2022).

3.3.3.1 Dojot

A Dojot nasceu com o objetivo de desenvolver tecnologias para cidades inteligentes, inicialmente com foco principal em segurança pública, mobilidade urbana e saúde (CPQD REVISION, 2020). A plataforma é *open source* e busca facilitar o desenvolvimento de soluções de ecossistema IoT com conteúdo voltado às necessidades brasileiras, assumindo um papel habilitador com:

- APIs abertas, tornando fácil o acesso das aplicações aos recursos da plataforma;
- Gerenciamento do ciclo de vida de dispositivos (planejamento, configuração e monitoramento);

- Construção de fluxos de dados e regras de forma visual para processamento de dados em tempo real;
- Persistência dos dados;
- Interface para acesso aos dados em tempo real.

Além desse papel, a plataforma é baseada em tecnologias no seu estado-da-arte e adota uma arquitetura de microsserviços que possibilita uma implantação funcional customizada e escalável conforme a necessidade. Outro ponto importante apresentado pela Dojot é a fácil integração com outros sistemas baseados em serviços. Apesar do foco original da plataforma ser o ecossistema de cidades inteligentes, ela tem sido utilizada com sucesso no desenvolvimento de soluções nas áreas de saúde, agronegócio e indústria (CPQD REVISION, 2020). A arquitetura disponibilizada pela plataforma em questão pode ser vista na Figura 10.

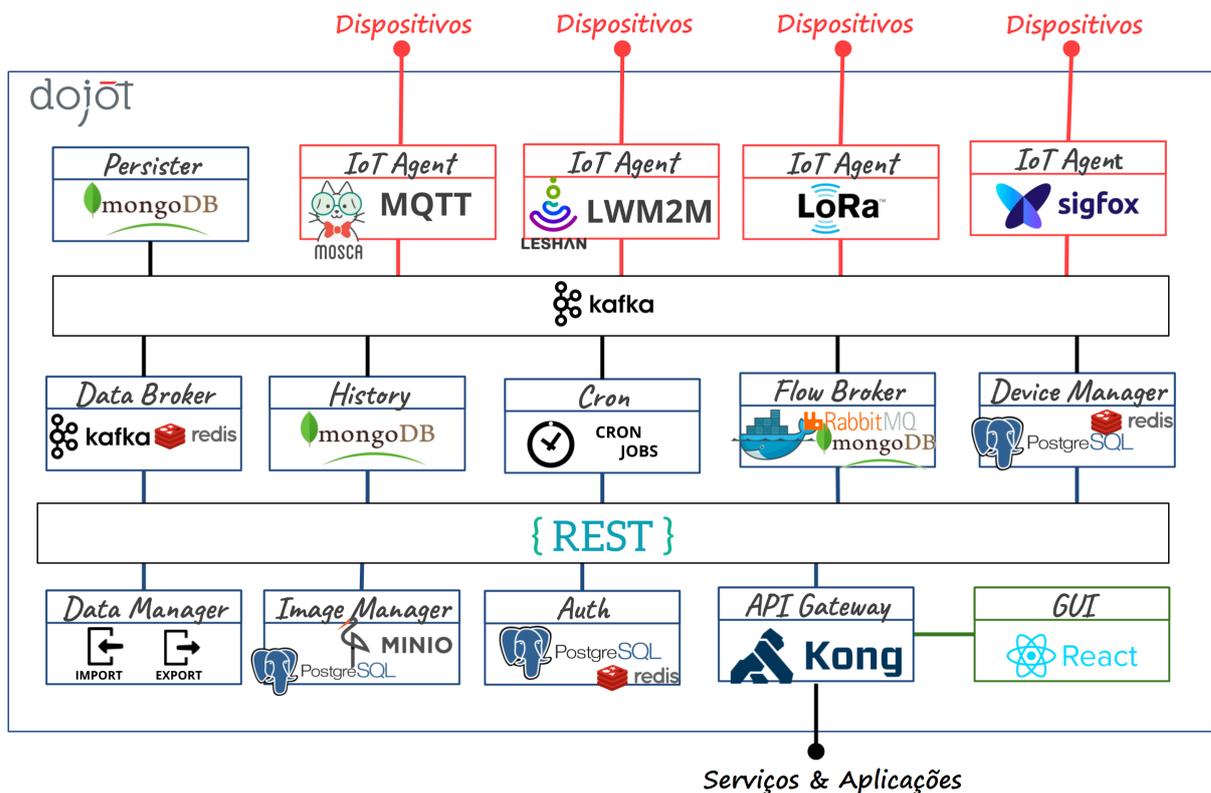


Figura 10 – Arquitetura de microsserviços Dojot (CPQD REVISION, 2020).

Quando utiliza a plataforma Dojot o usuário pode configurar dispositivos IoT por meio da GUI (*Graphical User Interface*) ou diretamente pelas APIs REST fornecidas pelo *API Gateway*. Os fluxos de processamento de dados também podem ser configurados. Essas entidades podem executar uma variedade de ações, como gerar notificações quando um atributo de um dispositivo específico atinge um determinado *threshold* ou enviar da-

dos gerados por um dispositivo para um serviço externo. À medida que os dispositivos começam a enviar suas leituras para a Dojot, o usuário pode:

- Receber essas leituras em tempo real pelos canais *socket.io* ou *websocket*;
- Consolidar todos os dados em dispositivos virtuais;
- Reunir todos os dados do banco de dados histórico.

Os recursos descritos podem ser usados por meio das APIs REST. O Dojot GUI fornece uma maneira fácil de realizar operações de gerenciamento para todas as entidades relacionadas à plataforma (usuários, dispositivos, modelos e fluxos) e também pode ser usado para verificar se tudo está funcionando bem.

Os contextos de locatário são isolados e não há compartilhamento de dados, as credenciais de acesso são validadas pelo serviço de autorização para cada operação. Portanto, um usuário pertencente a um determinado contexto (inquilino) não pode acessar nenhum dado (incluindo dispositivos, *templates*, fluxos ou quaisquer outros dados relacionados a esses recursos) de outros.

Depois que os dispositivos são configurados, o *IoT Agent* é capaz de mapear os dados recebidos dos dispositivos, e enviá-los ao agente de mensagens para distribuição interna. Dessa forma, os dados chegam ao serviço de persistência, por exemplo, para que ele possa persistir os dados em um banco de dados.

3.3.3.2 FIWARE

A FIWARE *Foundation* tem como objetivo impulsionar a definição e a implementação *open source* de padrões que permitem o desenvolvimento de soluções inteligentes portáteis e interoperáveis (FIWARE FOUNDATION, E.V., 2022). O desenvolvimento proporcionado pela FIWARE possibilita a criação de soluções para diferentes domínios, como *Smart AgriFood*, *Smart Cities*, *Smart Energy*, *Smart Industry* e *Smart Water*.

O principal e único componente obrigatório de qualquer solução que utiliza a FIWARE é o FIWARE *Context Broker Generic Enabler*. Esse componente fornece uma função fundamental necessária em qualquer solução inteligente: a necessidade de gerenciar informações de contexto, permitindo realizar atualizações e acesso ao contexto (FIWARE FOUNDATION, E.V., 2022).

Quando se constrói uma solução em torno do FIWARE *Context Broker*, fica disponível aos desenvolvedores um conjunto de *Generic Enablers* complementares de código aberto, que, por sua vez, lidam com os seguintes componentes:

- Interface com IoT, robôs e sistemas de terceiros, para captura de atualizações de informações de contexto e tradução de atuações necessárias;

- Gerenciamento, publicação e monetização de dados de contexto/API, trazendo suporte ao controle de uso e a oportunidade de publicar e monetizar parte dos dados de contexto gerenciados;
- Processamento, análise e visualização de informações de contexto, implementando o comportamento inteligente esperado de aplicativos e/ou auxiliando os usuários finais na tomada de decisões.

A representação visual da arquitetura FIWARE disponível na plataforma pode ser vista na Figura 11.



Figura 11 – Arquitetura FIWARE (FIWARE FOUNDATION, E.V., 2022).

A arquitetura é construída de maneira que não é necessário utilizar os *Generic Enablers* complementares, assim, o desenvolvedor é livre para combiná-los com outros componentes de plataformas terceiras e projetar a plataforma de maneira híbrida.

3.3.3.3 Referências adicionais

A utilização das arquiteturas escolhidas se justifica em função de suas características *open source* e por serem soluções IoT já existentes no mercado. Desta forma, apresentam garantias quanto a alguns princípios arquiteturais e requisitos de qualidade importantes na proposta do trabalho. Ambas as plataformas são produtos de *software* já desenvolvidos, onde decisões arquiteturais e experimentações já foram realizadas. O objetivo nesse passo

da abordagem de construção de arquitetura foi extrair essas decisões de software e refiná-las para o domínio de *eHealth*. A extração de dados seguiu os seguintes passos:

1. Extrair decisões arquiteturais, princípios arquiteturais, tecnologia, padrões e abordagens das duas plataformas;
2. Pontuar o que é comum entre as duas plataformas;
3. Analisar os princípios arquiteturais implementados pelas plataformas e adicionar princípios que não foram implementados;
4. Refinar os artefatos encontrados visando o domínio de *eHealth*;
5. Adicionar artefatos novos para adaptar a arquitetura de referência para o domínio de *eHealth*.

Além das arquiteturas estudadas, existem também diversas aplicações presentes na literatura que ajudam a entender as necessidades referentes ao domínio de aplicação. Essas aplicações, estudadas no Capítulo 2, podem ser encontradas em (BISWAS et al., 2021) (CHOI; NOH; SHIN, 2020) (WU et al., 2021) (YI et al., 2018) (KHAREL; REDA; SHIN, 2019) (LAKSHMI; GHONGE; OBAID, 2021) (LIU et al., 2019) (LI et al., 2021) e foram usadas na composição do trabalho.

3.3.4 Passo 04: Construção da arquitetura de referência

No quarto passo, a metodologia proposta segue o processo de construção de arquitetura definido na ISO/IEC/IEEE 42010:2022 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2022). Alguns dos principais conceitos desta ISO são *view point* e *architectural views*, que baseiam-se em propor vários pontos de vista que são entendidos como importantes e através deles gerar visões arquiteturais. Esses conceitos estão presentes também na construção da arquitetura proposta neste trabalho.

3.3.5 Passo 05: Permitir variabilidade na arquitetura

O quinto passo da abordagem, busca permitir variabilidade na arquitetura proposta. Uma arquitetura de referência pode ser escolhida para guiar o desenvolvimento de outras arquiteturas com domínios, contextos e tecnologias diferentes. Então permitir que uma arquitetura de referência possua variabilidade é essencial. Segundo (GALSTER; AVGERIOU, 2011) existem três formas de possibilitar a variabilidade em uma arquitetura:

1. Anotação de arquitetura de referência;
2. Variabilidade dos modelos;
3. Variabilidade das visões.

Ao seguir a ISO/IEC/IEEE 42010:2022 é possível a partir desse passo, tratar os elementos que permitem a variabilidade da arquitetura, como preocupações futuras que podem demandar alterações, e assim gerar modelos e visões específicas para novas necessidades.

3.3.6 Passo 06: Avaliar a arquitetura de referência

O sexto passo busca avaliar a arquitetura construída utilizando os métodos adequados. A avaliação se faz essencial principalmente quando a arquitetura é construída do zero, porém, avaliar a arquitetura quanto a sua usabilidade dentro do contexto é importante para todos os casos.

Os testes em geral podem ser feitos através de um *checklist* sobre aspectos básicos da arquitetura como adaptabilidade, compreensibilidade, acessibilidade e etc. Para uma aplicação prototípica, os testes podem englobar aspectos específicos do domínio de aplicação da mesma. Para a avaliação de confiabilidade dentro de um contexto de saúde, um processo mais robusto e replicável precisa ser utilizado. A avaliação da arquitetura proposta no trabalho é detalhada no Capítulo 5.

4 Modelagem da Arquitetura

Considerando o contexto estudado, este capítulo tem como objetivo apresentar a proposta da arquitetura de referência nomeada Conf-eHealth, que tem como principal característica a busca de confiabilidade para sistemas *eHealth*.

4.1 Descrição da Arquitetura

A arquitetura de referência foi desenvolvida com base na abordagem arquitetural de microsserviços, levando em consideração possíveis necessidades futuras de escalabilidade e de tratamento de altos volumes de dados.

Nesta seção a arquitetura é apresentada de acordo com o conceito de visões arquiteturais. A seção é subdividida em: Visão de contexto, Visão de contêiner, Visão de implantação e Visão de camadas, sendo as três primeiras de acordo com o modelo C4, proposto em (SIMON BROWN, 2011).

A Visão de camadas foi elaborada utilizando a ferramenta Diagrams, disponível em (JGRAPH LTD., 2022), enquanto os desenhos das outras visões foram elaborados utilizando a ferramenta Visual Paradigm disponível em (VISUAL PARADGM, 2022).

4.1.1 Visão de contexto

A visão de contexto apresenta as interações do sistema, dando enfoque às comunicações e dependências entre sistemas, além dos usuários que compõem e interagem com o *software*, porém de maneira ampla. A visão de contexto pode ser vista na Figura 12.

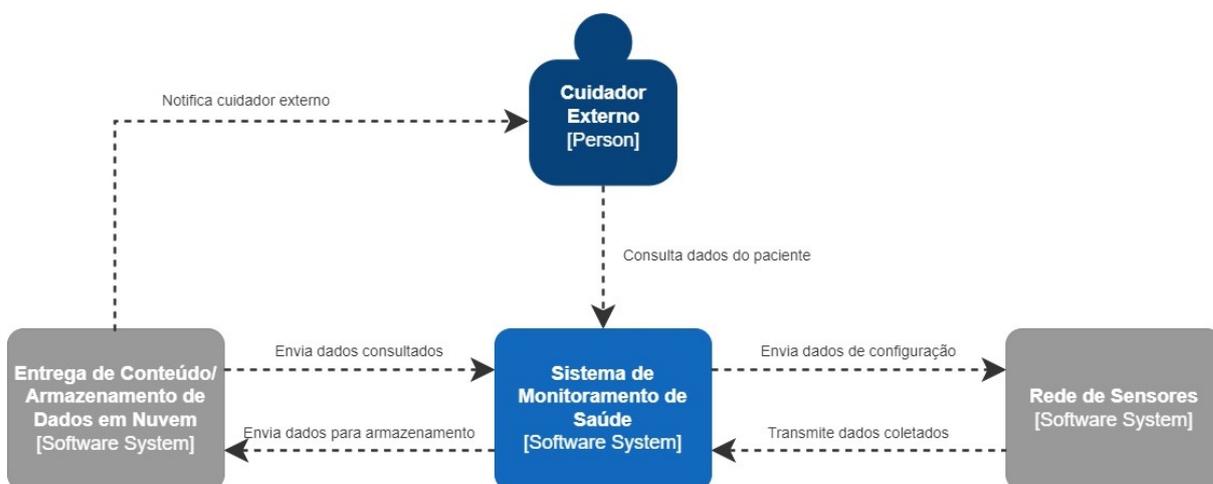


Figura 12 – Visão de contexto da arquitetura.

Cuidador Externo (*External Caretaker*): É a principal entidade que utiliza o sistema. Dependendo do contexto da aplicação do sistema, o papel de cuidador pode ser adotado por médicos, enfermeiros ou outros profissionais especializados.

Sistema de Monitoramento de Saúde (*Health Monitoring System*): É a parte central do sistema, que se comunica com a rede de sensores e com os serviços em nuvem. O sistema de monitoramento de saúde envia comandos de configuração para a Rede de sensores e recebe da mesma os dados coletados dos pacientes. Para armazenamento e consulta dos dados este módulo realiza a comunicação com os serviços em nuvem, assim a entidade que interage com os sistema (cuidador externo) não acessa diretamente nenhum sistema externo.

Rede de Sensores (*Sensors Network*): Conjunto de dispositivos de monitoramento interoperáveis que monitoram e transmitem as informações do paciente (pressão sanguínea, nível de açúcar no sangue, temperatura do corpo e do ambiente, batimentos cardíacos, taxa de respiração, entre muitos outros).

Entrega de Conteúdo, Gerenciamento e Armazenamento de Dados em Nuvem (*Cloud data Management and Storage, Content Delivery*): Módulo responsável pelo armazenamento e disponibilização dos dados coletados. Além disso, esse setor é responsável pela entrega de notificações para o cuidador externo dependendo de um determinado limite dos dados ultrapassado.

4.1.2 Visão de contêiner

A visão de contêiner mostra em alto nível a forma da arquitetura de *software* e como as responsabilidades são distribuídas por ela. Essa visão arquitetural também mostra as principais opções de tecnologia e como os contêineres se comunicam entre si. É um diagrama simples e focado em tecnologia de alto nível e pode ser visto na Figura 13.

Aplicação Móvel (*Mobile Application*): Esse componente representa uma aplicação *mobile* para visualização dos dados coletados pelos dispositivos. É essencial que a aplicação seja disponibilizada para as plataformas Android e IOS. Esse componente é opcional para a arquitetura de referência uma vez que a apresentação de dados e painel de controle são obrigatórios na forma de aplicação *web*.

Painel de Controle (*Control Panel*): Permite que, através do navegador, seja possível fazer o gerenciamento dos dispositivos presentes na aplicação e permite também a visualização de dados sobre o estado dos dispositivos.

Aplicação Web (*Web Application*): Tem como objetivo entregar a interface gráfica (Painel de Controle) para o navegador do usuário do sistema. Através desta aplicação é possível também fazer consultas sobre os dados de saúde do paciente e receber alertas visuais em casos de emergência.

Autenticador de Usuários (*User Auth*): É o componente de autenticação e autorização para usuários. É esperado que esse componente permita a realização da autenticação

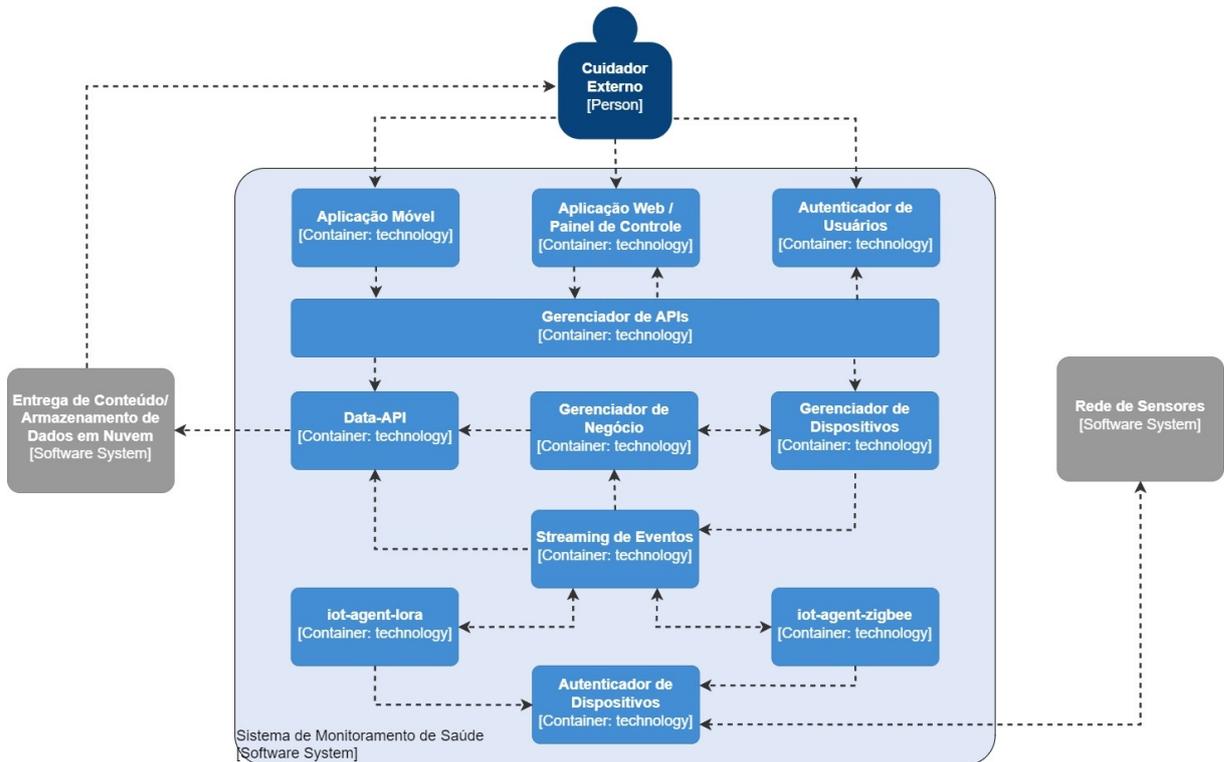


Figura 13 – Visão de contêiner da arquitetura.

de usuários de diversas formas e através de diferentes tecnologias, como por exemplo, autenticação de dois fatores. Uma opção *open source* para realizar essa tarefa é o Keycloak, mas o componente pode ser desenvolvido interno ao sistema.

Gerenciador de APIs (*API-Gateway*): É o componente responsável por distribuir as requisições entre os serviços *Data-API* e Gerenciador de Dispositivos conforme as suas funcionalidades. É de responsabilidade desse componente que as APIs sejam distribuídas de maneira a promover um bom desempenho da aplicação, evitar sobrecargas e realizar o balanceamento de requisições. O Amazon API Gateway e o Kong são exemplos de ferramentas para realização desse tipo de trabalho.

***Data-API*:** É o componente responsável pela consulta e disponibilização dos dados em nuvem. Assim os componentes que fazem a entrega visual dos dados consultam as informações de acordo com as regras estabelecidas por esse componente.

Gerenciador de Negócio (*Business Manager*): Componente responsável pelas regras de negócio individuais do paciente, por exemplo, o limite definido para o disparo de notificações para cuidadores externos.

Gerenciador de Dispositivos (*Device Manager*): Responsável por gerenciar, configurar e atuar sobre dispositivos instalados no sistema.

***Streaming de Eventos (Event Streaming)*:** Responsável por entregar as mensagens, eventos, dados e comandos em todo o sistema. Esse componente se mantém ouvindo os eventos provenientes dos sensores de monitoramento de saúde e fazendo a entrega de

acordo. O Apache Kafka é um exemplo *open source* para essa finalidade. É essencial que o componente utilize o conceito de registro de confirmação imutável para garantir a acurácia dos dados.

Autenticador de Dispositivos (*Device Auth*): Componente responsável por realizar a autenticação dos dispositivos. Apenas os dispositivos que passam pela autenticação corretamente podem transmitir dados para o sistema.

Dentro do diagrama, Figura 13, é possível notar dois microserviços que possuem o prefixo “*iot-agent*”. Esses serviços serão responsáveis por receber os dados e atuar sobre um dispositivo no protocolo específico do mesmo. No caso do diagrama dois protocolos foram utilizados como exemplo, o LoRa e o ZigBee. Esses microserviços também realizam a função de converter os dados recebidos em um formato padronizado pela aplicação e converter as atuações padronizadas do sistema no formato específico de cada dispositivo.

4.1.3 Visão de implantação

Um diagrama de implantação permite ilustrar como os sistemas de *software* e/ou contêineres são mapeados para a infraestrutura (SIMON BROWN, 2011). Este modelo pode ser visto na Figura 14.

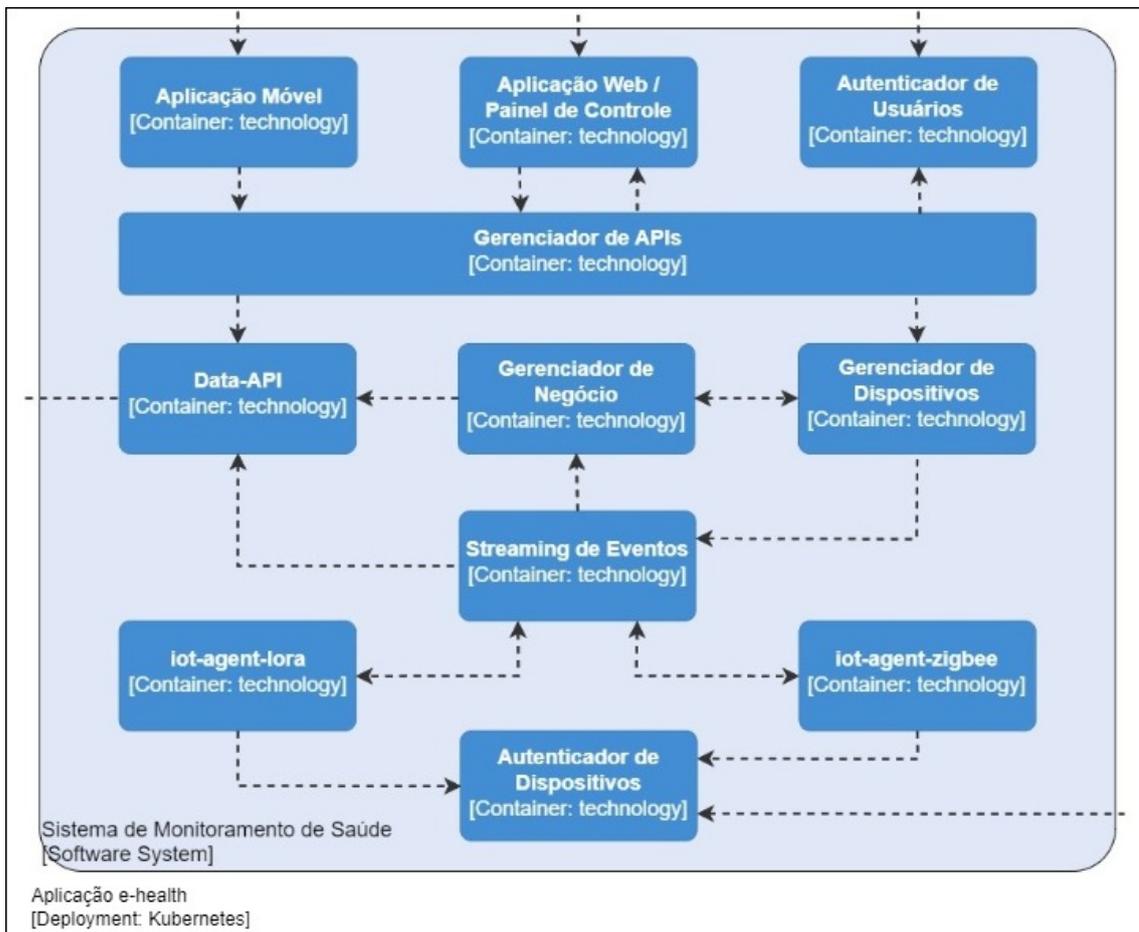


Figura 14 – Visão de implantação macro.

Em uma arquitetura de microsserviços, principalmente no contexto de estudo atual, o isolamento em contêineres se faz necessário. Porém, gerenciar de forma manual diversos contêineres pode ser inviável. Dessa forma é necessário escolher uma ferramenta para realizar a gerência dos microsserviços da aplicação.

Com o objetivo de exemplificação, o Kubernetes foi escolhido. O Kubernetes permite gerenciar o *deploy* de vários contêineres em um sistema e a manutenção dos mesmos. A ferramenta também ajuda o sistema a cumprir alguns atributos de qualidade como:

- *Performance/Latência*: Com a replicação de instâncias do mesmo microsserviço de forma automática através do seu *balance* interno.
- *Disponibilidade*: Quando operado em conjunto com uma plataforma de nuvem replicando instâncias a nível geográfico.

A visão de cada microsserviço pode ser vista na Figura 15 de maneira individual e o mesmo modelo será seguido para todos os outros.

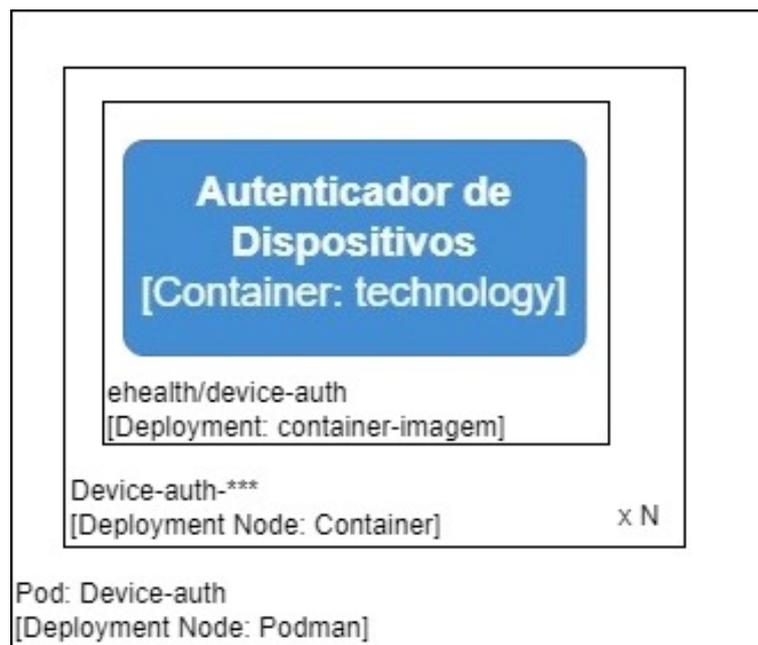


Figura 15 – Visão de implantação micro.

4.1.4 Visão de camadas

Essa subseção apresenta a visão de camadas da arquitetura, a visão em questão pode ser vista na Figura 16. Cada camada, seus componentes e principais comunicações são descritos individualmente.

Gateway de Dispositivos (*Device-Gateway*): Esta é a camada responsável pela comunicação e adaptação dos dispositivos com o sistema de monitoramento. A camada em questão precisa se comunicar com diferentes dispositivos através de diferentes protocolos,

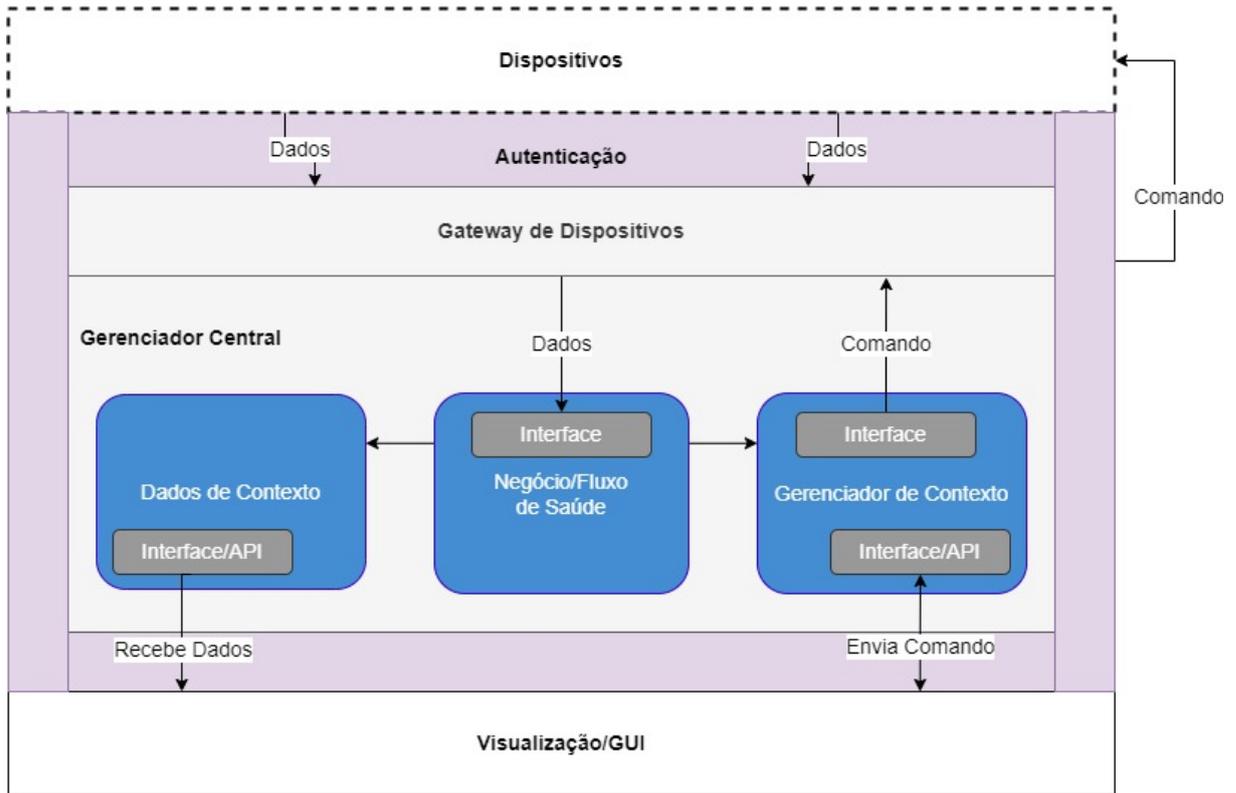


Figura 16 – Visão de camadas da arquitetura.

ou seja, a camada deve permitir a interoperabilidade do sistema. Dessa forma, é responsabilidade dessa camada receber os comandos de configuração e atuação no padrão da aplicação, convertê-los nos padrões dos dispositivos alvos e transmiti-los pelos protocolos específicos dos dispositivos. Além de receber os dados em vários formatos e padronizar no formato único da aplicação.

Gerenciador Central (*Core Management*): É a camada central da arquitetura, responsável pelo gerenciamento das demais partes do sistema. Porém para especificar as responsabilidades internas, essa camada pode ser entendida pelo funcionamento em conjunto de três núcleos, são eles:

- **Dados de Contexto (*Data-Context*):** Responsável pela comunicação com o banco de dados, armazenamento e disponibilização dos dados para consultas via API;
- **Negócio/Fluxo de Saúde (*Business/Flow Health*):** Responsável pela comunicação entre os outros componentes da camada, e também, pelas regras de negócio definidas para a construção do sistema no contexto;
- **Gerenciador de Contexto (*Context-Management*):** Responsável pela transmissão de comandos de configuração e atuação da aplicação sobre os dispositivos entre as camadas de Visualização e *Gateway* de Dispositivos.

Visualização/GUI (*Visualization/GUI*): Esta camada é responsável pela apresentação dos dados para o usuário. Os dados são consumidos pela camada através das APIs disponibilizadas pelo Dados de Contexto, e apresentados para os usuários. Caso seja necessário alterações de contexto de aplicação, essa camada faz a comunicação com o Gerenciador de Contexto, que reflete as alterações para o *Gateway* de Dispositivos.

Além das camadas, para a construção da arquitetura é preciso levar em consideração também as seguintes partes:

- **Dispositivos (*Devices*):** É imprescindível que os sensores presentes na rede de monitoramento sigam as especificações do Certificado de Boas Práticas de Fabricação (CBPF), disponível em (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA, 2022). Assim, atributos de segurança e eficiência a nível de *hardware* são buscados pela norma.
- **Autenticação (*Auth*):** Todas as comunicações realizadas no sistema passam por autenticação para promover a segurança do mesmo. A autenticação das partes é necessária tanto para o conhecimento dos dispositivos quanto dos usuários do sistema.

4.2 Rationale

A decisão de construir a arquitetura com base na abordagem arquitetural de microsserviços foi tomada com base nas necessidades de escalabilidade e *performance* do sistema, em função do alto volume de dados oriundos de múltiplos dispositivos. A escolha do armazenamento de dados em nuvem foi feita com base na mesma questão, mas também em função da possibilidade de replicação de repositórios em diferentes regiões.

A abordagem de seis passos adotada na Seção 3.3 engloba as três etapas do projeto arquitetural e os princípios arquiteturais mais importantes. A utilização da ISO/IEC/IEEE 42010:2022 define as especificações sobre a maneira pela qual as descrições de arquitetura de sistemas são organizadas e expressas. Esta norma internacional especifica pontos de vista de arquitetura, estruturas de arquitetura e linguagens de descrição para uso em descrições de arquiteturas (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2022).

Uma vez finalizada a apresentação da arquitetura e das principais decisões arquiteturais tomadas é possível planejar os experimentos necessários para a validação do modelo. No contexto de uma arquitetura de *software*, essa experimentação se dá inicialmente por forma de uma avaliação arquitetural.

5 Avaliação Arquitetural

Encontrar problemas o quanto antes em um projeto de *software* é essencial. O custo para corrigir um erro encontrado durante as fases iniciais é muito menor do que o mesmo erro encontrado durante os testes. Uma arquitetura de *software* é o produto da fase inicial de um projeto e seu impacto em todo o ciclo de vida é profundo (PAUL; KAZMAN; KLEIN, 2002).

A arquitetura de referência proposta no Capítulo 4 busca atender os seis atributos de qualidade propostos para garantir a confiabilidade das aplicações. Apesar da análise arquitetural realizada, do levantamento dos requisitos arquiteturalmente significativos e da abordagem de construção seguida, garantir que a arquitetura atenda os requisitos não é um processo simples. O primeiro passo neste processo é realizar uma avaliação arquitetural da mesma.

Em geral, as arquiteturas determinam a estrutura de um projeto. Desde a organização da equipe de desenvolvimento, metas e orçamentos até as configurações técnicas, bibliotecas e testes, todas essas decisões podem ser tomadas de acordo com a arquitetura. Assim, a avaliação adequada da arquitetura, mesmo que conceitualmente, é uma maneira barata de evitar desastres futuros (PAUL; KAZMAN; KLEIN, 2002).

5.1 Métodos de Avaliação Arquitetural

O primeiro passo em busca de uma avaliação adequada é a escolha de um método de avaliação que permita a realização do trabalho com base em um processo bem estabelecido. Em (PAUL; KAZMAN; KLEIN, 2002) três métodos de avaliação arquitetural são apresentados, todos desenvolvidos pelo *Software Engineering Institute*:

- ATAM: *Architecture Tradeoff Analysis Method*;
- SAAM: *Software Architecture Analysis Method*;
- ARID: *Active Reviews for Intermediate Designs*.

O método SAAM é o mais simples entre os três apresentados pelos autores. O método é indicado para situações onde não há a necessidade de experiência prévia dos participantes e do condutor, uma vez que o mesmo é relativamente fácil de conduzir. Desta forma o método é indicado também em um ambiente acadêmico.

Outro motivo da utilização do SAAM se justifica no argumento de que as arquiteturas de *software* não são intrinsecamente boas nem ruins, elas só podem ser avaliadas em relação às necessidades e objetivos do contexto. O SAAM não tem como objetivo criticar ou

elogiar arquiteturas específicas, mas fornecer um método para determinar se a arquitetura suporta as necessidades de uma organização ou contexto (KAZMAN et al., 1994).

5.1.1 *Software architecture analysis method*

O método SAAM foi proposto com o objetivo de padronizar e aumentar a robustez dos processos de avaliação de arquiteturas de *software*. A aplicação adequada do SAAM passa pela realização de seis etapas que guiam o processo de avaliação, são elas:

1. Desenvolver cenários: Nesta etapa, cenários de uso da arquitetura são desenvolvidos, explicitando funções relevantes desejadas e necessidades da arquitetura;
2. Descrever arquitetura(s): Etapa onde a arquitetura desenvolvida é documentada e apresentada. As duas primeiras etapas são normalmente realizadas em paralelo;
3. Classificar/Priorizar cenários: os cenários podem ser classificados como diretamente ou indiretamente suportados pela arquitetura. Após a classificação dos cenários, os mesmos são priorizados pelos participantes;
4. Avaliar cenários indiretos individualmente: Nesta etapa, para cada cenário classificado como indireto, são apontadas quais mudanças ou adições devem ser realizadas na arquitetura para resolver o problema;
5. Avaliar interações de cenário: Nessa etapa, são avaliados os componentes da arquitetura onde mais de um cenário indireto demanda alterações. Assim, caso exista uma convergência de preocupações em um mesmo componente ou área, essas podem ser foco de problemas;
6. Gerar avaliação geral: Por fim, pesos são definidos para os cenários avaliados nos passos anteriores, gerando um valor total para a arquitetura. Esse valor pode ser utilizado tanto para entender se a arquitetura atende as necessidades do contexto, como também para realizar comparações entre arquiteturas concorrentes.

Para aplicação em um cenário acadêmico algumas adaptações no modelo precisam ser feitas, essas são descritas na Seção 5.2. A representação visual do método de avaliação SAAM pode ser visto na Figura 17.

5.2 Avaliação Realizada

Esta seção descreve como foi realizada a aplicação do método SAAM sobre a arquitetura proposta. O método foi aplicado com a participação de duas turmas de alunos do curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal de Itajubá, uma turma de Engenharia de *Software* e uma de Metodologia de Pesquisa Aplicada à Computação. A aplicação aconteceu nas turmas separadamente, em dias diferentes e contou com 62 participantes ao todo. O plano de avaliação arquitetural realizado foi submetido e aceito pelo

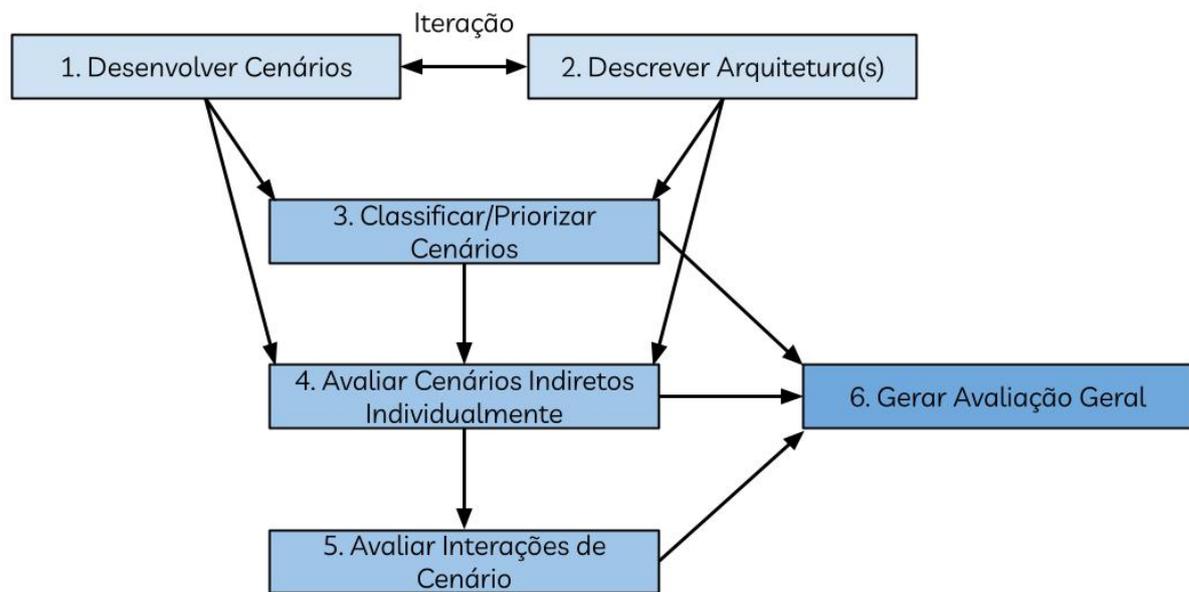


Figura 17 – Representação visual do modelo SAAM (PAUL; KAZMAN; KLEIN, 2002).

comitê de ética do Centro Universitário de Itajubá através da Plataforma Brasil conforme descrito no Anexo - A.

5.2.1 Desenvolver cenários

Para ser possível testar os atributos de qualidade definidos no Capítulo 3, faz-se necessário o desenvolvimento de cenários de qualidade para serem avaliados. Cenários são ferramentas importantes para exercitar uma arquitetura a fim de obter informações sobre a adequação de um sistema em relação a um conjunto de atributos de qualidade desejados (KAZMAN et al., 1996).

Avaliar atributos de qualidade é uma tarefa desafiadora, pois não existe um padrão universal de medição, o atributo só pode ser entendido dentro do seu contexto. Além disso, os cenários são uma forma de melhorar a comunicação e entendimento sobre a arquitetura entre os participantes de uma avaliação. Para este trabalho, o modelo de cenário proposto em (BASS; CLEMENTS; KAZMAN, 2012) será utilizado como base e as devidas alterações serão feitas para a aplicação dos cenários no método SAAM. O modelo em questão é composto por seis itens:

- Estímulo: Representa uma ação ou evento que impacta no sistema;
- Fonte do Estímulo: Representa quem ou o que, de onde o estímulo se origina;
- Ambiente: Representa a condição ou estado do sistema ao receber o estímulo;
- Artefato: Representa a parte do sistema que é estimulada;
- Resposta: Representa a resposta do sistema ao estímulo;

- Medida da Resposta: Representa a maneira como a resposta é medida.

Com o objetivo de garantir a eficácia dos cenários de avaliação propostos, todos os itens discutidos na avaliação precisam ser documentados. A representação visual do modelo de cenário proposto pode ser vista na Figura 18.

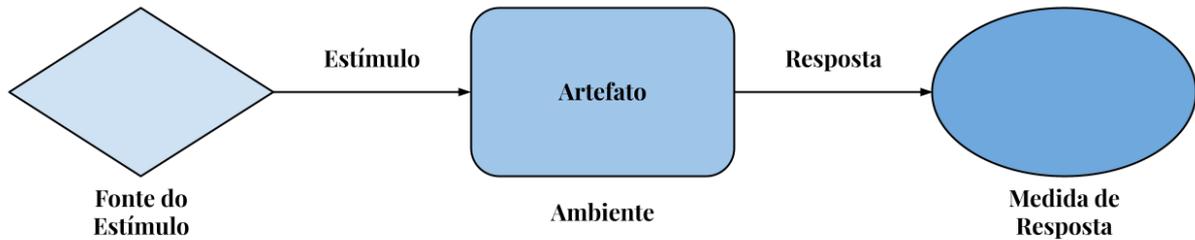


Figura 18 – Modelo de cenário de avaliação.

Para cada um dos atributos de qualidade propostos, que compõem a confiabilidade do sistema, foi definido um cenário de avaliação. Os cenários seguem o padrão descrito, porém com as adaptações necessárias para a avaliação em sala de aula, onde a medida de resposta não é levada em consideração uma vez que o objetivo é o entendimento conceitual da arquitetura.

5.2.1.1 Descrição dos cenários

O cenário referente ao atributo de disponibilidade pode ser visto na Tabela 3. Este cenário apresenta uma possível falha, queda ou atraso extenso na recuperação dos dados de monitoramento, com objetivo de entender se o sistema é capaz de garantir a disponibilidade das funções essenciais.

Tabela 3 – Cenário de avaliação para Disponibilidade.

Item	Possíveis Valores
Estímulo	Falha, queda ou atraso extenso no compartilhamento dos dados de monitoramento.
Fonte Artefato	Dispositivos físicos de monitoramento e componentes de software relacionados. Sistema de controle ou consulta, rede de monitoramento e canais de transmissão.
Ambiente	Sistema em situação de falha.
Resposta	Garantia e prevenção contra quedas. Detecção de falhas. Recuperação após falhas.

O cenário de qualidade referente ao atributo de interoperabilidade pode ser visto na Tabela 4. O cenário avaliado neste caso está ligado à uma requisição de transferência de dados entre partes do sistema que possuem autorização para transferência. Esse cenário busca avaliar a capacidade do sistema em entender comunicações realizadas através de diferentes protocolos de comunicação.

Tabela 4 – Cenário de avaliação para Interoperabilidade.

Item	Possíveis Valores
Estímulo	Transferência de dados entre dispositivos diversos e o sistema de monitoramento.
Fonte	Comunicação entre diferentes partes que compõem o sistema.
Artefato	Componentes do sistema que precisam interoperar.
Ambiente	Sistema em seu funcionamento normal.
Resposta	Uma requisição de transmissão de informação é devidamente aceita ou recusada independentemente do protocolo utilizado.

O cenário de qualidade referente ao atributo de eficiência energética pode ser visto na Tabela 5. Este cenário de qualidade parte de uma avaliação de possíveis falhas em função da falta de bateria em um ou mais dispositivos que realizam o monitoramento de um paciente, com o objetivo de entender se o sistema é capaz de prever necessidades futuras em função da bateria dos dispositivos.

Tabela 5 – Cenário de avaliação para Eficiência Energética.

Item	Possíveis Valores
Estímulo	Avaliação de vida útil dos dispositivos para implantação.
Fonte	Entidades (cuidadores externos ou administrador do sistema), dispositivos físicos de monitoramento.
Artefato	Ambiente de monitoramento do paciente.
Ambiente	Sistema em seu funcionamento normal.
Resposta	Capacidade de uso de dispositivos e protocolos eficientes energeticamente.

O cenário de qualidade referente ao atributo de acurácia pode ser visto na Tabela 6. Este cenário apresenta uma situação ocorrida a partir da tentativa de consulta aos dados do paciente monitorado por um cuidador externo autenticado, com o objetivo de entender a capacidade conceitual da aplicação de apresentar os dados coletados de maneira adequada.

Tabela 6 – Cenário de avaliação para Acurácia.

Item	Possíveis Valores
Estímulo	Consulta aos dados do paciente monitorado.
Fonte	Entidade (cuidadores externos) e setores do sistema que interagem e armazenam os dados coletados.
Artefato	Componentes de consulta e armazenamento de dados.
Ambiente	Sistema em seu funcionamento normal.
Resposta	Dados apresentados para o cuidador externo, de maneira precisa, de acordo com a coleta realizada.

O cenário de qualidade referente ao atributo de segurança pode ser visto na Tabela 7. O cenário de avaliação adotado neste caso se baseia na tentativa de acesso aos dados por um usuário, sistema ou parte do sistema sem autorização. Este cenário tem como objetivo entender a capacidade conceitual do sistema em garantir a segurança dos dados sobre ações maliciosas.

Tabela 7 – Cenário de avaliação para Segurança.

Item	Possíveis Valores
Estímulo	Tentativa de acesso aos dados por um usuário ou sistema sem autorização.
Fonte	Entidades, partes do sistemas ou sistemas externos que tentam acessar informações.
Artefato	Setores do sistema que coletam, transmitem ou armazenam dados.
Ambiente	Sistema em seu funcionamento normal.
Resposta	Impedimento de acesso aos dados solicitados pela entidade sem autorização. Impedimento da alteração de dados.

O cenário de qualidade referente ao atributo de latência pode ser visto na Tabela 8. Neste caso, o cenário de qualidade leva em consideração um contexto onde um sinal de alerta é emitido quando um valor considerado perigoso for encontrado, buscando entender a capacidade do sistema em responder rapidamente a situações emergenciais.

Tabela 8 – Cenário de avaliação para Latência.

Item	Possíveis Valores
Estímulo	Sinal de alerta emitido quando determinado um determinado dado ultrapassa o limite definido.
Fonte	Setores do sistema que atuam sobre os dados coletados em tempo real.
Artefato	Setores do sistema que se comunicam para transferência de dados coletados.
Ambiente	Sistema em seu funcionamento normal.
Resposta	Tempo de resposta do sistema em relação aos estímulos.

5.2.2 Descrever arquitetura(s)

Neste passo a arquitetura, junto com os cenários de avaliação e o próprio método SAAM foram apresentados para os participantes. Primeiramente a apresentação foi montada de forma a contextualizar os participantes sobre o trabalho de forma geral, contexto, importância e objetivos. Após a contextualização, o método SAAM e a documentação da arquitetura foram apresentados em conjunto com os cenários de avaliação desenvolvidos. Tanto a documentação da arquitetura quanto os cenários foram disponibilizados em um repositório no *GitHub*¹.

Além da apresentação, em cada uma das turmas os participantes tiveram tempo disponível para questionar sobre o trabalho realizado, levantando discussões sobre o que foi apresentado e esclarecendo dúvidas ou quaisquer questões que não tenham ficado claras.

5.2.3 Classificar/Priorizar cenários

Após as apresentações realizadas, os participantes puderam partir para o processo de classificação dos cenários. Os cenários foram classificados como diretos ou indiretos, de acordo com a metodologia. Cenários diretos são aqueles que a arquitetura é capaz de abranger adequadamente, enquanto cenários indiretos são aqueles que demandam altera-

¹ <https://github.com/Bwenkoi/Conf-eHealth-Documentation>

ções em componentes ou seções da arquitetura. Um formulário eletrônico² foi desenvolvido para este processo, para cada um dos cenários o formulário aponta uma questão objetiva de classificação e uma questão aberta para justificativa.

Além disso, a priorização dos cenários também foi realizada através do formulário disponibilizado. O formulário apresenta uma questão onde os participantes devem selecionar os cenários que consideram como os mais importantes para a arquitetura. O número de cenários escolhidos segue a proposta do método SAAM, onde cada participante seleciona em torno de trinta por cento dos cenários. Neste contexto, os participantes escolheram dois entre os seis cenários avaliados.

5.2.4 Avaliar cenários indiretos individualmente

Cada cenário indireto classificado por um participante precisa ser justificado. Então, para cada cenário, o participante apresentou suas ideias e *insights* para “resolver o problema”, apontando quais componentes ou seções da arquitetura precisam ser mudados para que o cenário avaliado se torne direto.

Esse processo também aconteceu através do formulário, além disso, o participante é livre para fazer comentários sobre a arquitetura, a documentação da mesma, os cenários e quaisquer outros pontos que o mesmo considere como importantes.

5.2.5 Avaliar interações de cenário

Esta etapa se iniciou após a coleta dos dados realizada nas duas turmas. Neste ponto as justificativas e sugestões dos participantes são avaliadas. O estudo das respostas foi feito com o objetivo principal de entender se existem componentes da arquitetura onde diferentes cenários classificados como indiretos demandam alterações. Assim, caso exista uma convergência em um mesmo componente ou área, essas podem ser foco de problemas.

As respostas dissertativas são um bom parâmetro para entender também o nível de entendimento dos participantes sobre a arquitetura, além de explicitar possíveis falhas na didática da documentação e promover discussões sobre necessidades e fatores relevantes para trabalhos futuros.

5.2.6 Gerar avaliação geral

A última etapa do método baseia-se no tratamento dos dados coletados. Para cada cenário avaliado foi definido um peso de acordo com a priorização feita pelos participantes. Para esta avaliação o peso dos cenários foi atribuído dentro de uma escala que soma o total de 100 pontos. Esses valores podem ser vistos na Tabela 9.

Cada cenário avaliado como direto soma pontos na avaliação da arquitetura, enquanto os cenários indiretos não somam. Assim, cada uma das avaliações feitas pelos participantes gerou um valor total. Esse valor, quando calculado em média, representa a avaliação geral

² <https://forms.gle/pwprSrbjy1SUrJrL9>

Tabela 9 – Resultados dos dados coletados.

Cenário	Número de Votos	Porcentagem	Peso Atribuído
Cenário 01 - Disponibilidade	30	48,4%	24
Cenário 02 - Interoperabilidade	05	08,1%	05
Cenário 03 - Eficiência	19	30,6%	15
Cenário 04 - Acurácia	24	38,7%	19
Cenário 05 - Segurança	25	40,3%	20
Cenário 06 - Latência	21	33,9%	17

da arquitetura. Além disso, uma avaliação indireta da arquitetura foi realizada, onde são levados em consideração apenas os valores dos participantes que classificaram pelo menos um cenário como indireto.

A arquitetura teve como avaliação geral o valor de 94,84 de 100, o que é um valor expressivo, porém a avaliação indireta a arquitetura somou o valor de 80 pontos, apontando que existe a possibilidade de melhoria. Desta forma, a arquitetura tem um par de valores objetivos, que podem ser comparados com outras arquiteturas ou comparados com uma outra versão da mesma arquitetura.

5.3 Resultados da Aplicação do Método

Com a finalização dos seis passos propostos pelo SAAM apresenta-se a discussão dos resultados da aplicação do método. Todos os dados coletados dos participantes da avaliação arquitetural através do formulário foram tratados, armazenados e disponibilizados em uma planilha eletrônica³.

A Figura 19 traz um gráfico sobre a classificação dos cenários, ilustrados separadamente. A cor azul nas barras representa as classificações do cenário como diretas e a cor vermelha representa as classificações indiretas do cenário.

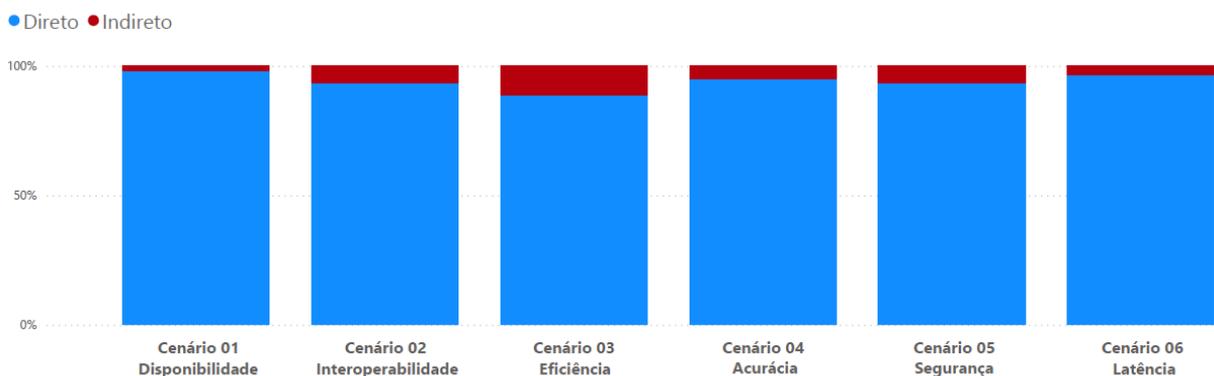


Figura 19 – Gráfico de classificação dos cenários.

³ <https://tinyurl.com/resultadosavaliacao>

Todos os cenários tiveram classificações positivas, ou seja, foram classificados como diretos pela maioria dos participantes. O cenário que se destacou negativamente foi o de eficiência energética, tendo o maior número de classificações como indireto. Dentro das justificativas para a classificação desse cenário como indireto destacam-se:

- Sistemas na área de saúde não podem depender de terceiros para avaliar a condição da bateria, é necessário que o sistema também tenha a capacidade de notificar questões de bateria a fim de evitar falhas.
- Ambientes de teste para a eficiência devem levar em consideração situações de maior e menor estresse, não apenas a condição normal do sistema.
- Dispositivos energeticamente eficientes atuam em um menor consumo de energia, porém não necessariamente atuam em questões relacionadas a problemas como eventuais falhas ou problemas físicos dos sensores.
- Apesar dos padrões de qualidade, um *hardware* pode sofrer uma degradação de sua confiabilidade de acordo com a forma que o usuário o utiliza. É necessário uma checagem periódica dos sensores com uma bateria de testes e, dependendo do resultado, um alerta ser enviado notificando possíveis falhas.
- Não há detalhamento sobre monitoramento de vida útil do aparelho, bem como a identificação de degradação dos componentes e dados, não há camada que receba e processe dados desse tipo, e não foi proposto protocolos para identificação de necessidade de troca.

As justificativas descritas pelos participantes mostram que existe uma grande preocupação com os dispositivos físicos de monitoramento. Além disso, existem preocupações também sobre a necessidade de um setor de controle, que apresente os dados sobre a condição dos dispositivos para um administrador do sistema e notifique sobre os mesmos.

Dentro da descrição da arquitetura na Visão de Contêiner (Figura 13) é possível ver que a aplicação *web* faz a entrega do painel de controle de dispositivos, mas o nível de descrição deste componente não foi suficiente para remover as preocupações dos participantes quanto à eficiência energética do sistema. Outras discussões importantes levantadas pelos participantes nas respostas dos cenários indiretos são:

- Sobre disponibilidade: Necessidade de mais informações sobre como a disponibilidade é garantida.
- Sobre interoperabilidade: Necessidade de esclarecer as semelhanças e diferenças entre este e o primeiro cenário e também o papel do *hardware* na garantia de interoperabilidade.

- Sobre acurácia: Adicionar informações sobre como tratar da redundância dos sensores, uma vez que os mesmos podem apresentar ruídos. Adicionar uma preocupação extra quanto a qualidade dos dados recebidos, onde por exemplo, um sinal pode ser enviado indicando um comportamento anormal do sensor, para evitar leituras incorretas e garantir a utilização dos dados adequados. Adicionar um processo ou protocolo adequado de apresentação dos dados de saúde.
- Sobre segurança: Necessidade de maiores explicações sobre como a segurança seria garantida do lado dos sensores. Em função da interoperabilidade, é mais complexo construir um *software* que não seja tolerante a invasões. Explicitar o papel do usuário dentro do sistema, uma vez que, caso ele esteja autenticado e tenha acesso a informações das quais ele não deveria, esse se torna um possível ponto de falha de segurança e possível vazamento de dados.
- Sobre a latência: Aumentar a preocupação no *tradeoff* entre a segurança do sistema e o tempo de resposta do mesmo em casos de emergência, uma vez que em casos onde o envio de ajuda precisa ser imediato uma camada extra de segurança pode atrasar o envio de maneira desnecessária.

Todas as questões apresentadas foram levantadas pelos participantes e também foram levadas em consideração para a construção da Seção 5.3.1, Comentários gerais e direções futuras.

A Figura 20 apresenta um gráfico sobre a priorização dos cenários. O gráfico apresenta resultados balanceados sobre quais cenários os participantes consideram como mais importantes para arquitetura, o que valida a importância dos atributos de qualidade escolhidos. Os pontos de destaque positivo e negativo são os cenários de disponibilidade e de interoperabilidade respectivamente.

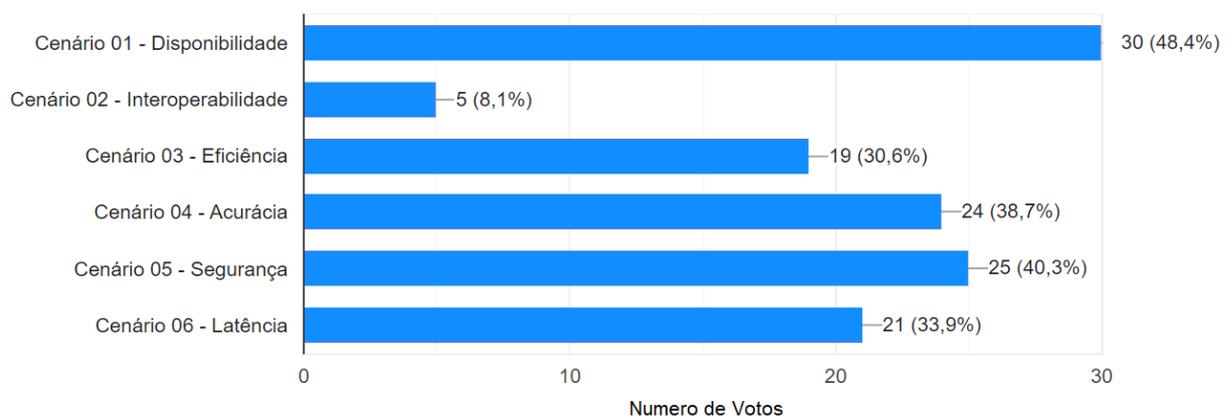


Figura 20 – Gráfico de priorização dos cenários.

Entre as respostas coletadas, 30 dos 62 participantes (48,4%) apontaram o cenário de disponibilidade como um dos mais importantes, mostrando a preocupação que existe ao lidar com dados da saúde de uma pessoa e explicitando a importância do monitoramento constante. Por outro lado, apenas 5 dos 62 participantes (8,1%) apontaram o cenário de interoperabilidade como um dos mais importantes, deixando claro que os outros cenários levantam preocupações mais relevantes para o contexto de saúde.

5.3.1 Comentários gerais e direções futuras

A avaliação arquitetural realizada permitiu entender os principais aspectos positivos da arquitetura. Os resultados mostram que a arquitetura abrange conceitualmente os cenários descritos e os atributos de qualidade relacionados. Além disso, foi possível conduzir o método e descrever didaticamente a arquitetura, seus objetivos e seu funcionamento. Por fim, as necessidades futuras que podem surgir com a aplicação do modelo proposto em um contexto prático foram apontadas e discutidas.

A principal preocupação dos participantes foi sobre o tratamento dos sensores que são utilizados para o monitoramento da saúde de um paciente. Apesar do painel de controle de dispositivos estar mapeado para a arquitetura, o nível de detalhamento sobre os mesmo precisa ser aumentado e o tratamento para falhas específicas, como acidentes por exemplo, precisa ser adicionado.

Outra questão pontuada pelos participantes é a forma de armazenamento dos dados. Apesar da arquitetura mapear o armazenamento para um serviço de nuvem, abstraindo esse processo, alguns questionamentos foram levantados em relação ao tempo de armazenamento dos dados históricos e como tratar dados de pacientes falecidos ou que já não estão sendo monitorados.

Sobre a notificação em casos emergenciais, foi argumentado que tanto o médico quanto um serviço de emergência, como ambulância por exemplo, devem ser notificados em casos críticos. Essa é uma questão que também precisa ser mapeada explicitamente na arquitetura, uma vez que a mesma aponta apenas notificações para o cuidador externo.

A segurança do sistema também foi debatida pelos participantes. O nível de acesso dos usuários do sistema, quando autenticados, não foi definido na documentação da arquitetura, sendo essa uma possível falha de segurança. Do lado dos dispositivos, foi argumentada a necessidade de maior detalhamento nos aspectos de segurança na transmissão de dados e protocolos utilizados.

Sobre a acurácia dos dados, foi discutido também a importância da coleta e apresentação adequada dos dados de saúde de um paciente. Esse atributo levantou preocupações uma vez que esses dados são sensíveis e críticos, e devem ser tratados e apresentados adequadamente.

Por fim, vale ressaltar que o SAAM não tem como objetivo validar a qualidade da arquitetura, mas sim avaliar se a mesma se encaixa dentro do contexto, além da sua

capacidade de abranger conceitualmente os principais atributos de qualidade e cenários propostos. Todo o processo de aplicação do método pode ser conduzido novamente em reavaliações futuras, tanto para novas versões da arquitetura proposta quanto para avaliações comparativas entre esta e outras arquiteturas candidatas.

6 Experimentos

A avaliação arquitetural realizada foi um processo importante para o entendimento da capacidade conceitual da arquitetura proposta de abranger os principais atributos relacionados à confiabilidade. Porém, avaliar conceitualmente uma arquitetura não é suficiente para garantir a confiabilidade da mesma. Neste contexto, faz-se necessário também um processo técnico de testes para avaliar a aplicabilidade da arquitetura.

A implementação da arquitetura proposta por completo só é possível uma vez que todos os componentes mapeados forem implementados. Para este experimento decidiu-se avaliar a viabilidade da arquitetura por meio de uma prova de conceito, implementando um dos componentes propostos. Para a realização do experimento o componente de aplicação móvel foi escolhido para a implementação. Este pode ser visto na visão de contêiner da arquitetura (Figura 13).

6.1 Plano de Experimento

A capacidade de uma aplicação *eHealth* em auxiliar um cuidador externo a tomar decisões rápidas sobre a saúde de um paciente é uma das principais preocupações levantadas na revisão sistemática de literatura e no processo arquitetural do trabalho (Capítulos 2 e 3 respectivamente). Essa preocupação foi confirmada na avaliação arquitetural conduzida (Capítulo 5).

Neste contexto é necessário não apenas que os dados corretos cheguem ao cuidador externo, mas também a apresentação visual adequada desses dados. A construção de uma boa visualização de informação é um processo multidisciplinar e envolve diversos conceitos, como disposição dos componentes, hierarquia, clareza dos dados entre outros (RIBEIRO et al., 2016). Ao utilizar um sistema o usuário deve entender, através da interface, para que o sistema serve, como ele funciona e quais são as informações mais importantes apresentadas (PRATES; BARBOSA, 2007).

A visão de contêiner da arquitetura (Figura 13) mapeia dois componentes com a capacidade de apresentação de dados, aplicação *web* e aplicação móvel. Como o experimento busca avaliar a apresentação de dados em tempo real e a possibilidade de envio de ajuda médica em casos de emergência, a aplicação móvel foi escolhida para implementação, uma vez que a aplicação *web* também está ligada à entrega do painel de controle de dispositivos, o que não é relevante para os cenários teste que foram definidos.

6.1.1 Contexto do experimento

A variabilidade na frequência cardíaca de uma pessoa pode ser gerada por múltiplos fatores e o monitoramento do coração de uma pessoa pode ajudar no prognóstico de doenças cardiovasculares (STAUSS, 2003). Além disso, o monitoramento do coração é essencial para o envio de assistência médica rápida quando necessário.

Neste contexto, o experimento proposto é uma aplicação móvel que seja capaz de receber os dados do monitoramento do coração de um paciente e que seja capaz de apresentar adequadamente esses dados para o cuidador externo. A aplicação não deve apenas apresentar graficamente as informações, mas também desenvolver um processo lógico para a aplicação da regra de negócio definida, assim, entendendo os dados considerados normais, os dados que demandam atenção e os dados considerados perigosos.

Tsuji (1996) realizou um estudo onde medições na frequência cardíaca de mais de dois mil participantes foram feitas e uma grande variabilidade nos resultados foi apresentada. Os principais dados coletados no experimento desenvolvido foram sintetizados e podem ser vistos na Tabela 10.

Tabela 10 – Dados do estudo realizado por Tsuji (TSUJI et al., 1996).

	Número de Participantes
Idade	
Menor que 40 anos	442
De 40 a 49 anos	660
De 50 a 59 anos	594
De 60 a 69 anos	561
Maior ou igual a 70 anos	465
Gênero	
Masculino	1236
Feminino	1486
Frequência Cardíaca (Média)	
Menor que 60 BPM	229
De 60 a 69 BPM	791
De 70 a 79 BPM	997
De 80 a 89 BPM	512
Maior que 90 BPM	193

Ao estudar os dados coletados no estudo percebe-se que não existe uma maneira genérica de definir quais são os valores ótimos para a frequência cardíaca de uma pessoa, essa informação varia de caso a caso. Desta forma, para a realização do experimento é necessário a definição de regras de negócio a serem implementadas e os cenários de estudo para o mesmo.

6.1.2 Cenários e regras de negócio definidas

Para a condução do experimento três cenários de uso foram definidos, cada qual com suas características e objetivos. Os cenários em questão são:

- Cenário 01: Representa o monitoramento remoto de um paciente adulto saudável. Neste cenário o objetivo é testar a capacidade do aplicativo de ler as medições recebidas por tempo indeterminado, se mantendo disponível e sem erros. Este cenário busca avaliar a disponibilidade da aplicação em função do recebimento contínuo dos dados.
- Cenário 02: Representa o monitoramento remoto de um paciente adulto saudável, porém em situação de atenção. O objetivo nesse cenário é validar a capacidade do aplicativo de entender um momento de estresse, ou seja, com dados alterados fora do esperado, mas não necessariamente perigosos. Este cenário busca avaliar a capacidade da aplicação de apresentar as informações com acurácia.
- Cenário 03: Representa o monitoramento remoto de um paciente idoso em situação de emergência. Nesse cenário, o objetivo é validar a capacidade da aplicação de identificar uma situação de emergência, como uma parada cardíaca, por exemplo, apresentar essa informação e auxiliar o processo de envio de ajuda médica para o paciente. Este cenário busca avaliar a capacidade da aplicação de apresentar as informações com acurácia e também o tempo de resposta da mesma em auxiliar o envio de ajuda emergencial para o paciente monitorado.

A Figura 21 apresenta as duas regras de negócio definidas para execução do experimento nos cenários propostos, uma para pacientes adultos (18 a 60 anos) e uma para pacientes idosos (mais de 60 anos). Em ambos os casos as regras tratam da frequência cardíaca do paciente, medida em batimentos por minuto (BPM).

Adultos		Idosos	
Acima de 180	Faixa de Perigo	Acima de 110	Faixa de Perigo
De 121 a 180	Faixa de Atenção	De 81 a 110	Faixa de Atenção
De 60 a 120	Faixa Normal	De 50 a 80	Faixa Normal
De 40 a 59	Faixa de Atenção	De 30 a 49	Faixa de Atenção
Abaixo de 40	Faixa de Perigo	Abaixo de 30	Faixa de Perigo

Figura 21 – Regras de negócio para frequência cardíaca (BPM).

Outras informações adicionais foram consultadas para a definição da regra de negócio do experimentos (RAFAELLA ELIRIA ABBOTT ERICKSSON, 2020), (JOSÉ ALDAIR MORSCH, 2021), (ANA LUIZA LIMA, 2023). É importante ressaltar que o experimento não tem como objetivo validar as regras de negócio, mas a capacidade da aplicação de receber uma regra e aplicá-la no cenário definido.

6.1.3 Algoritmo proposto e base de dados utilizada

O algoritmo proposto para a realização do experimento pode ser visto na Figura 22. O algoritmo se inicia com o recebimento das informações do paciente para serem apresentadas na interface da aplicação (nome, idade, foto de perfil, entre outras). Junto com as informações pessoais a regra de negócio referente àquele paciente também é recebida para ser aplicada às medições recebidas.

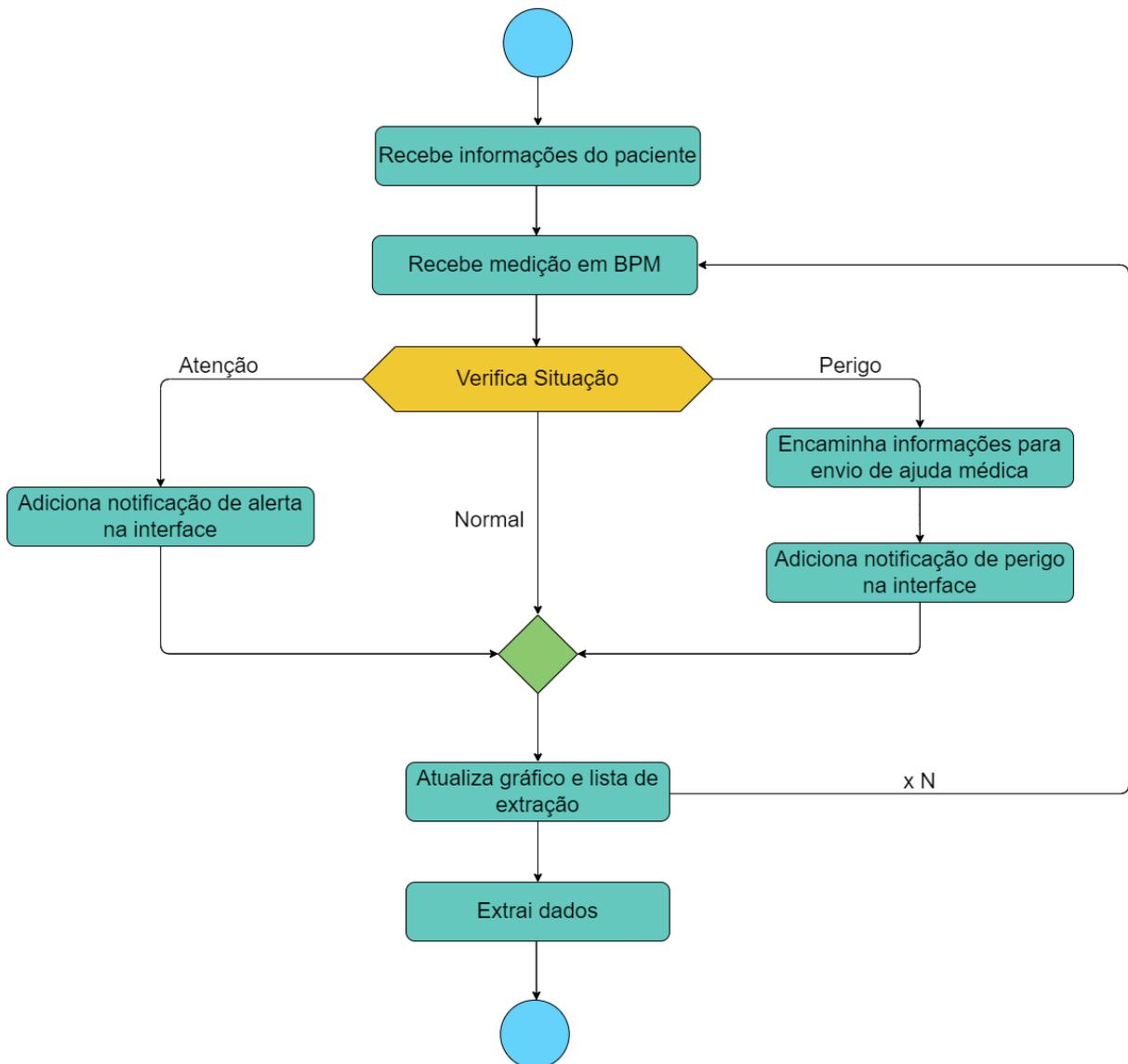


Figura 22 – Algoritmo proposto para o experimento.

O próximo passo é o início das medições da frequência cardíaca e a verificação da situação de acordo com a regra de negócio definida para aquele paciente. Caso a situação seja normal, o algoritmo atualiza a interface gráfica e volta para o ciclo de repetição. Caso as medições realizadas apontem algum tipo de problema o aplicativo precisa fazer as atualizações adequadas, apresentando os dados para o cuidador externo e, em caso de perigo, encaminhando o mesmo para a tomada de decisão adequada.

Em um contexto de monitoramento real o algoritmo não tem começo e fim definidos, desta forma o ciclo se mantém indefinidamente. Porém a base de dados utilizada no experimento tem um final definido, assim, uma vez que o algoritmo sai do ciclo de repetição ele passa pela etapa de extração de dados, onde todas as coletas são armazenadas para disponibilização.

Para a realização do experimento foi necessário a utilização de uma base de dados real. A base de dados escolhida contém os dados coletados em um estudo realizado por Shi (2020) e envolveu onze pessoas, sete homens e quatro mulheres, todos em bom estado de saúde. A base de dados em questão está disponível no Figshare¹ (SHI; SCHELLENBERGER, 2019).

Na base de dados disponibilizada cada participante tem seus dados separados, facilitando o processo de testes. Para o primeiro cenário, uma faixa de dados de um dos participantes foi separada. Essa faixa de dados representa um adulto saudável e a variação na frequência cardíaca é pequena.

Para realizar a experimentação planejada no segundo e terceiro cenários foi necessário fazer alterações nos dados para atingir os critérios definidos nas regras de negócio. A utilização de dados sintéticos se justifica na necessidade replicar situações incomuns, possibilitando testar a aplicação sem colocar a saúde de um paciente em risco (APPENZELLER et al., 2022).

6.1.4 Especificações técnicas

O aplicativo foi construído utilizando o *framework* React Native através da plataforma Expo. O React Native tem como principal característica o desenvolvimento para as plataformas Android e IOS (*iPhone Operating System*) utilizando o mesmo código, o que garante a interoperabilidade para ambos os sistemas operacionais.

Para a construção do gráfico a biblioteca *react-native-chart-kit*² foi utilizada, enquanto as outras funcionalidades foram desenvolvidas utilizando as bibliotecas e componentes da própria linguagem³.

¹ <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.4633958.v1>

² <https://github.com/indiespirit/react-native-chart-kit>

³ <https://github.com/Bwenkoi/Conf-eHealth-Mobile>

6.2 Execução do Experimento

Os dados coletados durante a realização do experimento foram extraídos e disponibilizados em uma planilha eletrônica⁴. A Figura 23 apresenta a visão geral dos dados coletados durante o experimento, onde cada gráfico apresenta o comportamento dos dados avaliados pela aplicação durante cada cenário definido. Os três gráficos apresentam as mesmas informações, a média dos batimentos por minuto durante o tempo de execução da aplicação.

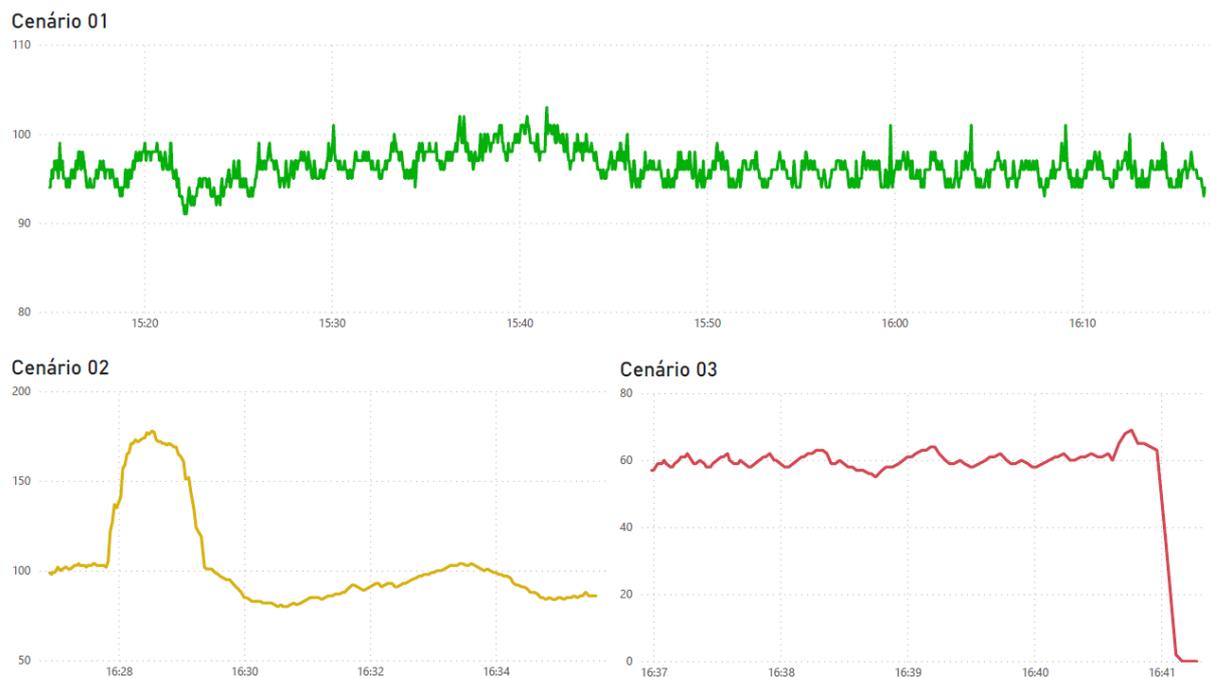


Figura 23 – Visão geral dos resultados.

O experimento realizado sobre o primeiro cenário avaliou 1479 medições durante um período de 01 hora 01 minuto e 36 segundos. Durante a execução, todos os dados da base utilizada foram avaliados e o algoritmo aplicou a regra de negócio sobre todas as medições sem nenhum erro, o que explicita a acurácia da aplicação na leitura e apresentação de dados.

A Figura 24 apresenta duas capturas de tela feitas durante o experimento. A primeira mostra o menu principal da aplicação, onde três pacientes são apresentados, cada um deles representa um dos cenários propostos. A segunda captura foi feita durante a realização do experimento no primeiro cenário, na imagem é possível ver o comportamento do gráfico em relação a alterações naturais na frequência cardíaca de um paciente. Além disso, os são dados listados abaixo do gráfico com a classificação feita, formando uma lista de dados históricos do paciente.

⁴ <https://tinyurl.com/resultadosexperimento>

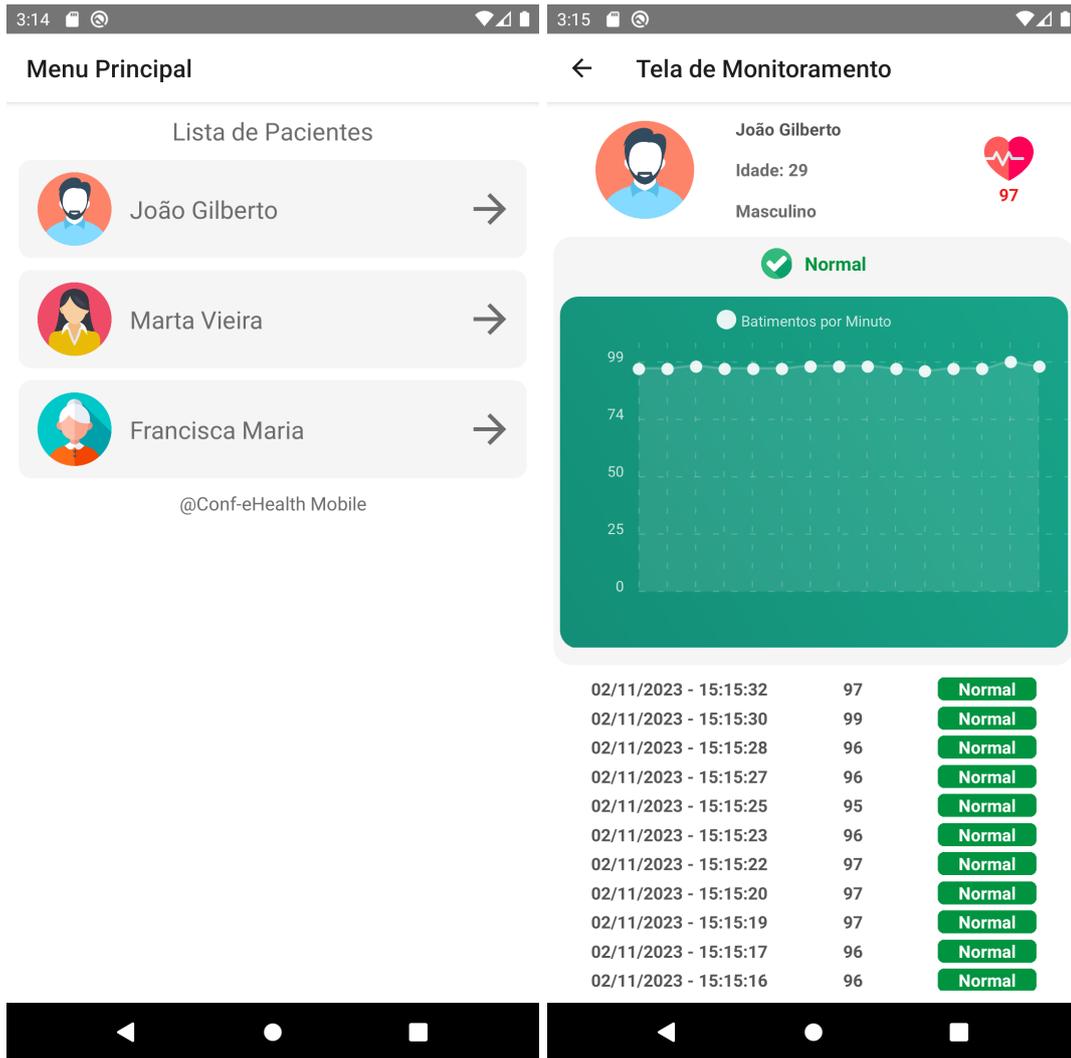


Figura 24 – Capturas de tela durante a execução do primeiro cenário.

O experimento realizado sobre o segundo cenário avaliou 226 medições durante um período de 08 minutos e 36 segundos. Neste cenário, o aplicativo precisou lidar com dados considerados incomuns na frequência cardíaca de uma pessoa, porém, durante o experimento, o algoritmo aplicou a regra de negócio sobre todas as medições desta faixa de dados sem nenhum erro.

A Figura 25 apresenta duas capturas de tela realizadas durante o experimento no segundo cenário. As capturas mostram como a aplicação se comporta sobre uma variação considerada incomum na frequência cardíaca de um paciente. Quando os valores ultrapassaram o limite considerado saudável, o sinal de alerta acima do gráfico é atualizado com uma notificação indicando esse problema. Além disso, a listagem de dados feita abaixo do gráfico também mostra os dados com a marcação adequada.

O experimento realizado sobre o terceiro cenário avaliou 125 medições durante um período de 04 minutos e 18 segundos. Este foi o cenário com a menor faixa de dados a serem avaliados e consequentemente o menor período de tempo de execução, porém o mais

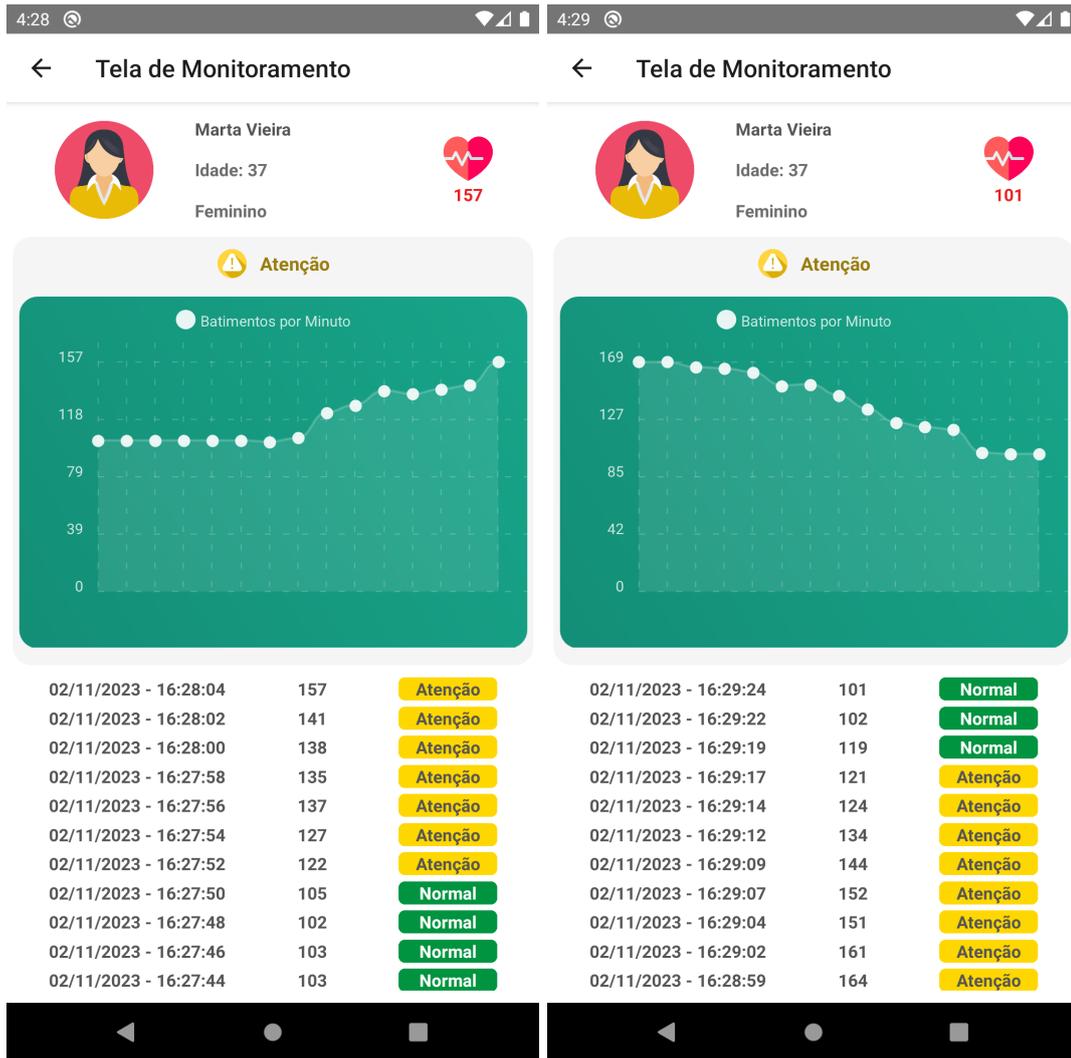


Figura 25 – Capturas de tela durante a execução do segundo cenário.

importante entre os três. Neste cenário, a aplicação correta da regra de negócio sobre os dados foi essencial para a indicação adequada de um problema de saúde que demanda auxílio emergencial imediato. Durante a execução do experimento, o algoritmo aplicou a regra de negócio sobre todas as medições sem nenhum erro.

A Figura 26 apresenta duas capturas de tela realizadas durante o experimento no terceiro cenário. Em um cenário emergencial além da atualização visual da página, o encaminhamento de ajuda médica também é necessário. Para esse fim, um *modal* com as informações de ajuda e um botão de confirmação foi construído. Quando o primeiro dado classificado como perigoso é encontrado o *modal* é acionado automaticamente, esperando apenas a confirmação, caso o cuidador externo queira conferir os dados ele pode voltar à tela anterior e depois abrir o modal na área de notificação acima do gráfico.

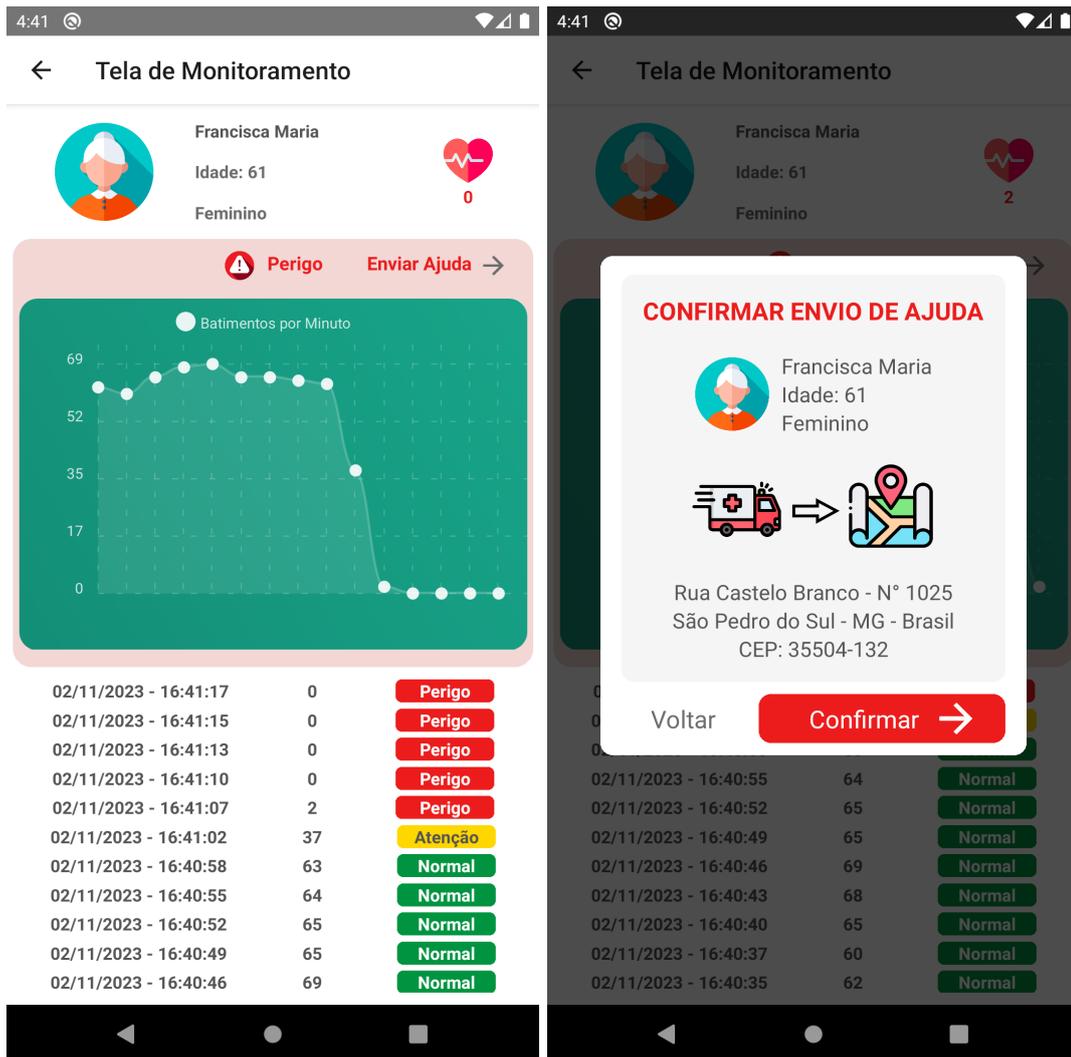


Figura 26 – Capturas de tela durante a execução do terceiro cenário.

6.3 Discussões

A realização do experimento mostrou que é possível apresentar dados de saúde provenientes de um ambiente de monitoramento de maneira prática e visualmente agradável, porém ainda existem questões que podem ser discutidas de maneira mais profunda. O aplicativo foi desenvolvido para integrar a arquitetura proposta e garantir os atributos de qualidade mapeados, neste contexto temos as seguintes discussões:

- A aplicação se manteve disponível por aproximadamente uma hora e quinze minutos de monitoramento, sem nenhum erro. Sobre o aspecto da disponibilidade, uma vez que as outras partes do sistema se mantenham disponíveis a aplicação é capaz receber esses dados e fazer a apresentação para o cuidador externo continuamente.
- O aplicativo foi desenvolvido utilizando o *framework* React Native, o que garante o uso tanto para Android quanto para IOS. Os dados de monitoramento são recebidos via API, assim é de responsabilidade da arquitetura que os dados cheguem no formato

adequado para o aplicativo. Essas características são importantes para garantir o atributo de interoperabilidade para este componente.

- Ao total 1830 medições foram avaliadas pela aplicação, a regra de negócio foi aplicada corretamente para todos os valores e a apresentação dos dados foi realizada de acordo. Desta forma a acurácia da aplicação em lidar com os dados pode ser considerada como garantida, uma vez que outros setores da arquitetura também tragam essa garantia.
- Cada ciclo de repetição do algoritmo possui um *timeout* de 1 segundo entre uma medição e outra. Caso um valor considerado perigoso dentro da regra de negócio definida para o paciente seja encontrado, o *modal* de envio de ajuda é acionado diretamente, ou seja, sem tempo de espera considerável. Essa característica é importante para entender o atributo de latência, ou tempo de resposta, deste componente.

Os atributos de segurança e eficiência energética não foram levados em consideração para a realização do experimento neste componente, mas podem ser discutidos também dentro do contexto dos atributos de qualidade buscados na arquitetura.

- Sobre a segurança: Para a utilização da aplicação é essencial que o usuário esteja autenticado, assim o cuidador externo terá acesso apenas aos dados e pacientes adequados. Além disso, a transmissão dos dados não pode ser feita de maneira aberta, possibilitando a interceptação dos dados através das APIs.
- Sobre a eficiência energética: Os *smartphones* atualmente ainda dependem de bateria e o custo energético de uma aplicação de monitoramento pode ser medido em longos períodos de uso, com o objetivo de entender o impacto da aplicação na bateria dos dispositivos. Porém esse é um atributo de importância secundária, uma vez que os dados do paciente também podem ser consultados pela aplicação *web* mapeada para a arquitetura.

O experimento realizado indica resultados promissores na apresentação prática e visualmente agradável de dados de saúde pelo aplicativo desenvolvido. A disponibilidade do componente foi avaliada com a execução do experimento de maneira estável durante uma hora e quinze minutos de monitoramento. A escolha da linguagem React Native e a integração com a arquitetura proposta buscam interoperabilidade ao lidar com os dados recebidos das APIs. A acurácia do aplicativo, foi evidenciada pelo processamento correto de 1830 medições, estabelecendo uma base para confiabilidade na tomada de decisão. O equilíbrio entre o tempo de resposta do algoritmo e a ativação imediata do *modal* de ajuda em situações críticas destaca a atenção à latência do componente. Contudo, a segurança, abordada pela autenticação do usuário e proteção na transmissão de dados, e a eficiência energética, permanecem áreas que podem ser exploradas em estudos futuros dentro dos atributos de qualidade almejados para a arquitetura proposta.

7 Conclusão

Ambientes IoT fazem parte do dia a dia da população em diferentes países no mundo, porém, não há garantias sobre aspectos básicos relacionados à confiabilidade dos mesmos. Ao atacar essa limitação, é possível aprender sobre diversos conceitos que compõem essas aplicações, onde diferentes tecnologias, protocolos e sistemas, trabalham em conjunto para monitorar um paciente. Essa diversidade conceitual e tecnológica enriquece o processo de pesquisa e desenvolvimento de qualquer tipo de solução que venha a ser proposta em trabalhos como este.

Em um contexto pandêmico, como o enfrentado durante a crise do COVID-19, tais aplicações se mostram ainda mais importantes. Diante da possibilidade de sobrecarga dos sistemas de saúde em diferentes partes do mundo em função do volume de pacientes, a existência de alternativas acessíveis à população e capazes de fornecer suporte durante períodos de incerteza é fundamental. Nesse cenário, é possível observar o surgimento de diversos trabalhos similares, impulsionados pela necessidade de atendimento remoto, que se tornou um elemento crucial.

Existem diversos desafios quando o objetivo de um trabalho é propor padrões para aplicações relacionadas à área da saúde. Atualmente, existem diferentes tipos de aplicações que monitoram diferentes aspectos da saúde de um paciente. Desta forma, propor uma arquitetura de referência capaz de cobrir essas aplicações mas respeitando suas individualidades, se mostra como um grande desafio.

Outro ponto importante está ligado aos atributos de qualidade desejados para essa arquitetura. Garantir um atributo de qualidade de maneira individual ou apenas um conjunto incompleto de atributos, como segurança e disponibilidade, por exemplo, não garante a confiabilidade da arquitetura como um todo. Para tal, faz-se necessário uma visão global das aplicações e todos os atributos mapeados, o que se mostra como outro desafio a ser transpassado.

Apesar dos desafios enfrentados, foi possível desenvolver uma arquitetura de referência para o contexto definido. A capacidade conceitual da arquitetura em abranger os atributos de qualidade desejados foi discutida através do processo de avaliação arquitetural realizado. Durante o processo, a arquitetura foi descrita didaticamente para um grupo de alunos, e os resultados mostram um bom nível de entendimento dos participantes sobre a mesma. Além disso, as notas atribuídas à arquitetura, baseadas na classificação e nos pesos dos cenários, mostram um resultado expressivo dentro da metodologia proposta.

Por fim, a implementação da aplicação móvel mapeada para arquitetura foi validada através do experimento proposto. O experimento envolveu aplicação das regras de negócio

definidas aos dados provenientes do monitoramento cardíaco de pacientes. Os resultados do experimento mostram como a aplicação se utiliza da arquitetura proposta para garantir a disponibilidade do monitoramento e também para garantir a precisão e apresentação adequada dos dados de saúde, com o objetivo de auxiliar o cuidador externo a tomar decisões confiáveis sobre a saúde de um paciente, incluindo em situações emergenciais.

7.1 Próximos Passos e Direções Futuras

Para trabalhos futuros a implementação de outros componentes da arquitetura é um passo importante para a consolidação da mesma. A implementação prototípica da arquitetura aplicada a um contexto real pode agregar valor na garantia dos atributos de qualidade propostos. Além disso, os desafios relacionados a contextos específicos podem ser mapeados, auxiliando na variabilidade da arquitetura e também no cumprimento de atributos que não foram mapeados inicialmente.

Uma vez que mais componentes da arquitetura forem implementados, uma análise dos *trade-offs* da arquitetura pode ser realizada de maneira técnica, avaliando os atributos desejados sobre outros componentes. Realizar uma análise das possíveis tecnologias disponíveis para a implementação dos componentes também pode ajudar a entender em qual nível a implementação de um atributo de qualidade pode afetar negativamente outro.

Em conclusão, apesar dos resultados positivos alcançados com a avaliação arquitetural e experimentos realizados, ainda existem oportunidades de pesquisa para a continuidade do trabalho. A busca por confiabilidade em tecnologias na área da saúde é um processo complexo, principalmente em função das características da área, desta forma mais testes e avaliações comparativas entre tecnologias são sempre bem-vindas.

7.2 Publicação

A revisão sistemática de literatura desenvolvida no Capítulo 2 gerou um artigo nomeado *A systematic literature review on trustworthiness for applications used in eHealth environments*¹. O artigo em questão foi submetido e aceito para publicação no *Journal of Multidisciplinary Healthcare*².

¹ <https://doi.org/10.2147/JMDH.S429071>

² <https://www.dovepress.com/journal-of-multidisciplinary-healthcare-journal>

Referências

- ADIL, M. et al. An ai-enabled hybrid lightweight authentication scheme for intelligent iomt based cyber-physical systems. *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, p. 1–1, 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. *Critérios para a concessão ou renovação da Certificação de Boas Práticas de Fabricação de Dispositivos Médicos*. [S.l.], 2022.
- AL-KHAMMASI, S.; ALI, N. S. Wearable healthcare indoor monitoring system based on internet of things. In: *2021 Palestinian International Conference on Information and Communication Technology (PICICT)*. [S.l.: s.n.], 2021. p. 65–70.
- ANA LUIZA LIMA. *Frequência cardíaca normal: batimento cardíaco por idade*. 2023. Disponível em: <<https://www.tuasaude.com/frequencia-cardiaca/>>.
- ANGELOV, S.; GREFFEN, P.; GREEFHORST, D. A classification of software reference architectures: Analyzing their success and effectiveness. In: *2009 Joint Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture & European Conference on Software Architecture*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 141–150.
- APPENZELLER, A. et al. Privacy and utility of private synthetic data for medical data analyses. *Applied Sciences*, v. 12, n. 23, 2022. ISSN 2076-3417. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/12/23/12320>>.
- AUTORIDADE NACIONAL DE PROTEÇÃO DE DADOS PESSOAIS (ANPD). *Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD)*. [S.l.], 2018.
- BASS, L.; CLEMENTS, P.; KAZMAN, R. *Software Architecture in Practice: Software Architect Practice_c3*. [S.l.]: Addison-Wesley, 2012.
- BISWAS, M. et al. Indoor navigation support system for patients with neurodegenerative diseases. In: SPRINGER. *International Conference on Brain Informatics*. [S.l.], 2021. p. 411–422.
- BOWEN, S. et al. Telemedicine visits in an established multidisciplinary central nervous system clinic for radiation oncology and neurosurgery (radiants) in a community hospital setting. *Bratislava Medical Journal*, v. 122, p. 680–683, 01 2021.
- CHEN, M. et al. 5g-smart diabetes: Toward personalized diabetes diagnosis with healthcare big data clouds. *IEEE Communications Magazine*, v. 56, n. 4, p. 16–23, 2018.
- CHEN, Z. Design and analysis of adolescent physical health monitoring system under the background of internet of things and 5g. *Journal of Healthcare Engineering*, Hindawi, v. 2021, 2021.
- CHOI, A.; NOH, S.; SHIN, H. Internet-based unobtrusive tele-monitoring system for sleep and respiration. *IEEE Access*, v. 8, p. 76700–76707, 2020.
- CLOUTIER, R. et al. The concept of reference architectures. *Systems Engineering*, Wiley Online Library, v. 13, n. 1, p. 14–27, 2010.

CPQD REVISION. *Dojot Documentation*. [S.l.], 2020.

DEVI, V. et al. An effective cloud based personal emergency response system by providing privacy protection for the medical data. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, v. 7, p. 261–265, 06 2018.

FARO, A.; GIORDANO, D.; VENTICINQUE, M. Deploying wifi, rf and ble sensors for pervasive monitoring and control. In: *2020 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 605–610.

FIWARE FOUNDATION, E.V. *FIWARE Components*. [S.l.], 2022.

FOUAD, H.; KAMEL, H. A proposed end to end telemedicine system based on embedded system and mobile application using cmos wearable sensors. In: *2021 International Telecommunications Conference (ITC-Egypt)*. [S.l.: s.n.], 2021. p. 1–6.

GALSTER, M.; AVGERIOU, P. Empirically-grounded reference architectures: A proposal. In: *Proceedings of the Joint ACM SIGSOFT Conference – QoSA and ACM SIGSOFT Symposium – ISARCS on Quality of Software Architectures – QoSA and Architecting Critical Systems – ISARCS*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2011. (QoSA-ISARCS '11), p. 153–158. ISBN 9781450307246. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2000259.2000285>>.

HAN, J. et al. Lora-based smart iot application for smart city: an example of human posture detection. *Wireless Communications and Mobile Computing*, Hindawi, v. 2020, 2020.

HUYNH, Q. T.; NGUYEN, U. D.; TRAN, B. Q. A cloud-based system for in-home fall detection and activity assessment. In: SPRINGER. *International Conference on the Development of Biomedical Engineering in Vietnam*. [S.l.], 2018. p. 103–108.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO/IEC/IEEE 42010:2022 - Software, systems and enterprise — Architecture description*. [S.l.], 2022.

JGRAPH LTD. *Diagrams.net*. [S.l.], 2022.

JOSÉ ALDAIR MORSCH. *Batimentos cardíacos normais: como medir e manter a frequência ideal*. 2021. Disponível em: <<https://telemedicinamorsch.com.br/blog/batimentos-cardiacos-normais>>.

KANSARA, R.; BHOJANI, P.; CHAUHAN, J. Designing smart wearable to measure health parameters. In: *2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–5.

KAZMAN, R. et al. Scenario-based analysis of software architecture. *IEEE Software*, v. 13, n. 6, p. 47–55, 1996.

KAZMAN, R. et al. Saam: a method for analyzing the properties of software architectures. In: *Proceedings of 16th International Conference on Software Engineering*. [S.l.: s.n.], 1994. p. 81–90.

KEELE, S. et al. *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering*. [S.l.], 2007.

KHAN, A. A. et al. Internet of things (iot) security with blockchain technology: A state-of-the-art review. *IEEE Access*, v. 10, p. 122679 – 122695, 11 2022.

- KHAN, A. A. et al. Biomt: A state-of-the-art consortium serverless network architecture for healthcare system using blockchain smart contracts. *IEEE Access*, v. 10, p. 1–1, 01 2022.
- KHAREL, J.; REDA, H. T.; SHIN, S. Y. Fog computing-based smart health monitoring system deploying lora wireless communication. *IETE Technical Review*, Taylor & Francis, v. 36, n. 1, p. 69–82, 2019.
- KULKARNI, A.; SUCHETHA, M.; KUMARAVEL, N. Iot based low power wearable ecg monitoring system. *Current Signal Transduction Therapy*, Bentham Science Publishers, v. 14, n. 1, p. 68–74, 2019.
- KUMARAGE, H. et al. Secure data analytics for cloud-integrated internet of things applications. *IEEE Cloud Computing*, v. 3, n. 2, p. 46–56, 2016.
- LAKSHMI, G. J.; GHONGE, M.; OBAID, A. J. Cloud based iot smart healthcare system for remote patient monitoring. *EAI Endorsed Transactions on Pervasive Health and Technology*, v. 7, n. 28, p. e4–e4, 2021.
- LAVRIC, A. et al. Internet of things concept in the context of the covid-19 pandemic: A multi-sensor application design. *Sensors*, MDPI, v. 22, n. 2, p. 503, 2022.
- LI, F. et al. Wi-covid: A covid-19 symptom detection and patient monitoring framework using wifi. *Smart Health*, Elsevier, v. 19, p. 100147, 2021.
- LIU, C. et al. Signal quality assessment and lightweight qrs detection for wearable ecg smartvest system. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 6, n. 2, p. 1363–1374, 2019.
- LIU, Y.; CUI, J. Design and implementation of human health monitoring platform based on internet of things technology. In: *2017 IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE) and IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC)*. [S.l.: s.n.], 2017. v. 2, p. 422–425.
- MIA, M. M. H. et al. An internet of things application on continuous remote patient monitoring and diagnosis. In: *2021 4th International Conference on Bio-Engineering for Smart Technologies (BioSMART)*. [S.l.: s.n.], 2021. p. 1–6.
- NATARAJA, S.; NATARAJA, P. Iot based application for e-health an improvisation for lateral rotation. In: *2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1018–1021.
- PAUL, C.; KAZMAN, R.; KLEIN, M. Evaluating software architectures: methods and case studies. *AddisonÇeWesley, Boston, MA*, 2002.
- PETERSEN, K. et al. Systematic mapping studies in software engineering. In: *12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE) 12*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 1–10.
- PRASAD, D.; CHIPLUNKAR, N. N.; NAYAK, K. P. A trusted ubiquitous healthcare monitoring system for hospital environment. *International Journal of Mobile Computing and Multimedia Communications (Ijmcme)*, IGI Global, v. 8, n. 2, p. 14–26, 2017.
- PRATES, R. O.; BARBOSA, S. D. J. Introdução à teoria e prática da interação humano computador fundamentada na engenharia semiótica. *Jornadas de Atualização em Informática*, v. 1.0, p. 263–326, 2007.

R, B. V. et al. Internet of things based smart health care system using lora. In: *2021 2nd International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC)*. [S.l.: s.n.], 2021. p. 89–95.

RAFAELLA ELIRIA ABBOTT ERICKSSON. *Qual a frequência cardíaca normal por idade?* 2020. Disponível em: <<https://medicoresponde.com.br/qual-a-frequencia-cardiaca-normal-por-idade/>>.

RAHIMOON, A. A.; ABDULLAH, M. N.; TAIB, I. Design of a contactless body temperature measurement system using arduino. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, v. 19, n. 3, p. 1251–1258, 2020.

RANA, A. K.; SHARMA, S. Internet of things based stable increased-throughput multi-hop protocol for link efficiency (iot-simple) for health monitoring using wireless body area networks. *International Journal of Sensors Wireless Communications and Control*, Bentham Science Publishers, v. 11, n. 7, p. 789–798, 2021.

RIBEIRO, F. C. et al. Keep calm and visualize your data. *XII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação - SBSI*, n. 2, p. 31–52, Maio 2016.

ROOT, K. et al. Archives of medical case reports and case study minimally invasive procedures, perioperative telemedicine, and decreased hospital stays following covid-19 surgical restrictions: Spinal surgery. *Archives of Medical Research*, v. 6, 10 2022.

SHI, K.; SCHELLENBERGER, S. *GUARDIAN Vital Sign Data*. 2019. Figshare. Collection. Disponível em: <<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.4633958>>.

SHI, K. et al. A dataset of radar-recorded heart sounds and vital signs including synchronised reference sensor signals. *Scientific Data*, v. 7, p. 1–12, 02 2020.

SIGWELE, T. et al. Intelligent and energy efficient mobile smartphone gateway for healthcare smart devices based on 5g. In: *2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–7.

SIMON BROWN. *The C4 model for visualising software architecture*. [S.l.], 2011.

SOOD, R. et al. Iot enabled smart wearable device - sukoon. In: *2018 Fourteenth International Conference on Information Processing (ICINPRO)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–4.

STAUSS, H. M. Heart rate variability. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, v. 285, n. 5, p. R927–R931, 2003. PMID: 14557228. Disponível em: <<https://doi.org/10.1152/ajpregu.00452.2003>>.

TSUJI, H. et al. Determinants of heart rate variability. *Journal of the American College of Cardiology*, v. 28, n. 6, p. 1539–1546, 1996. ISSN 0735-1097. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0735109796003427>>.

VISUAL PARADGM. *Visual Paradgm Online*. [S.l.], 2022.

WIJETHILAKA, S. et al. A comprehensive analysis on network slicing for smart hospital applications. In: *2022 IEEE 19th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*. [S.l.: s.n.], 2022. p. 276–279.

- WU, F. et al. Edge-based hybrid system implementation for long-range safety and healthcare iot applications. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 8, n. 12, p. 9970–9980, 2021.
- WU, F. et al. We-safe: A wearable iot sensor node for safety applications via lora. In: *2018 IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 144–148.
- WU, F.; WU, T.; YUCE, M. R. Design and implementation of a wearable sensor network system for iot-connected safety and health applications. In: *2019 IEEE 5th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 87–90.
- WU, F.; WU, T.; YUCE, M. R. An internet-of-things (iot) network system for connected safety and health monitoring applications. *Sensors*, v. 19, n. 1, 2019. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/19/1/21>>.
- YANG, Y. et al. Iot system for collecting vital signs and geographic location data of mobile users. In: *2020 International Conference on Communications, Information System and Computer Engineering (CISCE)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 163–168.
- YI, W.-J. et al. Design flow of neural network application for iot based fall detection system. In: *2018 IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 0578–0582.

Anexos

ANEXO A – Parecer Consustanciado



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Conf-eHealth: Uma Arquitetura para o Desenvolvimento de Aplicações eHealth com Alta Confiabilidade

Pesquisador: EDVARD MARTINS DE OLIVEIRA

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 71858223.8.0000.5094

Instituição Proponente: Universidade Federal de Itajubá

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.318.150

Apresentação do Projeto:

As aplicações de eHealth abrangem uma ampla gama de serviços, como registros eletrônicos de saúde, monitoramento remoto, telemedicina, sistemas de suporte à decisão clínica e aplicativos móveis de saúde. No entanto, a crescente dependência dessas aplicações em ambiente digital também traz consigo desafios significativos em relação à confiabilidade. Diante desses desafios, surge a necessidade de desenvolver uma arquitetura computacional que garanta a confiabilidade das aplicações de eHealth. Essa arquitetura deve ser capaz de lidar com os requisitos de segurança, disponibilidade, integridade e privacidade dos dados, a fim de assegurar que as informações de saúde sejam precisas, acessíveis somente às partes autorizadas e estejam disponíveis quando necessárias.

Objetivo da Pesquisa:

O objetivo geral da pesquisa é validar a arquitetura proposta por meio de formulários usando a metodologia SAAM (Software Architecture Analysis Method).

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Foram apresentados os riscos mínimos, bem como as ações para minimizar estes riscos. Também foram apresentados os benefícios da pesquisa.

Endereço: Av. Dr. Antônio Braga Filho, 687, Bloco 500, 1º pavimento, sala 505

Bairro: PORTO VELHO

CEP: 37.501-002

UF: MG

Município: ITAJUBA

Telefone: (35)3629-8430

Fax: (35)3629-8400

E-mail: cep@fepi.br



Continuação do Parecer: 6.318.150

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Será aplicado um questionário através da plataforma Google forms a 70 participantes.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

- protocolo de pesquisa com presença de folha de rosto devidamente preenchida e assinada, e
- projeto de pesquisa com as descrições necessárias para sua avaliação.
- prevê Termo de Consentimento Livre e Esclarecido em linguagem acessível e contempla os requisitos previsto na resolução.

Recomendações:

Sem recomendações.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Sem pendências.

Considerações Finais a critério do CEP:

RESSALTA-SE QUE CABE AO PESQUISADOR RESPONSÁVEL ENCAMINHAR OS RELATÓRIOS PARCIAIS E FINAL DA PESQUISA, POR MEIO DA PLATAFORMA BRASIL, VIA NOTIFICAÇÃO DO TIPO "RELATÓRIO" PARA QUE SEJAM DEVIDAMENTE APRECIADAS NO CEP, CONFORME NORMA OPERACIONAL CNS N°001/13, ITEM XI.2.D.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2160988.pdf	05/09/2023 09:09:43		Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRostoeHealthAtualizada.pdf	05/09/2023 09:08:44	EDVARD MARTINS DE OLIVEIRA	Aceito
Recurso Anexado pelo Pesquisador	CartaRespostaCEP.docx	01/09/2023 08:43:11	EDVARD MARTINS DE OLIVEIRA	Aceito
Cronograma	CronogramadaPesquisa.pdf	01/09/2023 08:42:15	EDVARD MARTINS DE OLIVEIRA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLEAvaliacaoArquiteturalConfeHealth.pdf	01/09/2023 08:41:44	EDVARD MARTINS DE OLIVEIRA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ProjetoDetalhadoConfeHealth.pdf	01/09/2023 08:37:56	EDVARD MARTINS DE OLIVEIRA	Aceito
Brochura Pesquisa	FomularioPropostoConfeHealth.pdf	04/07/2023	EDVARD MARTINS	Aceito

Endereço: Av. Dr. Antônio Braga Filho, 687, Bloco 500, 1º pavimento, sala 505

Bairro: PORTO VELHO

CEP: 37.501-002

UF: MG

Município: ITAJUBA

Telefone: (35)3629-8430

Fax: (35)3629-8400

E-mail: cep@fepi.br



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE
ITAJUBÁ



Continuação do Parecer: 6.318.150

Brochura Pesquisa	FomularioPropostoConfeHealth.pdf	11:42:51	DE OLIVEIRA	Aceito
-------------------	----------------------------------	----------	-------------	--------

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

ITAJUBA, 22 de Setembro de 2023

Assinado por:
Leonardo José Rennó Siqueira
(Coordenador(a))

Endereço: Av. Dr. Antônio Braga Filho, 687, Bloco 500, 1º pavimento, sala 505
Bairro: PORTO VELHO **CEP:** 37.501-002
UF: MG **Município:** ITAJUBA
Telefone: (35)3629-8430 **Fax:** (35)3629-8400 **E-mail:** cep@fepi.br