

20 SBCAS 20

Salvador, BA

20º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO
APLICADA À SAÚDE

LIVRO DE MINICURSOS

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO



APOIO



20 **SBCAS** 20

20º Simpósio Brasileiro de Computação
Aplicada à Saúde

Salvador, BA, 15 a 18 de setembro de 2020

**LIVRO DE MINICURSOS
DO SBCAS 2020**

Organização do Livro

Débora Christina Muchaluat Saade (UFF) e Robespierre Pita (UFBA/CIDACS)

Coordenação-Geral

Paulo Eduardo Ambrósio (UESC)
Marcos Ennes Barreto (UFBA/CIDACS)

Realização

Universidade Federal da Bahia – UFBA
Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC
Sociedade Brasileira de Computação – SBC

20ª Edição

**Sociedade Brasileira de Computação – SBC
Porto Alegre**

Copyright © 2020 Sociedade Brasileira de Computação
Todos os direitos reservados

Capa: Emanuel Antunes Machado
Editoração: Marina Ivanov Pereira Josué

Ficha elaborada pela Biblioteca da Escola de Engenharia e Instituto de Computação da UFF

S612 Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde (20. : 2020 :
Salvador, BA)
Livro de minicursos... / 20º Simpósio Brasileiro de Computação
Aplicada à Saúde, Salvador, BA, 15 a 18 de setembro de 2020 ;
organização Débora Christina Muchaluat Saade, Robespierre Pita ;
coordenação geral Paulo Eduardo Ambrósio, Marcos Ennes Barreto. –
Porto Alegre : SBC, 2020.
vi, 193 p.
ISBN: 978-65-87003-10-8

1. Computação. 2. Arquitetura de software. 3. Rede de sensores. 4.
Saúde. I. Saade, Débora Christina Muchaluat. II. Pita, Robespierre. III.
Ambrósio, Paulo Eduardo. IV. Barreto, Marcos Ennes. V. Título.

CDD 004

Bibliotecária responsável: Ana Cláudia de O. Cunha CRB-7/4274

Sociedade Brasileira de Computação – SBC

Presidência

Raimundo José de Araújo Macêdo (UFBA), Presidente

André Carlos Ponce de Leon Ferreira de Carvalho (USP), Vice-Presidente

Diretorias

Renata de Matos Galante (UFRGS), Diretora Administrativa

Carlos André Guimarães Ferraz (UFPE), Diretor de Finanças

Cristiano Maciel (UFMT), Diretor de Eventos e Comissões Especiais

Itana Maria de Souza Gimenes (UEM), Diretora de Educação

José Viterbo Filho (UFF), Diretor de Publicações

Priscila América Solís Mendez Barreto (UNB), Diretora de Planejamento e Programas Especiais

Marcelo Duduchi Feitosa (CEETEPS), Diretor de Secretarias Regionais

Francisco Dantas de Medeiros Neto (UERN), Diretor de Divulgação e Marketing

Edson Norberto Cáceres (UFMS), Diretor de Relações Profissionais

Carlos Eduardo Ferreira (USP), Diretor de Competições Científicas

Wagner Meira (UFMG), Diretor de Cooperação com Sociedades Científicas

Rossana Maria de Castro Andrade (UFC), Diretora de Articulação com Empresas

Diretorias Extraordinárias

Leila Ribeiro (UFRGS), Diretora de Ensino de Computação na Educação Básica

Contato

Av. Bento Gonçalves, 9500

Setor 4 - Prédio 43.412 - Sala 219

Bairro Agronomia

91.509-900 – Porto Alegre RS

CNPJ: 29.532.264/0001-78

<http://www.sbrc.org.br>

Mensagem da Coordenação Geral

Gostaríamos de dar as boas-vindas a todos os participantes do 20º Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde (SBCAS 2020), realizado entre 15 e 18 de setembro de 2020. Originalmente agendado para ocorrer em Salvador, Bahia, o evento ocorre de forma virtual dado o caráter excepcional deste ano de 2020. É uma grande satisfação poder reunir as comunidades de computação e de saúde em um evento multidisciplinar, que promove e incentiva a realização de pesquisas e trabalhos inovadores com potencial de trazer benefícios diretos à nossa sociedade. É também gratificante ver o comprometimento e apoio de estudantes, professores, pesquisadores, comitê organizador e da comunidade científica para tornar a realização deste evento possível. A programação do SBCAS 2020 está bastante abrangente e com grande qualidade técnica, formada por minicursos, sessões técnicas, palestras, Workshop de Ferramentas e Aplicações (WFA), Concurso de Teses e Dissertações (CTD) e Concurso de Trabalhos de Iniciação Científica (CTIC). A qualidade da programação é resultado do empenho de diversas pessoas. Portanto, nosso agradecimento a todos os membros do comitê de programa e, em especial, aos coordenadores do comitê de programa da trilha principal (Cristiano André da Costa – UNISINOS), da trilha de minicursos (Débora Muchaluat-Saade – UFF, Robespierre Pita – UFBA/CIDACS), aos coordenadores do Workshop de Ferramentas e Aplicações (Artur Ziviani – LNCC, Roberto Carreiro – CIDACS), do Concurso de Teses e Dissertações (Lucas Ferrari – UFPR, Victor Sarinho – UEFS) e do Concurso de Trabalhos de Iniciação Científica (Rodrigo Veras – UFPI). Agradecemos o apoio financeiro da CAPES e do CNPq, e o apoio institucional da Universidade Federal da Bahia (UFBA), da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), do Centro de Integração de Dados e de Conhecimento para Saúde (CIDACS), da Sociedade Brasileira de Informática em Saúde (SBIS) e da Associação Brasileira de Telemedicina e Telessaúde (ABTms). Agradecemos o apoio da Sociedade Brasileira de Computação (SBC) e da Comissão Especial de Computação Aplicada à Saúde (CE-CAS). Por fim, fazemos um agradecimento especial ao grupo de alunos do AtyImoLab (UFBA) e do PPGMC (UESC) que atuam como voluntários durante a realização do SBCAS 2020. Sem o apoio de todos os colaboradores, seria inviável a realização deste evento. Em nome da comissão organizadora do SBCAS 2020, desejamos a todos os participantes dias enriquecedores em conhecimento e troca de experiências, e de agradável convívio virtual.

Paulo Eduardo Ambrósio (UESC)
Marcos Ennes Barreto (UFBA)
Coordenação Geral do SBCAS 2020

Mensagem da Coordenação de Minicursos

O Livro de Minicursos do 20o Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde (SBCAS 2020) traz os textos dos minicursos selecionados e apresentados nesta edição do evento, incluindo quatro minicursos aceitos. Os minicursos são uma oportunidade de atualizar os conhecimentos da comunidade com novos temas relacionados à saúde e à computação, de uma forma didática e de amplo acesso ao público.

Os minicursos foram selecionados através de um processo de revisão por pares do tipo "blind", de um total de 11 propostas de minicursos submetidas, o que implicou uma taxa de aceitação de 36%. O comitê de avaliação contou com 12 pesquisadores de grande renome na área, que realizaram uma criteriosa seleção. Agradecemos a todos os membros do comitê, por suas valiosas contribuições para os trabalhos e dedicação no processo de revisão.

Os quatro trabalhos selecionados apresentam alta qualidade, resultado do esforço dos autores, que dedicaram muitas horas para a produção do conteúdo escrito e da apresentação. Somos gratos a eles também pelo esforço aplicado e pelo sucesso do trabalho.

Agradecemos também ao Comitê de Organização do SBCAS 2020, em especial aos Coordenadores Gerais, Prof. Paulo Eduardo Ambrósio (UESC) e Prof. Marcos Ennes Barreto (UFBA), por todo o suporte durante a seleção e elaboração deste livro.

Finalmente, desejamos que todos os participantes dos minicursos do SBCAS 2020 aproveitem as apresentações, que este ano serão realizadas remotamente!

Débora Muchaluat-Saade (UFF)
Robespierre Pita (UFBA/CIDACS)
Coordenadores de Minicursos do SBCAS 2020

Comitê de Programa de Minicursos

Andre Batista, USP,
Artur Ziviani, LNCC,
Débora Christina Muchaluat Saade, UFF,
Lucas Ferrari de Oliveira, UFPR,
Luciana Salgado, UFF,
Marcos Barreto, UFBA,

Márcia Ito, FATEC-SP,
Natalia Castro Fernandes, UFF,
Paulo Eduardo Ambrósio, UESC,
Robespierre Pita, UFBA,
Rossana Andrade, UFC,
Sergio Miranda Freire, UERJ

CE-CAS – Comissão Especial de Computação Aplicada à Saúde

Lucas Ferrari de Oliveira, UFPR (Coordenador)
Paulo E. Ambrósio, UESC (Vice-coordenador)
Artur Ziviani, LNCC
Cristiano André da Costa, UNISINOS
Débora Christina Muchaluat Saade, UFF
José Raphael Bokehi, UFF / SBEB

Marcia Ito, FATEC-SP / SBIS
Marcos Ennes Barreto, UFBA
Natalia Castro Fernandes, UFF
Rodrigo Rafael Villarreal Goulart, FEEVALE

Sumário

Organização do SBCAS 2020	iv
Mensagens dos organizadores	iv
Comitês	vi
1 <i>Arquiteturas de Software para o Domínio de Saúde.</i> Lina Garcés, Brauner Oliveira, Carolina Arenas	1
2 <i>Ambientes Multissensoriais Aplicados à Saúde: Desenvolvimento de Aplicações e Tendências Futuras.</i> Marina Ivanov, Eyre Montevecchi, Raphael Abreu, Fabio Barreto, Joel dos Santos e Débora Muchaluat-Saade	48
3 <i>Ferramentas OHDSI e a medicina de precisão: Estudos PLE e PLP.</i> Maria Tereza Fernandes Abrahão, Pablo Jorge Madril	90
4 <i>Aplicações em Redes de Sensores na Área da Saúde e Gerenciamento de Dados Médicos: Tecnologias em Ascensão.</i> Allan C. N. dos Santos, Ricardo M. Firmino, Julio C. H. Soto, Dianne S. V. de Medeiros, Diogo M. F. Mattos, Célio V. N. de Albuquerque, Flávio Seixas, Débora C. Muchaluat-Saade e Natalia C. Fernandes	137

Capítulo

1

Arquiteturas de Software para o Domínio de Saúde

Lina Garcés, Brauner Oliveira, Carolina Arenas

Laboratório de Engenharia de Software - LabES

Instituto de Ciências Matemáticas e Computação - ICMC

Universidade de São Paulo - USP

E-mail: linamgr@icmc.usp.br, brauner@usp.br, carolina.arenas@usp.br

Abstract

Software architecture is a sub-discipline of software engineering focusing on the quality of software products/services at the early stage of software development. Despite its importance, healthcare software systems creators have had invested a few efforts to architect these solutions. Therefore, existing healthcare solutions commonly present problems with quality characteristics such as usability, performance, availability, security, safety, and interoperability. This chapter studies software architecture as a strategy to support the development of quality healthcare software systems. Besides presenting the software architecture theoretical foundation, in this chapter also is explained, in a didactic way, how a healthcare software solution could be architected. We expect the knowledge detailed in this chapter can bring a basic understanding to future architects continuing their learning on software architecture and its future application during healthcare software solutions with quality.

Keywords: *software architecture, software systems, software quality, e-Health.*

Resumo

Arquitetura de software é uma sub-disciplina da engenharia de software que visa a qualidade dos produtos e serviços durante as primeiras fases do processo de desenvolvimento. Apesar de sua importância, pouco se investe no projeto arquitetural de sistemas de software na área de saúde. Consequentemente, é comum encontrar soluções de software que apresentam problemas de desempenho, disponibilidade, segurança e interoperabilidade, dentre outros. Este capítulo tem como objetivo introduzir o conceito de arquitetura de software para apoiar o desenvolvimento de sistemas de saúde de qualidade. Além da fundamentação teórica, também é apresentado um exemplo de construção da arquitetura de

um sistema de saúde. Espera-se que o conhecimento fornecido seja suficiente para que o leitor possa iniciar ou aprimorar seu aprendizado na área de arquitetura e sua aplicação no desenvolvimento de sistemas de saúde de qualidade.

Palavras chave: *arquitetura de software, sistemas de software, qualidade de software, e-Saúde.*

1.1. Introdução

Nos últimos anos tem sido possível notar um aumento significativo no fornecimento de uma grande diversidade de equipamentos, dispositivos, tecnologias, serviços e sistemas de software para a área de saúde. Estima-se que o mercado mundial de “*healthtech*” cresceu mais de 141% nos últimos cinco anos, alcançando um total de mais de 14 bilhões de dólares em investimentos no ano de 2019 [Portal Saúde Business 2020]. Espera-se ainda que em 2025 esse setor econômico alcance um valor de US\$ 504 bilhões [Wanderley 2020].

Nesse cenário, o Brasil está consolidado como o maior mercado de *healthtech* na América Latina e o sétimo maior do mundo, gastando cerca de 42 bilhões de dólares em serviços de cuidado de saúde por ano [Portal Saúde Business 2020]. Essa perspectiva é bastante positiva e tem fortalecido empresas nacionais e incentivado a criação de novas *startups* no setor de TI (Tecnologias da Informação) para saúde. No entanto, várias soluções tecnológicas disponíveis no mercado apresentam diversos problemas relacionados à qualidade, o que acaba sendo percebido pelos usuários finais, que em sua grande maioria são profissionais/especialistas na área de saúde, gestores de serviços de saúde e pacientes. Problemas relacionados à usabilidade, segurança, interoperabilidade, disponibilidade, desempenho são frequentes tanto nas tecnologias já estabelecidas no mercado bem como nas que estão surgindo a partir de inovação. Por exemplo, a baixa usabilidade das soluções resulta não apenas em frustração e fadiga dos profissionais, mas pode acarretar em erros que podem ameaçar a segurança do paciente [Ratwani et al. 2015, Caldeira 2017].

Com aparelhos médicos cada vez mais conectados, o aumento no reuso de tecnologias fornecidas por terceiros e o surgimento de novas tecnologias como *IoT (Internet of Things)*, *blockchain*, *big data*, e *cloud computing*, pode aumentar o risco de ataques cibernéticos na área de saúde. A falta de mecanismos responsáveis por mitigar ataques às tecnologias e serviços tem levado a prejuízos bilionários para o setor de saúde [CIO 2019]. Por exemplo, um evento que ficou mundialmente conhecido foi a série de ataques com o *ransomware* WannaCry, que afetou mais de 200 mil computadores e dispositivos em 150 países, “sequestrando” informações das instituições de saúde em troca de pagamentos em criptomoedas, conforme ocorreu com a rede de hospitais do Serviço Nacional de Saúde (NHS) da Inglaterra em 2017 [CBS News 2017].

A necessidade, cada vez mais presente, de interconectar sistemas que foram inicialmente projetados para operar isoladamente e apoiar processos clínicos e hospitalares de maneira “transparente” para os usuários finais, tem demandado a criação e/ou modificação de sistemas para permitir sua interoperação. A falta de interoperabilidade entre diferentes sistemas, dispositivos, tecnologias tem acarretado em perdas significativas no processo de negócio das organizações de saúde e em problemas de segurança, acarretando em aumento nos custos e baixa qualidade no atendimento integral do paciente [Neto and

Junior 2019].

De forma similar, as soluções tecnológicas para o setor de saúde devem atender a níveis elevados de disponibilidade, já que o atendimento e cuidado dos pacientes deve ocorrer de maneira contínua. A baixa disponibilidade de recursos e funcionalidades de um sistema pode levar a grandes perdas econômicas para hospitais e gestores de saúde pública. Por exemplo, em 2015, uma falha no sistema da empresa *Cover Oregon*, responsável pelo desenvolvimento de um sistema web para a troca de informações entre convênios de saúde nos Estados Unidos acarretou em uma perda de aproximadamente 200 milhões de dólares devido a problemas de disponibilidade do sistema. A equipe técnica não considerou requisitos de capacidade, desempenho e disponibilidade da base de dados que era totalmente centralizada, representando uma vulnerabilidade conhecida por *single-point failure* na arquitetura do sistema [Turner 2015].

Os exemplos apresentados servem de motivação para destacar a necessidade de considerar a qualidade dos produtos e serviços tecnológicos em todas suas fases de desenvolvimento. Dessa forma, a fim de apoiar a criação de soluções software de qualidade, a área de engenharia de software vem contribuindo há mais de 50 anos com métodos, técnicas, ferramentas dentre outras abordagens para apoiar as diferentes atividades do processo de desenvolvimento de software, que é composto, principalmente, pela engenharia de requisitos, arquitetura de software, projeto (ou *design*) de software, codificação, teste, configuração, manutenção, evolução e gerenciamento. É preciso que as empresas do setor de TI, incluindo aquelas com foco no setor de saúde, visem a inclusão de boas práticas oriundas da engenharia de software para a construção de seus sistemas de software.

Neste capítulo, é introduzida a disciplina de arquitetura de software como sub-disciplina da engenharia de software, que visa orientar a criação de projetos arquiteturais para que os sistemas de software atendam aos níveis de qualidade requeridos. Além disso, o conceito de arquitetura de software é apresentado neste capítulo como um dos principais artefatos do processo de desenvolvimento, responsável por apoiar a construção ou codificação do software e a comunicação entre diferentes *stakeholders*.

A **Seção 1.2** abre o capítulo apresentando os conceitos fundamentais de arquitetura de software e sua importância para o desenvolvimento de sistemas de alta qualidade, bem como as atividades envolvidas em sua construção. As **Seções 1.3, 1.4, 1.5, 1.6** apresentam a aplicação dos conceitos e atividades para a criação da arquitetura de software do sistema *SIGEAN*, um software para a gestão da divisão de anestesia de um hospital público. O capítulo termina com a apresentação de algumas discussões finais na **Seção 1.7**.

1.2. Arquitetura de Software e Qualidade de Software

O projeto de um sistema de software compreende diversas decisões tomadas por equipes de desenvolvimento para atender um conjunto de requisitos. Parte dessas decisões devem ser tomadas de maneira cuidadosa, pois negligenciar esta atividade de projeto de software pode impactar profundamente todo o processo de desenvolvimento. Esse é o caso das decisões arquiteturais, que em sua totalidade resultam na arquitetura de um sistema de software.

A arquitetura de software de um sistema pode ser definida como o conjunto de

suas estruturas fundamentais, compreendendo elementos de software, suas relações e as propriedades de ambos [Bass et al. 2012]. Essas estruturas representam, por exemplo, as partes nas quais o sistema pode ser dividido para que seja mais fácil compreendê-lo. No nível arquitetural, essas partes são geralmente chamadas de módulos ou componentes, e nem sempre é possível identificá-las analisando o código-fonte de um sistema. É por esse motivo que, comparado à implementação, costuma-se dizer que o projeto arquitetural ou a própria arquitetura está ou ocorre num nível de abstração mais alto, omitindo detalhes de implementação para que seja possível abordar outras questões de projeto de software considerando o escopo total do sistema de software. Por se tratar de um tema abstrato, é possível encontrar várias outras definições de arquitetura de software pela internet. De fato, existem algumas divergências sobre o que pode ser considerado arquitetural ou não no projeto de software. Contudo, todas as definições convergem no sentido que arquitetura de software lida com questões macroscópicas do projeto de software [Fairbanks 2010].

Diferentemente das decisões de projeto, decisões arquiteturais podem afetar drasticamente, de maneira positiva ou negativa, diversas qualidades de um sistema, tais como desempenho, segurança e manutenibilidade. Além disso, reverter esse tipo de decisões em etapas avançadas do processo de desenvolvimento pode exigir muito esforço. Fazendo uma analogia com um prédio de vários andares, é muito mais provável que trocar uma porta ou janela de lugar seja mais fácil do que adicionar um elevador, um novo andar ou novos apartamentos em uma construção já finalizada. Às vezes, tais alterações podem até mesmo ser impossíveis devido às características da estrutura do prédio que por sua vez pode ser, por exemplo, incapaz de suportar a adição de um novo andar. Da mesma forma, a arquitetura de software de um sistema pode permitir que ele exiba certas qualidades mas também pode inibi-las [Bass et al. 2012] e impossibilitar que o requisitos de qualidade sejam atendidos.

Embora o projeto arquitetural de um sistema de software nem sempre seja considerado durante o desenvolvimento, é possível dizer que todo software possui uma arquitetura. Nesse caso, costuma-se dizer que a arquitetura se trata de uma grande bola de lama (em inglês “*big ball of mud*”), resultado indesejado que ainda pode ser encontrado no contexto de desenvolvimento de software profissional nos dias de hoje. Sistemas que sofrem desse tipo de problema se tornam cada vez mais difíceis de se manter à medida em que novas funcionalidades precisam ser incluídas ou se tornam mais complexas. Em contrapartida, arquiteturas bem projetadas são fundamentais para garantir a longevidade dos sistemas e o desenvolvimento de soluções desafiadoras, inovadoras e de qualidade, como é o caso, por exemplo, de serviços de *streaming* como YouTube e Twitch, redes sociais como Facebook e Instagram, e aplicativos de conversa como Telegram e WhatsApp. Além de estarem disponíveis na maioria dos países o tempo todo, esses serviços precisam ser escaláveis para atender eventuais demandas, e ainda desempenhar rápido o suficiente para que suas funcionalidades não sejam prejudicadas. Caso contrário, teriam que arcar com prejuízos como por exemplo a perda de usuários para concorrentes de mercado. Sendo assim, dada a importância do projeto arquitetural, é fundamental compreender como que ele é realizado na indústria de software.

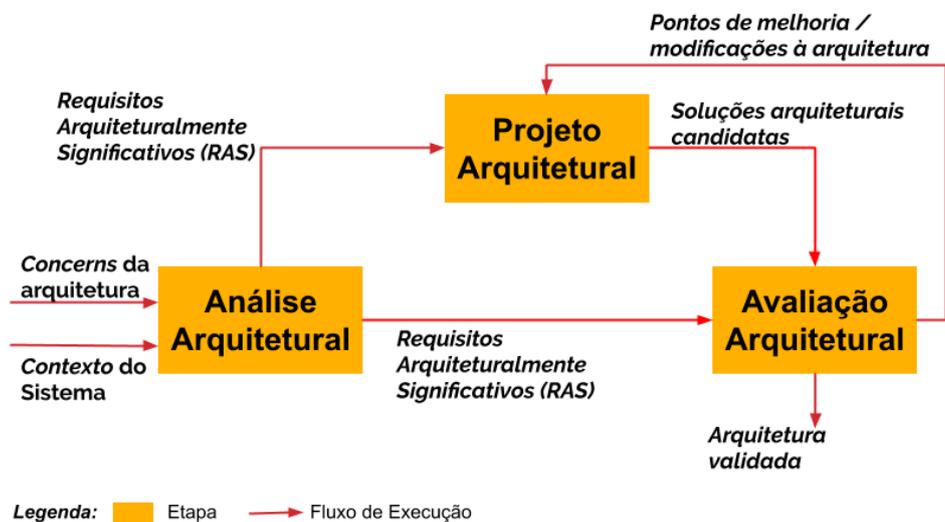


Figura 1.1. Modelo de processo arquitetural identificado a partir da análise de cinco abordagens industriais por [Hofmeister et al. 2007]

1.2.1. Processo Arquitetural

O projeto de uma arquitetura de software ocorre por meio de um modelo de processo geral que envolve três tipos de atividades [Hofmeister et al. 2007], conforme visto na **Figura 1.1**.

A primeira atividade - **análise arquitetural** - tem como objetivo identificar os requisitos que serão significativos para a construção da arquitetura, analisando-se para isso as preocupações arquiteturais e o contexto do projeto. As **preocupações arquiteturais** incluem questões importantes relacionadas ao desenvolvimento e a operação do sistema, bem como aspectos que são críticos ou importantes para alguma parte interessada (*stakeholder*). Em geral, tais preocupações são expressas por meio de requisitos de qualidade do sistema, tais como aqueles relacionados a desempenho, segurança e confiabilidade, mas também podem incluir requisitos oriundos da adoção de padrões e regulamentações. Já o **contexto do projeto** representa as circunstâncias de desenvolvimento, operação, políticas, além de outras que influenciam o sistema de alguma forma. Exemplos oriundos do contexto do projeto incluem, por exemplo, objetivos de negócio, características da empresa que irá desenvolver o sistema e o estado atual da tecnologia.

Assim que os **requisitos arquiteturalmente significativos (RAS)** são identificados, é possível dar início ao projeto arquitetural, que é a principal atividade do processo demonstrado na **Figura 1.1**. Durante essa atividade são tomadas as decisões arquiteturais como por exemplo a aplicação de um ou vários estilos ou padrões arquiteturais (e.g., camadas, cliente-servidor, *peer-to-peer*, orientação a serviços, etc.). O conjunto de decisões arquiteturais compreende as possíveis **soluções arquiteturais candidatas** para um conjunto de RAS. Tais soluções podem apresentar outras soluções alternativas que foram consideradas durante a atividade e também podem apresentar soluções para apenas uma

parte dos RAS. Além disso, as soluções incluem justificativas (*rationale*) para cada decisão tomada, ou seja, o porquê de cada decisão, quais decisões foram consideradas e rejeitadas, e a quais RAS essas decisões estão ligadas (rastreadibilidade).

Finalmente, as soluções candidatas e os RAS são confrontados durante a **avaliação arquitetural** para garantir que a arquitetura final será adequada para cumprir com os requisitos do projeto. Sendo assim, o resultado dessa atividade é uma **arquitetura validada**.

Embora possa parecer que cada atividade seja realizada apenas uma vez seguindo a sequência que tem início na atividade de análise, passando pelo projeto e se encerrando na avaliação da arquitetura, o que ocorre na verdade é que a arquitetura é desenvolvida em vários momentos nos quais os arquitetos alternam entre essas três atividades [Hofmeister et al. 2007]. Isto ocorre pois as informações necessárias para construir uma arquitetura do zero nem sempre estão totalmente disponíveis a priori, como quando o processo de desenvolvimento segue alguma metodologia ágil, por exemplo SCRUM ou XP (eXtreme Programming). Além disso, diferentes forças podem atuar sobre o projeto, ocasionando em mudanças nos requisitos e tornando necessária a recondução de atividades arquiteturais.

1.2.2. Documentação e Representação Arquitetural

Embora todo sistema possua uma arquitetura, nem sempre ela é documentada. Por se tratar de um conceito abstrato, em muitos casos é impossível compreender a arquitetura de um sistema a partir de sua implementação (código-fonte). É por esse e outros motivos que arquitetos e engenheiros de software podem optar por documentar e representar a arquitetura do sistema enquanto este está em seu ciclo de vida útil, que se inicia na fase em que o sistema começa a ser desenvolvido até o momento em que se torna obsoleto e deixa de ser utilizado. A documentação da arquitetura pode incluir diversos itens que possuem alguma relação com as atividades do modelo apresentado na **Figura 1.1**. Informações sobre o contexto, restrições, RAS, resultados de avaliações e a representação da arquitetura são, por exemplo, alguns desses itens. A representação, em especial, é um tipo de documentação no qual a arquitetura de um sistema é representada por meio de diagramas ou modelos, permitindo que a arquitetura seja visualizada.

Há diferentes maneiras de representar uma arquitetura, havendo até mesmo um padrão internacional que define o conceito de representação arquitetural [ISO/IEC/IEEE 2011]. Contudo, o que há de comum entre várias dessas maneiras é o conceito de visão (do Inglês *views*). Como a arquitetura de um sistema geralmente possui várias estruturas e cada estrutura pode apresentar diferentes características e relações com outras estruturas, é impossível representar a arquitetura de um sistema com apenas um modelo ou diagrama. Fazendo analogia com o desenho arquitetônico de edificações, é possível representar uma casa a partir de diferentes perspectivas (ou visões), como pode ser visto na **Figura 1.2**, que apresenta como a partir dessas visões pode-se ter um entendimento “completo” da edificação. De maneira mais clara, não é possível entender completamente o edifício utilizando somente uma visão pois a informação representada é limitada.

No contexto de software, as visões também são criadas para destacar partes específicas do sistema ou de sua arquitetura. A partir delas é possível compreender de



Figura 1.2. Visões comumente utilizadas no desenho arquitetônico de edificações. Fonte: Wikimedia Commons (Licença: CC BY-SA 3.0)

maneira mais clara quais são as estruturas que fazem parte da arquitetura, qual é a relação que existe entre elas e como tal organização pode favorecer o processo de avaliação da arquitetura sob a perspectiva de um atributo de qualidade, por exemplo. Na literatura de arquitetura de software existem várias propostas de visões arquiteturais que podem ser empregadas para a representação arquitetural. Dentre essas abordagens estão o modelo “4+1” [Kruchten 1995], “Views and Beyond” [Clements et al. 2010] e o conjunto de visões de “Rozanski and Woods” [Rozanski and Woods 2011]. As **Figuras 1.3, 1.4 e 1.5** apresentam três exemplos de visões que são comuns em várias das abordagens existentes para obter um conhecimento (quase) “completo” da arquitetura de um sistema de software.

Como o termo módulo é um dos mais utilizados para indicar elementos que compõem uma arquitetura, nada mais justo do que apresentá-los em uma visão. A **Figura 1.3** apresenta o que é talvez um dos tipos de visão mais populares para descrever arquiteturas de software. A **visão de módulos** apresenta a decomposição de um sistema em partes menores denominadas módulos. Cada módulo representa um conjunto de estruturas de software como programas menores, classes de uma linguagem de programação orientada a objetos, *scripts*, vários arquivos de código-fonte, etc., que possuem uma determinada responsabilidade no contexto do sistema. Tais módulos podem ser agregados em outros maiores ou decompostos em módulos menores. Visões de módulo são úteis para [Clements et al. 2010] (i) a construção do sistema já que definem suas partes menores e permite que o desenvolvimento seja realizado de maneira paralela e distribuída; (ii) aná-

lise de impacto e rastreabilidade, já que é possível identificar quais módulos podem ser afetados caso seja necessário adicionar alguma funcionalidade ou realizar algum procedimento de manutenção, além de permitir o mapeamento entre requisitos e módulos que irão fornecer as funcionalidades para satisfazê-los; e (iii) comunicação entre *stakeholders*, já que é possível explicar as funcionalidades do sistema para novo integrantes do time de desenvolvimento.

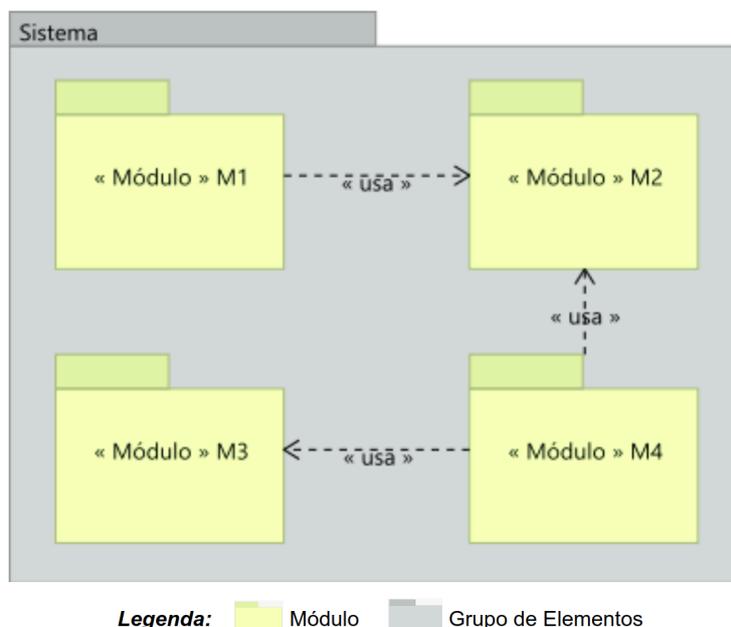


Figura 1.3. Exemplo de Visão de Módulos: o Sistema é decomposto em quatro módulos que apresentam relações de uso entre si. Alterações no módulo M2 podem afetar M1 e M4, enquanto que alterações em M3 pode afetar apenas M4.

Outro tipo bastante conhecido de visão arquitetural é a **visão de módulos em camadas**. Nesse tipo de visão os módulos são agrupados em diferentes camadas que representam algum critério definido pelo arquiteto. A **Figura 1.4** representa um sistema que possui sete módulos distribuídos em três camadas. Os módulos M1 e M2 compartilham alguma característica que os faz serem agrupados na camada C1. O mesmo é válido para os módulos de M3 a M7. Embora possa haver distinções da definição original, um sistema cuja arquitetura segue o padrão de camadas deve respeitar uma restrição importante: camadas superiores só podem acessar as funcionalidades providas pela camada imediatamente abaixo (ou acima, embora menos comum). Isso quer dizer, por exemplo, que os módulos da camada C1 só podem acessar funcionalidades da C2, e os da C2 só possuem acesso aos da C3. Essa relação entre camadas também deve ocorrer de maneira unidirecional, ou seja, a camada C1 pode acessar a C2, mas o contrário não é permitido. Essas regras são importantes para que as propriedades de uma arquitetura em camadas, tais como modificabilidade e portabilidade sejam preservadas. Isso ocorre pois cada camada é responsável por ocultar detalhes de sua implementação, fornecendo às camadas superiores apenas uma interface de suas principais funcionalidades. Deste modo, mudanças numa camada inferior não irão impactar as camadas superiores caso as regras tenham sido respeitadas [Clements et al. 2010].

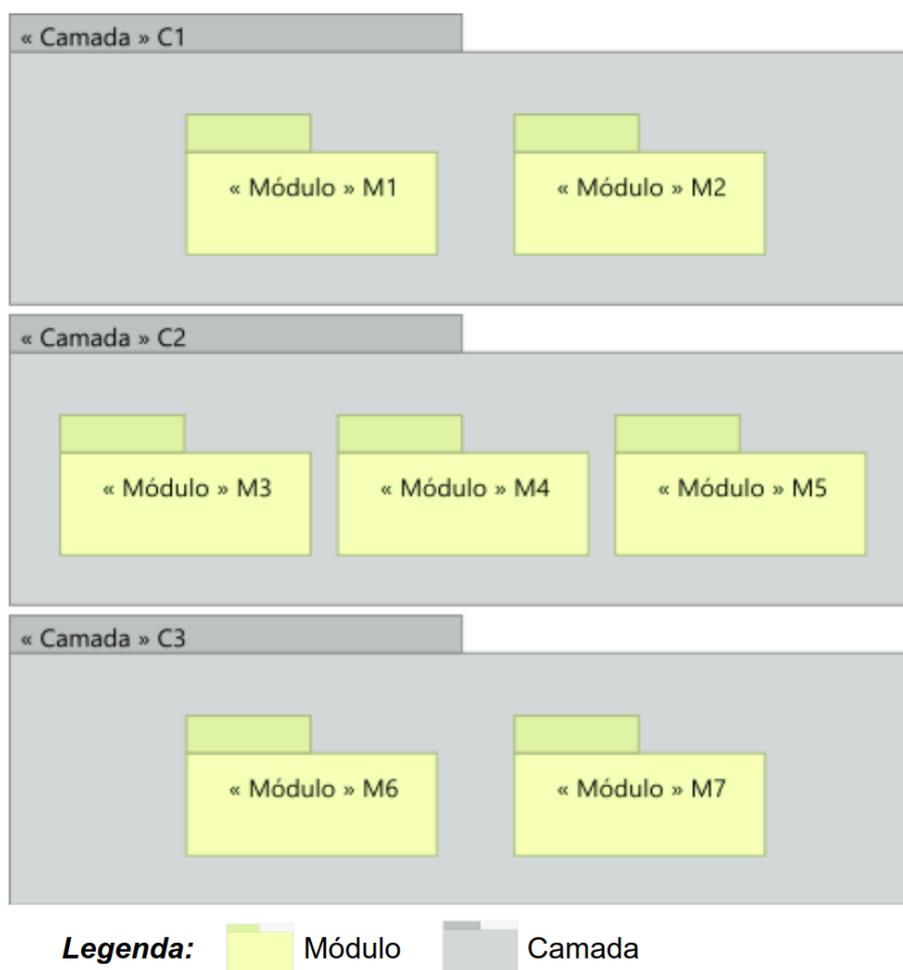


Figura 1.4. Exemplo de visão de módulos em camadas: O Sistema é decomposto em três camadas que agregam módulos de acordo com algum critério. As restrições de acesso entre as camadas garantem maior modificabilidade e portabilidade do sistema.

Por fim, um último exemplo de visão é a **visão física**. Nesse tipo de visão diferentes partes do sistema — sejam elas módulos, componentes, serviços ou outras — são alocadas às unidades físicas que serão responsáveis por sua execução e podem representar, por exemplo, servidores de aplicação, contêineres de computação em nuvem, além de outros tipos de *hardware* como *switchs* e roteadores. Essas unidades são denominadas nós e podem estar conectadas entre si de acordo com a comunicação que deve ocorrer entre as diferentes partes do sistema. A **Figura 1.5** apresenta um exemplo de visão física de um sistema que é distribuído em três nós principais. Nesses, são alocadas uma aplicação e três serviços, representando unidades de software em tempo de execução que fornecem algum tipo de funcionalidade. As conexões entre os nós demonstram que há comunicação entre eles por meio de um ou mais protocolos como HTTPS ou SFTP (*Secure File Transfer Protocol*). Esse tipo de visão é útil para realizar a análise da arquitetura em relação à atributos de qualidade como desempenho, disponibilidade, confiabilidade e segurança [Clements et al. 2010]. No exemplo da figura, a alocação do serviço S3 a um nó individual pode ser justificada, por exemplo, pela necessidade de recursos extras

(e.g., *hardware* dedicado ou específico) para sua execução. Os protocolos utilizados para a comunicação entre os nós não estão representados na figura, mas poderiam ser úteis para analisar o desempenho e a segurança do sistema. Além disso, caso fosse necessário aumentar a disponibilidade do sistema por conta de um aumento da demanda pelos serviços (por exemplo, vários usuários novos irão começar a utilizar o sistema), os serviços poderiam ser replicados entre mais nós para dar conta de atender à nova demanda.

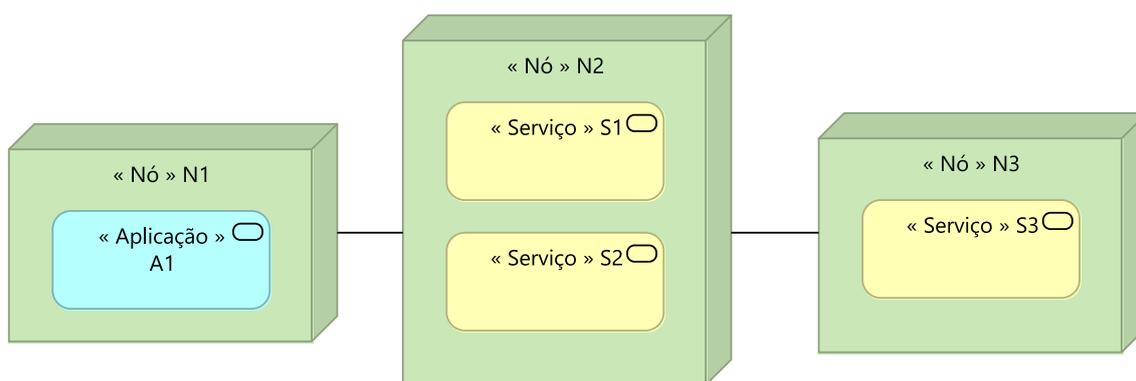


Figura 1.5. Exemplo de visão física: os Serviços do sistema são alocados a três nós físicos. O Nó N1 é capaz de se comunicar por meio de algum protocolo ao N2, que por sua vez é capaz se comunicar com o N3.

1.2.3. Qualidade de Software

Cada uma dessas visões pode ajudar a compreender como que a arquitetura de um sistema permite ou não que os requisitos de qualidade sejam atendidos. Contudo, há outras qualidades além das que foram discutidas nos exemplos anteriores, e para entendê-las é importante compreender o conceito de qualidade de software.

Existem diversos modelos na engenharia de software que objetivam definir o que é qualidade de software, já que essa tem sido um objetivo importante da disciplina desde sua criação. Em geral, esses modelos definem um conjunto de características (ou atributos) de qualidade que em sua totalidade descrevem o que é a qualidade de um sistema de software. Seria como definir, por exemplo, que um possível conjunto de características de um carro são conforto, eficiência, estabilidade e segurança, e que diferentes carros se diferem quando comparados em relação a esses atributos. Contudo, sabemos que nesse caso há outras características que devem ser considerados. No contexto de software os modelos visam descrever todos os atributos de qualidade possíveis ou pelo menos boa parte deles. Um dos modelos mais recentes é a norma ISO/IEC 25010 [ISO/IEC 2011], que decompõe o conceito de qualidade em duas perspectivas, que por sua vez são compostas por características e sub-características de qualidade. A primeira perspectiva, denominada qualidade de produto, define as qualidades relacionadas ao produto de software e é composta por oito características — *functional suitability*, *performance efficiency*, *compatibility*, *usability*, *reliability*, *security*, *maintainability*, e *portability* —, sendo cada uma delas decomposta noutras várias sub-características. A segunda perspectiva é denominada qualidade em uso, e define características de qualidade que refletem o grau com que usuários específicos do sistema conseguem alcançar objetivos específicos em contextos de uso específicos. Essa perspectiva é composta pelas características *effectiveness*, *efficiency*,

satisfaction, *freedom from risk*, e *context coverage*, sendo cada uma decomposta em sub-características, com exceção de *effectiveness* e *efficiency*. Cada uma das características e sub-características são formalmente¹ definidas pela norma.

Alguns desses atributos, que serão abordados na **Seção 1.5**, são os seguintes: *performance*, *availability*, *interoperability*, *security* e *usability*:

Desempenho (*Performance efficiency*) é definido pela norma como o desempenho relativo à quantidade de recursos utilizados sob determinadas condições, e possui três sub-características: *time-behaviour*, *resource utilization* e *capacity*. *Time-behaviour* está relacionado aos tempos de resposta e processamento do sistema durante sua operação, *Resource utilization* com a quantidade de recursos utilizados pelo sistema e *Capacity* com os limites de operação do sistema.

Interoperabilidade (*Interoperability*) se refere à capacidade de dois ou mais sistemas ou componentes de trocar informação e utilizar essa informação que foi trocada de maneira correta para um propósito específico.

Usabilidade (*Usability*) pode se referir a diversos fatores, como por exemplo a facilidade com que um usuário consegue aprender a utilizar o sistema (*learnability*) bem como operá-lo (*operability*), a capacidade do sistema de impedir que o usuário cometa erros por engano durante sua operação (*user error protection*) e também permite que o usuário use o sistema de maneira agradável e satisfatória (*user interface aesthetics*).

Disponibilidade (*Availability*) representa a capacidade de um sistema de estar acessível para uso sempre que necessário.

Segurança (*Security*) representa a capacidade de um sistema de proteger seus dados e informações, ao mesmo tempo em que garante acesso aos seus usuários ou outros sistemas autorizados.

1.2.4. Decisões Arquiteturais

Para atingir tais características de qualidade num determinado grau e dessa forma atender aos requisitos do sistema, é necessário que a arquitetura apresente as estruturas adequadas. Para isso, os arquitetos contam com diferentes estratégias que são empregadas para otimizar determinadas características, como no caso das táticas arquiteturais. Também podem adotar determinados padrões arquiteturais, que definem de maneira mais ampla como a arquitetura será organizada. Contudo, melhorar uma das características de qualidade de um sistema pode implicar em piorar outra característica. Essa consequência é conhecida dentro do projeto arquitetural como *trade-off* e ocorre como resultado de uma decisão tomada. Por fim, de maneira ainda mais ampla, é possível se basear em arquiteturas de referência para garantir que determinadas qualidades estejam presentes na arquitetura. Todas essas estratégias fazem parte do projeto arquitetural e podem ser consideradas decisões arquiteturais e são descritas a seguir.

Táticas arquiteturais são decisões de projeto que influenciam no cumprimento de um atributo de qualidade específico, afetando positivamente na resposta do sistema

¹A definição de todas as características e sub-características podem ser consultadas em <https://www.iso.org/standard/35733.html>

quando sujeito a um estímulo relacionado com tal atributo [Bass et al. 2012]. Em geral, táticas arquiteturais podem ser classificadas de acordo com diferentes objetivos relacionados ao atributo de qualidade.

Considerando a características de segurança, por exemplo, é comum empregar táticas para detectar, resistir e reagir a ataques, invasões ou acessos não autorizados aos dados do sistema ou para executar operações não permitidas. Algumas das táticas para evitar tais ações são identificação, autenticação e autorização de usuário, limitação do acesso e exposição dos dados, além do emprego de técnicas de encriptação de dados [Bass et al. 2012]. Para aplicar essas táticas, é importante que o arquiteto identifique quais são os dados que possuem diferentes níveis de sensibilidade para que eles possam ser considerados na definição da arquitetura, além de garantir direitos de acesso a eles apenas para usuários propriamente autenticados e autorizados.

Para interoperabilidade, algumas das táticas existentes visam determinar a sintaxe e a semântica das principais abstrações de dados (conceitos) que deverão ou poderão ser trocadas entre os sistemas ou partes do sistema de maneira interoperável. Deve-se garantir que essas abstrações de dados sejam consistentes com os dados que foram trocados, caso contrário, a ausência de padronização pode tornar necessária a transformação dos dados antes que eles sejam trocados e empregados para algum propósito [Bass et al. 2012].

Bass et. al [Bass et al. 2012] listam diversas táticas que podem ser aplicadas por arquitetos para garantir outras características de qualidade além de segurança e interoperabilidade, como disponibilidade, desempenho, testabilidade, manutenibilidade e usabilidade.

Os **padrões arquiteturais**, por outro lado, definem estruturas de projeto arquitetural (soluções arquiteturais) bem estabelecidas na prática e que podem ser facilmente reutilizadas. Um padrão arquitetural especifica [Buschmann et al. 1997]: (i) sua utilidade (RAS que resolve), (ii) tipos de elementos (componentes, serviços, módulos) que compõem a solução; (iii) tipos de relações (dependência, colaboração, controle); (iv) propriedades dos elementos (responsabilidades, funcionalidades); e (v) restrições sobre como os elementos se relacionam (comunicação unidirecional, bidirecional, eventos, mensagens).

Um padrão arquitetural possui uma utilidade específica, ou seja, atende a um conjunto pré-estabelecido de RAS, e são geralmente compostos por várias táticas arquiteturais. Para isso, descreve elementos arquiteturais (e.g., módulos, componentes, e serviços) que compõem a solução, bem como suas relações (dependência, colaboração, controle), propriedades (responsabilidades, funcionalidades) e restrições (comunicação unidirecional, bidirecional, eventos, mensagens) [Buschmann et al. 1997].

Alguns dos principais exemplos de padrões arquiteturais são: Camadas (*Layers*), Pipes e Filtros (*Pipes-and-Filters*), Cliente-Servidor (*Client-Server*), Modelo-Visão- Controle (*Model-View-Controller – MVC*) e algumas variações como, Arquitetura Orientada a Serviços (*Service Oriented Architecture – SOA*), Microserviços (*Microservices*), *Publish-Subscribe*, *Data Model*, *Blackboard*, *Broker*, *Shared Data*, *Peer-to-Peer* e *Blockchain*.

A aplicação de um padrão ou outro vai depender da utilidade que ele terá para ajudar o arquiteto a atender os RAS de sua arquitetura. Dessa forma, é de vital importância que os arquitetos tenham um bom conhecimento sobre quando ou não aplicar cada padrão.

Para entender melhor os padrões arquiteturais, é possível consultar as seguintes publicações na área de arquitetura de software orientada a padrões: [Richards 2015, Buschmann et al. 1997, Avgeriou and Zdun 2005, Gorton 2011].

Por fim, é possível reusar conhecimento sobre como arquitetar sistemas de software em um dado domínio de aplicação por meio de uma **arquitetura de referência**, que é um tipo de arquitetura de software abstrata [Nakagawa et al. 2014, Bass et al. 2012, Cervantes and Kazman 2016]. Entre os benefícios da adoção desse tipo de arquitetura tem-se [Nakagawa et al. 2014, Martínez-Fernández et al. 2013, Angelov et al. 2013]: (i) o impacto positivo na produtividade da equipe de desenvolvimento, já que o conhecimento arquitetural é compartilhado e reusado; (ii) a criação de soluções padronizadas e de qualidade para os sistemas de software do domínio; e (iii) aprimoramento da interoperabilidade e capacidade de evolução desses sistemas.

Uma arquitetura de referência pode definir um conjunto coerente de padrões e táticas que ao ser aplicados fornecem um projeto inicial para as arquiteturas de software de um tipo específico de sistema, como é o caso dos sistemas de saúde. As táticas podem ser utilizadas como complemento às soluções mais gerais propostas pelos padrões ou arquiteturas de referência, pois são uma estratégia para refinar o projeto arquitetural. Dessa forma, ao utilizar uma arquitetura de referência, o arquiteto pode agilizar o processo de tomada de decisões pois reusa as soluções propostas por essa arquitetura mais abstrata.

1.2.5. Trade-offs das Decisões Arquiteturais

Em algumas ocasiões, atender certos RAS empregando as estratégias descritas (táticas, padrões e arquitetura de referência) pode resultar em impacto negativo sobre outras características de qualidade. Por exemplo, para aumentar a qualidade de um sistema de software, mais recursos são necessários, aumentando o custo final do projeto. Durante o projeto de uma arquitetura de software, *trade-offs* representam uma situação comum na qual é necessário balancear as perdas em um ou outro atributo de qualidade (o que é causado pela introdução de uma decisão arquitetural) para obter ganhos em outros atributos que, de acordo com os RAS, são mais importantes. Decisões arquiteturais como arquiteturas de referência, padrões e táticas detalham seus impactos positivos em atributos de qualidade específicos e, às vezes, também especificam suas limitações em relação a outros atributos.

Durante a etapa de projeto arquitetural, cada vez que o arquiteto seleciona um padrão ou uma tática para definir a arquitetura de um sistema de software, ele está mudando a arquitetura como resultado da necessidade de alcançar um RAS [Bass et al. 2012]. Nessa perspectiva, os arquitetos devem determinar, avaliar e mitigar os *trade-offs* que são introduzidos pelas diferentes decisões arquiteturais realizadas. No entanto, tomar múltiplas decisões aumenta a dificuldade de compreensão e análise do impacto dessas decisões sobre os níveis de qualidade do sistema de software como produto final.

1.3. Construção de Arquiteturas de Software na Área de Saúde

Esta seção ilustra como que o processo arquitetural apresentado na seção anterior foi aplicado para projetar a arquitetura do *SIGEAN*, um sistema de software para gestão da divisão de anestesia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade

de São Paulo, HCFMUSP.

O HCFMUSP é um complexo hospitalar público, inaugurado em 1944, com enfoque no aprimoramento da formação de estudantes e no fornecimento de assistência médica gratuita à população através do Sistema Único de Saúde (SUS). Atualmente, o HCFMUSP é formado por 2 hospitais e 7 institutos (i.e., Instituto Central - IC, Instituto de Ortopedia e Traumatologia - IOT, Instituto do Coração - INCOR, Instituto da Criança - ICR, Instituto de Psiquiatria - IPQ, Instituto de Radiologia - INRAD e Instituto do Câncer do Estado de São Paulo - ICESP).

A divisão de anestesia da FMUSP é responsável pela coordenação de: (i) procedimentos pré-operatórios, operatórios e pós-operatórios realizados nos 9 centros cirúrgicos do HCFMUSP; (ii) aproximadamente 4500 anestésias e 3000 consultas por mês; (iii) aproximadamente 200 leitos de UTI (Unidades de Terapia Intensiva), 90 salas de cirurgia e 40 salas para procedimentos diagnósticos sobre anestesia; e (iv) consultas e procedimentos realizados por mais de 300 especialistas médicos nos centros cirúrgicos.

A **Figura 1.6** apresenta o processo que foi executado para a definição da arquitetura do *SIGEAN*. Em comparação ao processo introduzido na **Figura 1.1**, foi conduzida uma etapa (análise do sistema) antes de realizar a análise arquitetural. Além disso, esclarecemos que a etapa de avaliação arquitetural está em processo de planejamento e, portanto, não será apresentada em detalhes neste capítulo.

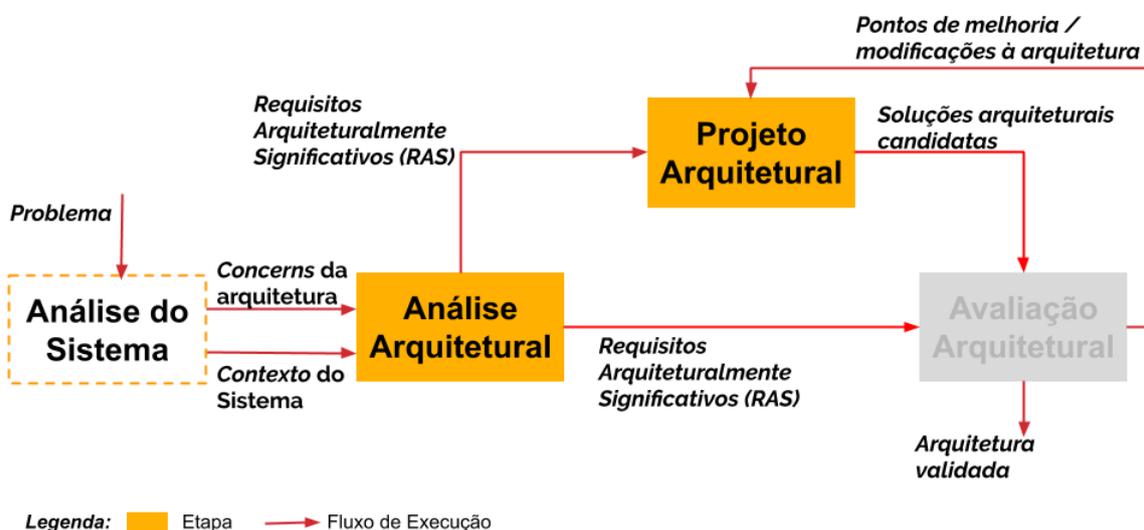


Figura 1.6. Processo de Construção de Arquiteturas de Software. Adaptado de [Hofmeister et al. 2007, Gorton 2011].

No restante do capítulo, iremos explicar como essas atividades foram conduzidas para a produção da primeira versão da arquitetura de software do sistema *SIGEAN*. Destaca-se que a execução das atividades arquiteturais apresentadas neste capítulo podem auxiliar à construção de diferentes arquiteturas de sistemas na área da saúde. Porém, cada arquiteto deve adaptar o processo para o sistema de saúde em questão.

Adicionalmente, ressalta-se que durante a apresentação do processo arquitetural no contexto do *SIGEAN*, apresentam-se diversos diagramas que foram realizados utilizando a ferramenta *Archi*², que utiliza a linguagem *Archimate*® para realizar a descrição arquitetural e permite a modelagem semi-formal de arquiteturas de software.

1.4. Etapa 1 - Análise do Sistema

Esta primeira atividade teve como objetivo identificar e analisar o problema que o sistema deve resolver. Exemplos de problemas na área de saúde estão relacionados à execução de processos de planejamento, programação, regulação, controle, avaliação, auditoria da rede de atenção à saúde, como também desafios apresentados na prestação de serviços de saúde para cada especialidade (e.g., diagnóstico clínico, pronóstico, tratamento, intervenção, internação, observação e prevenção). Além disso, durante a atividade de análise de domínio devem ser estudados os *concerns* (i.e., preocupações ou necessidades) e a motivação que leva a organização a adquirir o sistema. Assim, se faz necessário investigar as restrições da organização como estrutura organizacional (hierarquias de setores e ordenações), infraestrutura física e de TI, recursos econômicos e humanos, legislações, protocolos de atendimento de saúde, entre outras. Além disso, é importante estabelecer os requisitos de operação e informação dos *stakeholders*, e as necessidades da organização para alcançar os objetivos de negócio (e.g., melhorar a qualidade no atendimento dos paciente, otimizar a utilização de recursos, minimizar custos e gastos, e aumentar a oferta de serviços de saúde).

1.4.1. Elicitação de Requisitos do Sistema de Software

Para conseguir entender claramente o domínio do problema, é importante que o arquiteto participe da identificação e especificação de requisitos do sistema, descrevendo:

- **Requisitos Funcionais (RF)** que descrevem como que o sistema deve funcionar, ou seja, as funções que o sistema deve executar, assim como os serviços que o sistema deve fornecer aos usuários e outros *stakeholders*; e
- **Requisitos Não Funcionais (RNF)** que caracterizam as restrições operacionais, ou seja, o comportamento do sistema em diferentes situações, como por exemplo o tempo de resposta, a disponibilidade de recursos, usabilidade, orçamento e cronograma.

Para identificar os requisitos do sistema a ser projetado, algumas técnicas de elicitação de requisitos podem ser aplicadas, como por exemplo:

- **Estudos observacionais**, nos quais o arquiteto observa, sem intervir, usuários finais na realização das atividades e execução dos processos que apresentam algum problema, podendo identificar sistemas de software e outras tecnologias que são utilizadas pelos usuários durante as atividades;

²Ferramenta disponível em <https://www.archimatetool.com/>

- **Entrevistas** com usuários finais e outros *stakeholders*, nas quais são realizadas discussões ativas para identificar processos, atividades, tecnologias, sistemas, necessidades e preocupações dos usuários finais.
- **Análise de documentos** como protocolos, diretrizes, legislações necessárias para a execução dos processos e atividades e identificação de documentos utilizados e gerados pelos usuários.

Algumas diretrizes para o planejamento, execução e análise de resultados em estudos observacionais e entrevistas podem ser consultadas em [Wohlin et al. 2012, Sommerville 2011].

Na fase de elicitação de requisitos para o sistema *SIGEAN*, foram conduzidos estudos observacionais nos centros cirúrgicos do ICESP e IC do HCFMUSP. Em cada instituto, o arquiteto do sistema acompanhou durante um dia as anestesistas na realização de suas atividades rotineiras no centro cirúrgico. Destaca-se que em casos como esse em que se tem acesso a processos com pacientes, o arquiteto deve lidar com informações sigilosas e manter a privacidade das informações do paciente e dos profissionais de saúde envolvidos no estudo observacional. Em muitas situações, pode ser necessário fazer um planejamento detalhado do estudo observacional para ser previamente analisado e aprovado por um comitê de ética ³. Durante os estudos observacionais, o arquiteto dedicou-se à identificação de problemas na geração e uso de informações e utilização de tecnologias, equipamentos, e sistemas já implantados nos institutos. Também atentou-se a situações que poderiam estar gerando frustração e sobrecarga de trabalho nos profissionais no momento de executar suas atividades, como por exemplo no uso de tecnologias difíceis de manipular, preenchimento exaustivo de fichas em papel, replicação de informação em diferentes documentos, além de outros problemas. As dificuldades encontradas foram relatadas pelo arquiteto em um documento mantendo o sigilo e privacidade dos pacientes e profissionais. Adicionalmente, o arquiteto identificou alguns *stakeholders* do sistema *SIGEAN*: coordenadores de centro cirúrgico, coordenador da divisão de anestesia do HCFMUSP, residentes de anestesia, chefes de anestesia, residentes de cirurgia, chefe de cirurgia, enfermeiros, técnicos de enfermagem, técnico de radiologia e alunos, que são modelados na **Figura 1.7**. O estudo observacional serviu para compreender os problemas *in situ* que os *stakeholders* enfrentam em seu dia a dia.

Um segundo passo para melhorar o entendimento sobre os problemas foi o planejamento e execução de entrevistas com alguns dos *stakeholders* identificados. No planejamento das entrevistas, foram elaborados questionários para cada perfil de *stakeholder*, sendo cada um estruturado em três conjuntos de perguntas para obter informação sobre: (i) a rotina de cada *stakeholder* desde seu ingresso ao centro cirúrgico até o término do plantão; (ii) problemas, dificuldades e frustrações que ele vivencia no dia a dia para cada atividade que realizada; (iii) como que a partir da perspectiva de cada *stakeholder* os problemas podem ser solucionados e como que cada atividade pode ser melhorada. Um exemplo de formulário utilizado nesta fase pode ser consultado no **Anexo A**. Também foi elaborado um termo de confidencialidade para manter o sigilo dos entrevistados. O

³No caso do sistema *SIGEAN*, o foco do arquiteto não era o paciente mas sim o profissional, dessa forma não foi necessária a aprovação no comitê de ética.

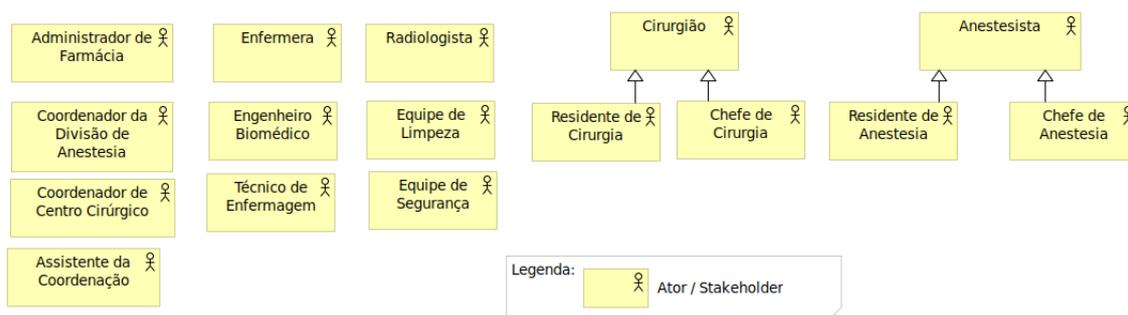


Figura 1.7. Stakeholders identificados para o sistema SIGEAN.

termo se encontra no **Anexo B**. Em seguida, foram agendadas entrevistas e com prévia autorização dos entrevistados. As entrevistas foram gravadas em áudio e posteriormente transcritas para texto.

Visando aprimorar o conhecimento do arquiteto sobre o domínio, foram identificados e solicitados aos *stakeholders* uma série de documentos que exigiram um estudo aprofundado dos processos, atividades, e informações do centro cirúrgico. Exemplo desses documentos são fichas de avaliação pré-operatória, anestesia, ocorrências durante o processo cirúrgico e de procedimentos pós-operatórios, além da legislação vigente relacionada ao processo cirúrgico. Cada documento apresenta um conjunto de informações que foram consideradas durante o projeto arquitetural do sistema *SIGEAN*.

1.4.2. Especificação de Requisitos do Sistema

Com o conhecimento obtido sobre o domínio através dos estudos observacionais, entrevistas e análise de documentos, deu-se início a especificação dos requisitos do sistema a ser projetado. Os requisitos podem ser formalizados através de diferentes modelos como os apresentados em [Pressman 2011]:

- *Modelos baseados em cenários*, definem os possíveis usos do sistema por parte dos *stakeholders*. Exemplos desses modelos são os modelos de casos de uso, histórias de usuários e PERSONAS;
- *Modelos de classes*, definem objetos do domínio que representam conceitos, dados e informações importantes para o funcionamento sistema. Esses modelos ajudam a especificar operações dos objetos e as relações e colaborações entre eles. Diagramas da UML como o de colaboração e o de classes podem ser utilizados para representar objetos do domínio;
- *Modelos comportamentais*, definem a maneira como os elementos externos podem mudar o estado do sistema. Alguns modelos usados para especificar o comportamento do sistema são os diagramas de estado e de sequência da UML; e
- *Modelos de fluxo*, estabelecem como as informações e dados são transformados durante a operação do sistema. Os diagramas de de fluxo de dados (DFD) e modelos de dados podem ser utilizados para entender a transformação das informações.

Pode não ser necessário utilizar todos esses tipos de modelos para especificar os requisitos do sistema. Devem ser escolhidos aqueles que melhor se adequem à natureza do projeto de desenvolvimento de software adotado pela equipe técnica.

Especificação de Requisitos de Usuário

No sistema *SIGEAN*, optou-se por utilizar o modelo PERSONAS para especificar os objetivos de cada tipo de *stakeholder*. PERSONAS é uma abordagem vinda da área de Design Orientado a Usuários (UCD, em Inglês) e visa modelar usuários finais com necessidades e objetivos reais por meio de abstrações. As diretrizes fornecidas em [Adler 2005] foram seguidas para a especificação das PERSONAS com base nos resultados das entrevistas.

As **Figuras 1.8 e 1.9** apresentam dois modelos PERSONAS de usuários responsáveis pela coordenação do centro cirúrgico de um instituto e pela coordenação da divisão de anestesia do HCFMUSP, respectivamente. No modelo PERSONAS é possível destacar as motivações, necessidades e objetivos que esses usuários revelaram durante as entrevistas. Destaca-se que por ser uma abstração, os modelos PERSONAS não descrevem um usuário em particular, mas especificam um conjunto de usuários com os mesmos objetivos e necessidades. Dessa forma, o nome, a foto⁴ e a descrição do usuário modelado na PERSONAS é abstrata, ou seja, não existe na vida real embora as necessidades e objetivos sejam reais.

Sofia (Coordenadora do Centro Cirúrgico)	
	<p>Motivação: Otimizar recursos no centro cirúrgico</p> <p>Descrição: Sofia, 45 anos, casada, é uma médica anestesista com 19 anos de experiência. Atualmente é coordenadora de um centro cirúrgico do complexo HCFMUSP. Realiza atividades como a alocação de salas e distribuição de recursos dentro do centro cirúrgico.</p>
<p>Objetivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ter um sistema integrado para o trânsito de informações entre setores que interagem com o centro cirúrgico • Ter um sistema de software que armazene todos os dados gerados durante os processos do centro cirúrgico, excluído o uso de fichas físicas e evitando o registro manual e a perda de fichas. • Ter um sistema de software com interface mais amigável e maior facilidade de inserção de informações que não atrapalhe as atividades dos profissionais • Facilitar a gestão do centro cirúrgico (escalamento de profissionais, gestão de leitos, etc.) 	

Figura 1.8. Exemplo de modelo de PERSONAS para um usuário do sistema *SIGEAN* com perfil de *Coordenação de Centro Cirúrgico*.

Como esses modelos são muito abstratos, é necessário refinar esses objetivos em requisitos de sistema mais detalhados que permitam alcançar os objetivos definidos para cada PERSONAS. Uma abordagem para derivar requisitos é perguntar **DE QUE FORMA** o objetivo pode ser atingido. Ao responder essa pergunta, o arquiteto obtém mais informações sobre como o objetivo pode ser cumprido, e pode assim derivar requisitos do sis-

⁴Fotos artificialmente geradas utilizando o site <https://generated.photos/>.

Paulo (Coordenador Geral)	
	<p>Motivação: Otimizar recursos da divisão de anestesia do complexo HCFMUSP</p> <p>Descrição: Paulo, 65 anos, casado, é um médico anestesista com 30 anos de experiência. Atualmente é coordenador geral da divisão de e anestesia no complexo HCFMUSP, precisando gerenciar seus 9 centros cirúrgicos. Realiza atividades como a administração e distribuição de recursos entre os diversos institutos do complexo.</p>
<p>Objetivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ter um sistema integrado entre os institutos do complexo HCFMUSP para possibilitar o acesso às fichas de todos os pacientes. • Ter um sistema com informações de recursos humanos e equipamentos para facilitar a gestão da divisão de anestesia do complexo HCFMUSP como um todo. 	

Figura 1.9. Exemplo de modelo de PERSONAS para um usuário do sistema SIGEAN com perfil de Coordenador Geral.

tema que sejam [Sommerville 2011]: (i) *corretos*, descrevendo atividades e tarefas sem erros; (ii) *precisos*, sem ambiguidade, evitando confusões ou interpretações errôneas; (iii) *completos*, especificando todas as necessidades importantes dos *stakeholders*; (iv) *consistentes*, evitando uso de diferentes termos para o mesmo requisito; e (v) *verificáveis*, possibilitando testar se o requisito é atendido ou não pelo sistema.

Por exemplo, para cumprir o segundo objetivo de Sofia (ver **Figura 1.8**), “*Ter um sistema de software que armazene todos os dados gerados durante os processos do centro cirúrgico, excluído o uso de fichas físicas e evitando o registro manual e a perda de fichas*”, este deve ser refinado para entender melhor quais dados são gerados, em quais processos, e em quais fichas esses dados são registrados. Alguns requisitos derivados desse objetivo são:

- Durante o processo de avaliação pré-anestésica, o sistema *SIGEAN* deve permitir a captura digital e armazenamento das informações requeridas na ficha de avaliação pré-operatória estabelecida no protocolo de avaliação pré-operatória do HCFMUSP.
- Durante o processo intraoperatório, o sistema *SIGEAN* deve permitir a captura digital e armazenamento das informações requeridas no relatório de anestesia estabelecido nos protocolos para monitorização de procedimentos anestésicos intraoperatórios do HCFMUSP.
- Durante o processo intraoperatório, o sistema *SIGEAN* deve permitir a captura digital e armazenamento das informações requeridas no relatório de eventos adversos intraoperatórios da divisão de anestesia do HCFMUSP.
- Durante o processo pós-operatório, o sistema *SIGEAN* deve permitir a captura digital e armazenamento das informações requeridas no registro de procedimentos de recuperação pós-anestésica do HCFMUSP.

É sugerido que os requisitos derivados possuam identificadores para facilitar seu rastreamento nos modelos arquiteturais. Ou seja, é necessário identificar quais partes da arquitetura de software abordam um determinado requisito e verificar se de fato o objetivo do usuário está sendo considerado na arquitetura. Para isso, modelos de objetivos e derivação de requisitos como o apresentado na **Figura 1.10** podem ser elaborados pelo arquiteto.

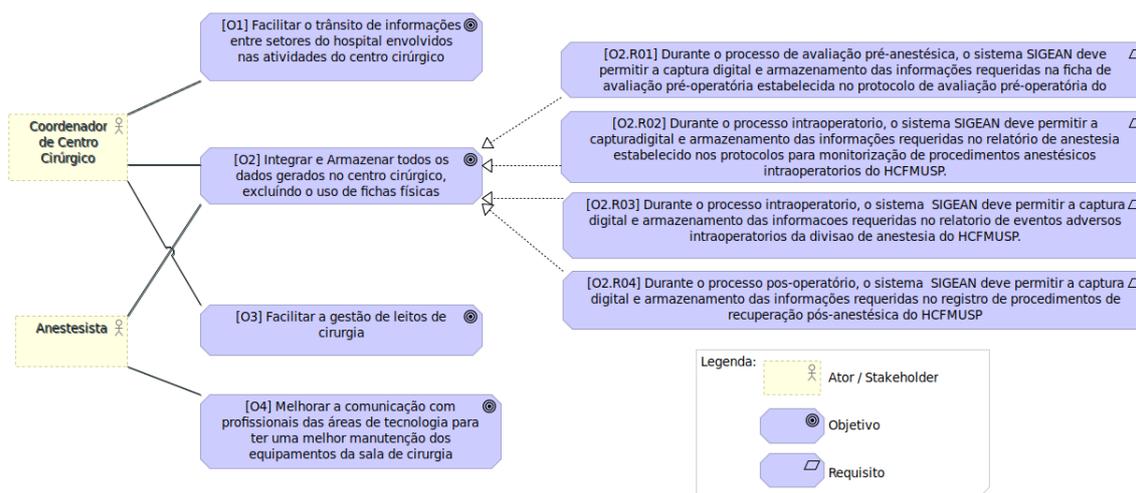


Figura 1.10. Modelo de derivação de requisitos com base nos objetivos dos usuários.

Especificação de Requisitos de Informação:

Adicionalmente, no sistema *SIGEAN*, o arquiteto utilizou modelos de classes da UML para especificar quais objetos precisam colaborar na construção de informações que são necessárias para executar corretamente os processos do centro cirúrgico. Por exemplo, assim que a cirurgia termina, o paciente é transferido para uma sala de recuperação pós-anestésica (RPA). Nessa sala, a equipe médica que é composta por dois profissionais, um anestesiista e um enfermeiro, realiza procedimentos de avaliação pós-operatória do paciente. Para melhor compreender as informações envolvidas nesse processo, o arquiteto modelou as entidades de dados que precisam colaborar para construir o registro de recuperação pós-anestésica. O modelo é apresentado na **Figura 1.11**.

Como se observa no modelo de classes, uma unidade RPA faz parte de um único centro cirúrgico, que por sua vez pertence a um instituto específico. Ou seja, uma unidade RPA não pode estar associada a vários centros cirúrgicos nem a múltiplos institutos. Porém, um instituto pode possuir vários centros cirúrgicos e um centro cirúrgico pode ser composto por várias unidades RPA. A unidade RPA possui várias salas onde são executados procedimentos diagnósticos sob anestesia.

Segundo o modelo, podemos deduzir que o registro RPA deve conter informações sobre: (i) os profissionais de saúde (anestesiistas e enfermeiros) que realizam o procedimento diagnóstico; (ii) a cirurgia que foi realizada no paciente, informações fornecidas pelo registro de cirurgia; (iii) avaliação do estado de saúde do paciente contida no registro de avaliação RPA; (iv) possíveis intercorrências acontecidas durante a avaliação RPA; e (v) dependendo do estado favorável de saúde, o registro de alta do paciente da unidade

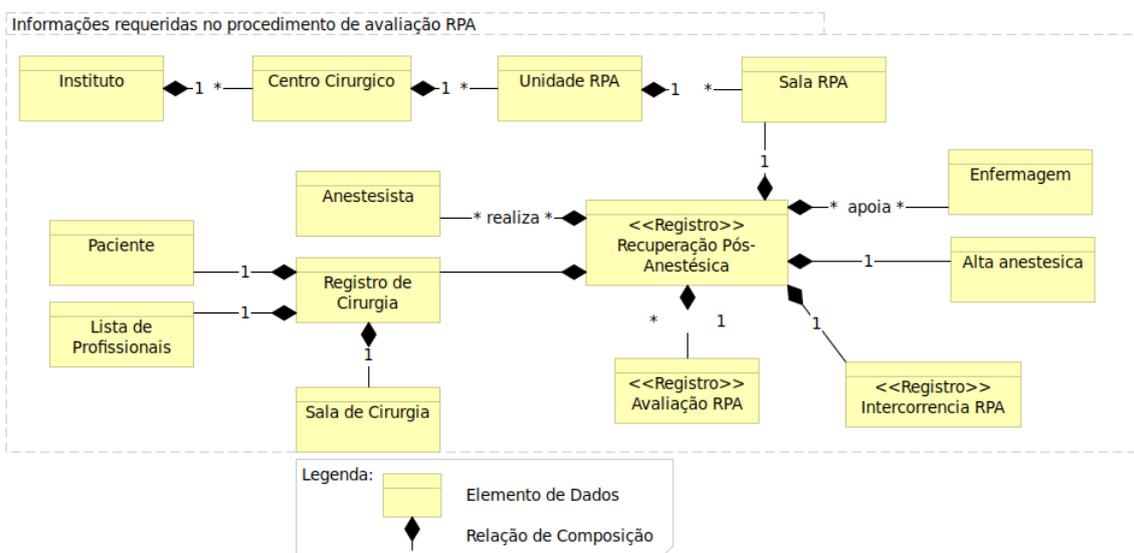


Figura 1.11. Uso do modelo de classes para especificar as informações necessárias para construir o registro de RPA.

RPA.

Destaca-se que o modelo apresentado na **Figura 1.11** foca-se nas informações que devem ser consideradas para o cumprimento do requisito [O2.R04] apresentado na **Figura 1.10**. Nesse sentido, esse modelo de classes apresenta somente as informações do registro RPA. Entretanto, para o sistema *SIGEAN* o arquiteto identificou mais registros e entidades de dados que são necessários para procedimentos pré-operatórios, durante a cirurgia, e depois do paciente receber alta da unidade RPA. Assim, arquitetos de sistemas de saúde devem considerar todas as entidades de dados relevantes para o cumprimento dos requisitos e objetivos do usuário e outros *stakeholders*.

1.5. Etapa 2 - Análise Arquitetural

Os requisitos identificados na etapa de análise do sistema precisam ser estruturados em grupos ou elementos de software como por exemplo, módulos, componentes, serviços ou até mesmo outros sistemas. Cada elemento de software deve agrupar (ou atender) conjuntos de requisitos relacionados a um objetivo específico. Tais agrupamentos podem ser feitos, por exemplo, de acordo com objetivos como: (i) a coordenação de atividades de um determinado processo; (ii) o gerenciamento das informações geradas na execução dos processos e que são necessárias para efetuar outros procedimentos ou atividades; (iii) a gestão de informações de usuários; (iv) o gerenciamento das informações do paciente; ou (v) a coordenação das atividades de um setor específico do hospital, por exemplo farmácia ou divisão de enfermagem.

Para o sistema *SIGEAN*, foram especificados como elementos de software treze serviços que são fornecidos por sete sistemas diferentes dentro do complexo HCFMUSP, conforme mostrado na **Figura 1.12**.

Para cada uma das partes do sistema *SIGEAN*, diversos requisitos foram alocados. A **Figura 1.13** oferece um exemplo de alocação dos requisitos previamente definidos no

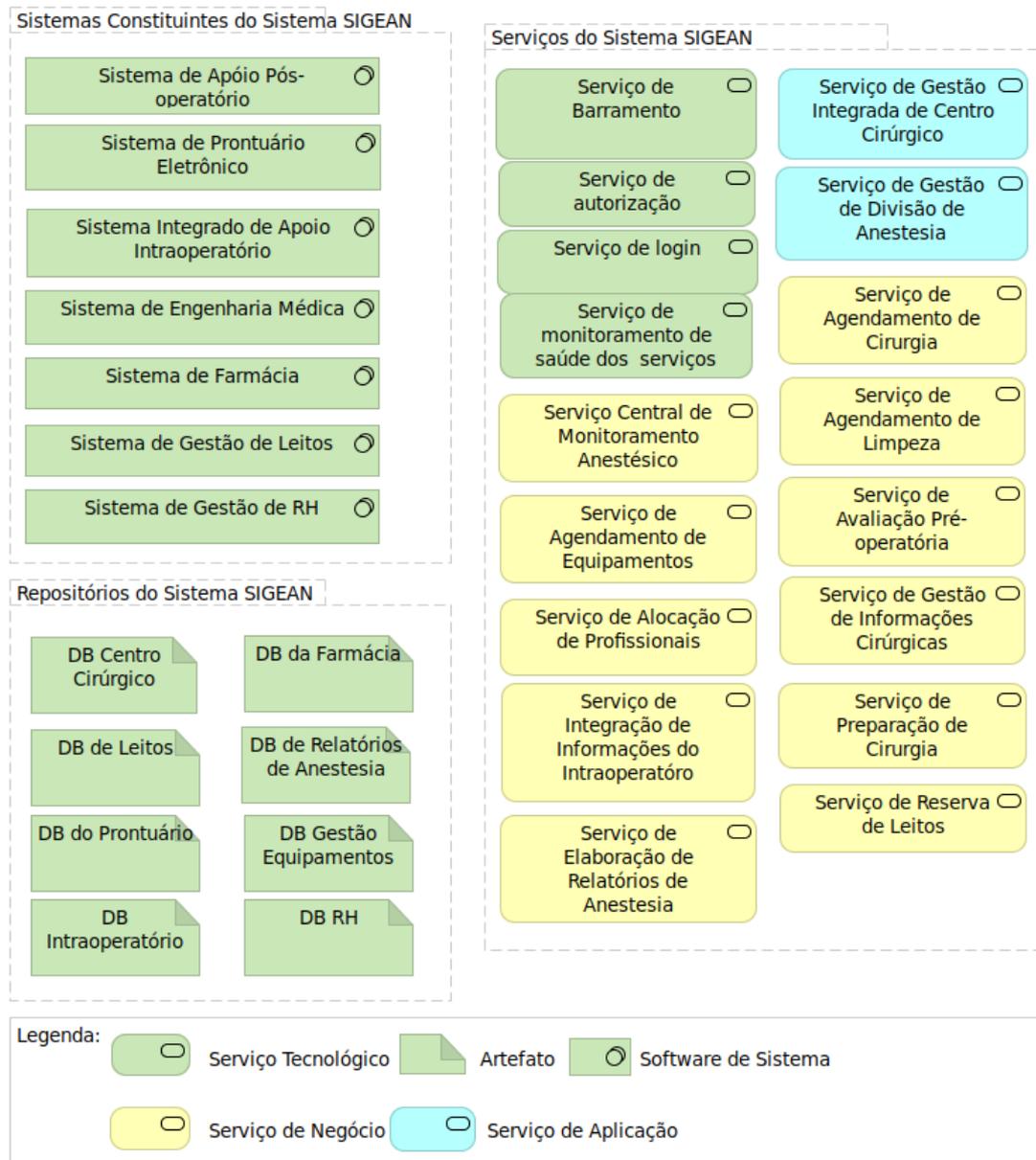


Figura 1.12. Sistemas, Serviços e Repositórios que Constituem o Sistema SIGEAN.

modelo da **Figura 1.10**.

Na **Figura 1.13** é possível observar que são necessários três sistemas para abordar os quatro requisitos derivados do objetivo de usuário [O2]: o sistema de prontuário eletrônico, o sistema integrado de apoio intraoperatório, e o sistema de apoio pós-operatório. Além desses, é necessário um serviço adicional responsável por elaborar todos os relatórios que devem estar disponíveis no centro cirúrgico e assim atingir o objetivo [O2].

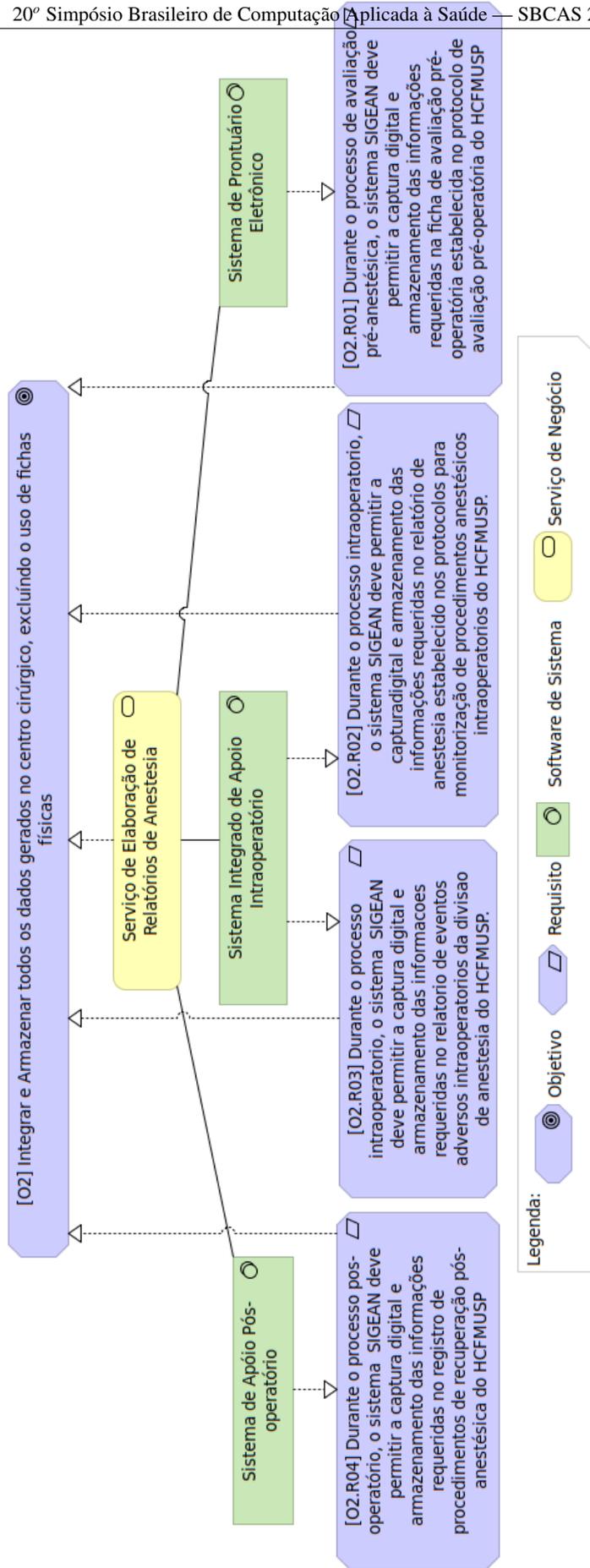


Figura 1.13. Exemplo de modelo de alocação de requisitos a elementos de software.

O procedimento de alocação de requisitos em entidades de software deve ser realizado até que cada requisito especificado para o sistema tenha pelo menos uma entidade responsável por seu cumprimento. É importante ressaltar que uma entidade pode estar comprometida com a execução de vários requisitos, como é o caso do sistema integrado de apoio intraoperatório, responsável pelos requisitos [O2.R02] e [O2.R03].

1.5.1. Análise de Requisitos Arquiteturalmente Significativos (RAS)

Durante a análise do sistema, não basta somente definir *O QUE* o sistema deve realizar (requisitos funcionais), *QUEM* é o responsável por executar o requisito (entidade de software), nem *PORQUE* o requisito deve ser cumprido (objetivo). Ainda é necessário perguntar-se *COMO* as partes do sistema (ou elementos de software) devem ser organizadas e quais são os níveis de qualidade que devem ser garantidos durante a execução dos requisitos funcionais. Dessa forma, antes de projetar um sistema de software, é necessário ter um bom entendimento requisitos arquiteturalmente significativos (RAS) [Gorton 2011].

É importante identificar previamente os RAS, idealmente durante a etapa de elicitação de requisitos, para projetar de forma bem sucedida a arquitetura de software de um sistema [Bass et al. 2012]. RAS se diferenciam de outros requisitos no sentido que estes têm efeitos profundos na arquitetura de software de um sistema, ou seja, a arquitetura poderia ser dramaticamente diferente na ausência de tais requisitos [Bass et al. 2012]. Os arquitetos devem ser cautelosos na escolha dos RAS, pois nem todos os requisitos são relevantes para a arquitetura de um sistema [Hofmeister et al. 2007]. A seleção dos RAS é uma tarefa desafiadora, pois esses normalmente não são capturados como requisitos do sistema na etapa de elicitação de requisitos. Os RAS podem surgir implicitamente a partir da análise de outro tipo de característica que terão um forte impacto na arquitetura, como por exemplo [Hofmeister et al. 2007, Richards and Ford 2020, Bass et al. 2012]: (i) necessidades dos stakeholders diferentes daquelas relacionadas às funcionalidades do sistema; (ii) objetivos de negócio, como satisfação de usuário, tempo de comercialização, fusões e aquisições de organizações, vantagem competitiva, valor para a organização, ou conformidade com a legislação ou regulamentação vigente; ou (iii) os contextos nos quais o sistema será desenvolvido e utilizado. Em [Cervantes and Kazman 2016, Bass et al. 2012] os autores oferecem mais detalhes sobre os diferentes tipos de RAS que podem surgir durante a análise arquitetural.

Normalmente, os RAS estão estreitamente relacionados com requisitos de atributos de qualidade [Bass et al. 2012, Gorton 2011, Richards and Ford 2020, Hofmeister et al. 2007] como desempenho, segurança, capacidade de modificação, disponibilidade, usabilidade, interoperabilidade, além de outros requisitos que a arquitetura deve atender. Portanto, quanto maior a dificuldade e importância do requisito de atributo de qualidade, maior a chance de que esse afete significativamente a arquitetura e seja considerado um RAS [Bass et al. 2012]. Os arquitetos podem identificar um grande número de requisitos de atributos de qualidade para suas arquiteturas, porém tentar atender todos esses requisitos adiciona complexidade ao projeto do sistema [Richards and Ford 2020]. Nesse sentido, uma atividade crítica do arquiteto é a escolha da menor quantidade possível de RAS, ou seja ele/ela deve priorizar os RAS conforme o nível de impacto que esses podem ter na arquitetura.

Uma prática para identificar RAS durante a etapa de elicitação de requisitos com os *stakeholders*, é perguntar-se como que as funcionalidades do sistema devem ser entregues aos usuários finais. A **Tabela 1.1** apresenta algumas perguntas interessantes que podem ser consideradas pelo arquiteto durante esta fase de especificação de RAS. Perguntas adicionais para cada atributo de qualidade podem ser consultadas em [Wieggers and Beatty 2013, Richards and Ford 2020].

Tabela 1.1. Exemplos de perguntas para identificar RAS

Atributo de Qualidade	Possíveis Perguntas
Disponibilidade	Quanto tempo o sistema precisa estar disponível? Quais partes (elementos) do sistema precisam estar disponíveis 24/7? Qual o tempo máximo que o sistema (ou partes dele) podem ficar indisponíveis? Por quanto tempo as informações, elementos de software, ou uma funcionalidade deve estar disponível para seu uso? Qual o tempo mínimo aceitável para executar uma funcionalidade do sistema? Quais são os elementos que serão mais utilizados pelos usuários?
Capacidade de recuperação	Em caso de falha ou desastre, que tão rápido (em ms) o sistema deve estar disponível? Que falhas podem acarretar à organização perda de grande sumas de dinheiro ou afetarão vidas humanas?
Desempenho	Qual o tempo mínimo aceitável para executar uma funcionalidade do sistema? A cada quanto tempo é necessário consultar, salvar, modificar, eliminar informação? Quantas operações são executadas por uma entidade em um tempo determinado? Quais informações serão consultadas com maior frequência? quantos acessos ou solicitações devem ser processadas por unidade de tempo?
Escalabilidade	Qual a estimativa de usuários do sistema a curto, médio e longo prazo?
Capacidade do sistema	Quanta informação é gerada pelo sistema? Quantos dados devem ser armazenados a curto, médio e longo prazo? Por quanto tempo as informações, elementos de software, ou uma funcionalidade deve estar disponível para seu uso? Quais dados precisam ficar arquivados ou podem ser deletados depois de um período de tempo?
Portabilidade	O sistema deverá ser executado em várias plataformas ou sistemas operacionais? O sistema deve interagir com diferentes SGBD (Oracle, Mysql, MongoDB, Firebase)? É necessário suportar múltiplas linguagens para que os usuários possam interagir com o sistema?
Reuso	Quais partes do sistema serão utilizadas em outros produtos/serviços/sistemas?
Manutenção	A cada quanto tempo precisa ser modificado um elemento de software ou uma informação?
Facilidade de acesso	Existem usuários com deficiências (visuais, auditivas) que precisam de interfaces de usuário adaptadas?
Proteção contra erros do usuário	Quais informações são sensíveis de serem inseridas com erro pelo usuário?
Autenticação	Como garantir que os usuários são quem eles dizem ser? Qual tipo de autenticação é requerida para acesso remoto de usuários?
Autorização	Quais usuários (perfis / grupos de usuários) estão autorizados a executar as funcionalidades do sistema ou acessar os dados?
Segurança dos dados	É necessário cumprir alguma lei de proteção de dados? Quais leis de proteção de dados devem ser cumpridas? Quais direitos de propriedade intelectual devem ser considerados? Quais dados devem ser criptados? Quais dados são sensíveis de serem modificados sem autorização? São necessários mecanismos de criptação end-to-end? É requerido o uso de firewall local ou externo? É necessária a criptação da rede de comunicação entre sistemas internos?
Coexistência	O sistema deve executar suas funcionalidades enquanto compartilha um ambiente operacional comum a outros sistemas?
Interoperabilidade	É necessário o compartilhamento de informações com outros sistemas? Quais informações são fornecidas por outros sistemas para o correto funcionamento do sistema? Quais informações devem ser compartilhadas com outros sistemas? Qual a semântica e sintaxe das informações a serem compartilhadas?
Corretude funcional	Quais operações ou funcionalidades devem ser 100% corretas para evitar falhas no sistema que possam trazer prejuízos econômicos ou ferir algum usuário? Qual a estimativa de erro aceitável na execução de uma operação no sistema?
Restrições	Possíveis Perguntas
Restrição do cliente	Quais as restrições de orçamento e cronograma impostas pelo cliente
Restrições de infraestrutura	Quais as restrições de infraestrutura impostas pelo cliente, organização onde irá ser executado o software ou organização que desenvolve o software?
Restrições da organização desenvolvedora do sistema	Qual o orçamento e tempo para desenvolver um elemento de software?

Podemos observar que essas perguntas estão estreitamente relacionadas ao conceito de atributos de qualidade como capacidade, desempenho, eficiência, disponibilidade, usabilidade, segurança, e manutenção, entre outros. O conceito de atributos de

qualidade foi introduzido na **Seção 1.2**. Adicionalmente, os RAS são diretamente influenciados pelas restrições colocadas pela organização ou cliente do sistema a ser projetado. Alguns exemplos de restrições são o tempo de entrega do sistema, orçamento disponível e o ambiente de produção onde o sistema irá a funcionar.

Algumas definições para os atributos de qualidade listados na **Tabela 1.1** são apresentadas na **Seção 1.2.3**. O arquiteto também pode fazer uso de modelos de qualidade genéricos como o ISO/IEC 25010 - SQUARE [ISO/IEC 2011], ou modelos de qualidade para o domínio de saúde como [Alves 2017, Garcés et al. 2016, Garcés et al. 2017] para ter um melhor entendimento dos conceitos para os diferentes atributos de qualidade que podem ser considerados como RAS.

No estudo de caso do sistema *SIGEAN*, o arquiteto aplicou algumas das perguntas da **Tabela 1.1** para identificar RAS. Exemplos desses requisitos são ilustrados no modelo da **Figura 1.14**. Os RAS foram identificados e associados aos objetivos previamente especificados para o sistema *SIGEAN*. Para cada parte constituinte do sistema *SIGEAN* foram atribuídos RAS que definem como eles devem executar suas funcionalidades. Na **Figura 1.14**, podemos observar que os três sistemas devem cumprir RAS similares (Grupo 1 de RAS). Porém, o sistema integrado de apoio intraoperatório requer uma especificação detalhada dos RAS (ver Grupo 2 de RAS) devido à criticidade das informações geradas a partir da captura e armazenamento de grandes quantidades de informação sobre o estado de saúde do paciente durante uma cirurgia (e.g., batimento cardíaco, saturação de oxigênio e temperatura).

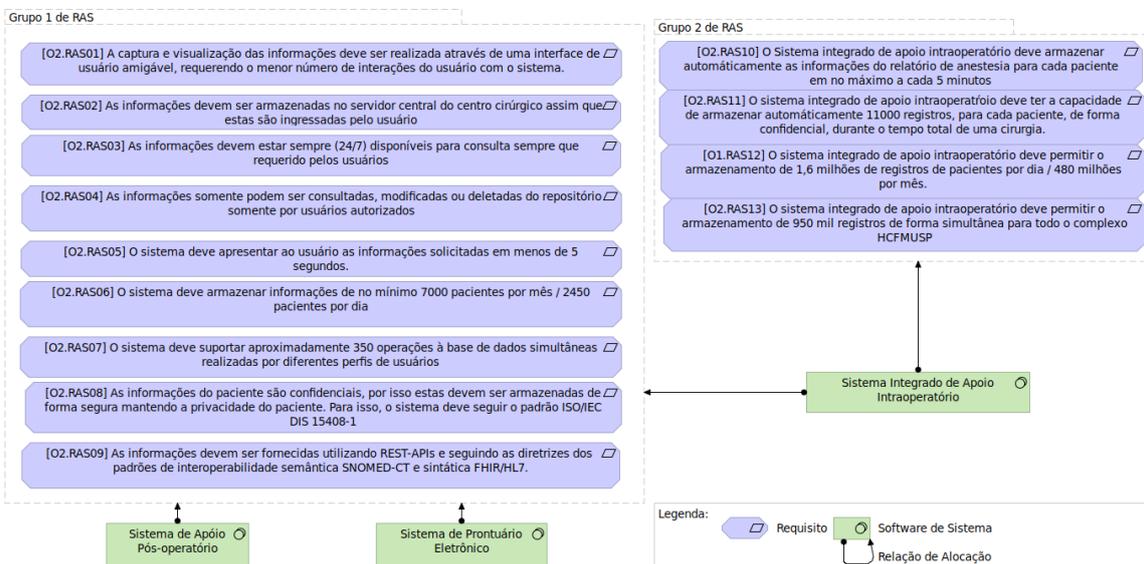


Figura 1.14. Exemplo de modelo de atribuição de RAS a partes que constituem o sistema *SIGEAN*.

A **Tabela 1.2** relaciona os atributos de qualidade considerados para a especificação de RAS para a arquitetura do sistema *SIGEAN*. Observa-se que os três sistemas (como partes do sistema *SIGEAN*) devem considerar atributos de qualidade como usabilidade, desempenho, disponibilidade, segurança, capacidade do sistema e interoperabilidade. Destaca-se ainda que, o sistema de integração de apoio interoperatório deve ser

projetado considerando requisitos de desempenho e capacidade com máxima prioridade.

Tabela 1.2. Atributos de Qualidade Relacionados aos RAS para a Arquitetura do Sistema SIGEAN.

Atributo de Qualidade	ID do RAS
Usabilidade	RAS01.
Desempenho	RAS02, RAS05, RAS10, RAS11.
Disponibilidade	RAS03, RAS07.
Segurança	RAS04, RAS08, RAS11.
Capacidade do Sistema	RAS06, RAS07, RAS11, RAS12, RAS13.
Interoperabilidade	RAS09

É importante destacar que, os requisitos para a arquitetura RAS08 e RAS09 foram definidos com base em regulamentação nacional para segurança e interoperabilidade de sistemas de software de saúde. É de grande importância que o arquiteto esteja sempre atualizado sobre esse tipo de regulamentação, pois o cumprimento desses requisitos irá impactar fortemente na certificação destes sistemas. No Brasil, a Sociedade Brasileira de Informática em Saúde (SBIS) é uma das organizações responsáveis pela certificação de Sistemas de Registro Eletrônico em Saúde (S-RES). Qualquer sistema de software que vise o armazenamento e gestão de informações na área de saúde deve cumprir os requisitos de segurança e interoperabilidade propostos pela SBIS em [Silva and Junior 2019] antes de seu uso por profissionais de saúde. Nessa perspectiva, o arquiteto deverá entender essa regulamentação e definir os RAS para que a arquitetura do sistema esteja em conformidade com os padrões impostos pelas diretrizes da SBIS.

1.6. Etapa 3 - Projeto Arquitetural

O objetivo da terceira etapa para a construção de uma arquitetura é gerar um projeto arquitetural que atenda aos RAS [Bass et al. 2012] identificados na etapa de análise arquitetural. A atividade de projeto da arquitetura deve ser planejada, intencional, racional e dirigida [Cervantes and Kazman 2016]. Essa atividade é desafiadora já que o arquiteto começa com “uma folha em branco” que deve ser preenchida com diversas possibilidades visando o cumprimento dos RAS. O preenchimento do projeto ou formação da arquitetura é realizado através da tomada de decisões que o arquiteto realiza durante o projeto. Essas decisões precisam ser modeladas de tal forma que possam ser claramente entendidas pelos diferentes *stakeholders* do projeto. Adicionalmente, é necessário documentar adequadamente o projeto para compartilhar e comunicar todas as informações da arquitetura requeridas por esses *stakeholders*. As atividades envolvidas dentro da etapa de projeto arquitetural são apresentadas na **Figura 1.15** e serão descritas a seguir.

1.6.1. Tomada de Decisões Arquiteturais no Sistema SIGEAN

A tomada de decisões é a atividade fundamental de um arquiteto de software, pois define: (i) como que as estruturas de um sistema de software serão organizadas; (ii) como que essas estruturas estarão relacionadas; e (iii) quais são as restrições necessárias para essas estruturas e tais relacionamentos. A tomada de decisões é de vital importância pois é através desse processo de raciocínio que o arquiteto deve garantir que os RAS da arquitetura sejam satisfeitos da melhor forma.

O arquiteto pode fazer uso de sua experiência para definir a arquitetura do sistema.

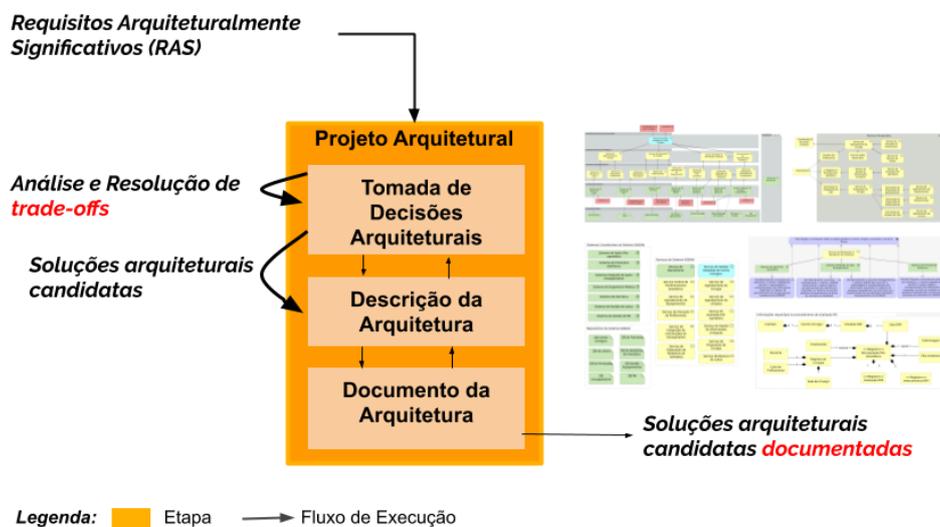


Figura 1.15. Atividades para Definir o Projeto de uma Arquitetura de Software.

Existem “boas práticas” que podem ser seguidas para criar arquiteturas de uma forma mais rápida e com certo nível de confiança de que a arquitetura irá atender os RAS. Essas práticas estão relacionadas ao uso de soluções arquiteturais existentes que já têm sido validadas previamente pela comunidade e que são bem conhecidas para solucionar RAS específicos. Dentre essas soluções destacam-se o uso de táticas arquiteturais, padrões arquiteturais (algumas vezes chamados de estilos) e arquiteturas de referência.

Táticas Arquiteturais

Para a arquitetura do sistema *SIGEAN* foram adotadas táticas para *segurança* (não repúdio, encriptação dos dados, autorização, e autenticação), *desempenho* (replicação e agendamento de recursos), *disponibilidade* (monitoramento do estado das partes do sistema para detectar falhas) e *interoperabilidade* (transformação de dados entre partes do sistema para realizar a troca de informações). Uma descrição detalhada dessas táticas pode ser encontrada nos capítulos 5, 6, 8 e 9 do livro [Bass et al. 2012].

Segundo as diretrizes fornecidas pela SBIS, os sistemas de software para saúde que pretendem atuar no âmbito nacional devem adotar os padrões ISO/IEC 27002:2013 [ISO/IEC 2013, ISO/IEC 2015] para segurança de informação, que já aderem às táticas arquiteturais de controle de acesso, encriptação, login e monitoramento de acesso. Nesse sentido, o arquiteto do sistema *SIGEAN* segue a série de padrões ISO/IEC 27002 como estratégia para implementar as táticas de segurança.

Com o intuito de promover a criação de sistemas de saúde interoperáveis, a SBIS recomenda adoção dos padrões HL7⁵ e FHIR⁶ para definir a sintaxe das informações tro-

⁵<http://www.hl7.com.br/>

⁶<https://hl7.org/FHIR/>

cadadas entre sistemas, e os padrões LOINC⁷, CID-10⁸, SNOMED-CT⁹ para identificar os conceitos e a terminologia que deverá ser utilizada pelos sistemas que irão trocar informações [Silva and Junior 2019].

Ao reusar os padrões previamente identificados pela SBIS e definidos por organizações internacionais de padronização, o trabalho do arquiteto deve estar focado em identificar e descrever quais elementos (serviços e entidades de dados) da arquitetura deverão implementar as táticas de segurança e interoperabilidade que esses padrões definem para os sistemas de saúde.

Arquiteturas de Referência e Padrões Arquiteturais

Para sistemas de saúde existem diversas arquiteturas de referência que podem oferecer uma estrutura arquitetural inicial em vários tipos de aplicação, como por exemplo, casas inteligentes para o cuidado de saúde [Garcés 2018], prontuários eletrônicos [The openEHR Foundation 2018, Cavalini and Cook 2014, Losavio et al. 2015], saúde conectada [Bandara 2015], ecossistema de e-saúde [Wartena et al. 2010], além de outros. Em [Garcés et al. 2015, Garcés et al. 2020] são apresentadas diversas arquiteturas de referência para projetar sistemas de software de saúde. Dentro desse conjunto de arquiteturas de referência, destaca-se a OpenEHR [The openEHR Foundation 2018] cujo uso é recomendado pela SBSI para arquitetar sistemas de prontuário eletrônico que pretendem certificação nacional [Silva and Junior 2019].

O arquiteto do sistema *SIGEAN* fez uma revisão dessas arquiteturas de referência e não achou alguma que poderia orientar o projeto arquitetural no domínio de salas de cirurgia, centros cirúrgicos ou processos de anestesia. Nesse contexto, o arquiteto optou por utilizar uma arquitetura de referência para sistemas orientados à serviços. Dessa forma, a arquitetura para o sistema *SIGEAN* é baseada na arquitetura de referência “Service-Oriented Solution Stack (S3)” [Arsanjani et al. 2007], que permite criar arquiteturas seguindo o padrão SOA. Entretanto, a S3 precisou ser refinada e adaptada ao contexto do sistema *SIGEAN*, levando o arquiteto a tomar decisões complementares como a adoção de outros padrões arquiteturais como o de camadas (*layers*), SOA, repositório, e barramento.

Resolução de Trade-offs

Como introduzido na **Seção 1.2**, a aplicação de arquiteturas de referência, padrões ou táticas arquiteturais para ajudar a cumprir RAS da arquitetura sob construção leva a necessidade de resolução de conflitos ou *trade-offs* entre atributos de qualidade impostos por essas soluções arquiteturais.

A **Figura 1.16** apresenta um exemplo dos possíveis *trade-offs* existentes entre alguns dos atributos de qualidade considerados RAS para a arquitetura do sistema *SIGEAN*. Esses *trade-offs* foram recuperados de [Wieggers and Beatty 2013]. Por exemplo, observa-

⁷<https://loinc.org/>

⁸<https://www.who.int/classifications/icd/icdonlineversions/en/>

⁹<http://www.snomed.org/>

	Usabilidade	Desempenho	Disponibilidade	Segurança	Escalabilidade	Interoperabilidade
Usabilidade		-				
Desempenho	-				-	-
Disponibilidade						
Segurança	-	-	+			+
Escalabilidade		+	+			
Interoperabilidade		-	+	-		

Figura 1.16. Possíveis trade-offs entre RAS para a arquitetura do sistema *SIGEAN*. Extraído de [Wieggers and Beatty 2013].

se que priorizando os RAS relacionados a desempenho o arquiteto terá que mitigar os possíveis efeitos negativos em RAS associados à usabilidade, escalabilidade (capacidade do sistema) e interoperabilidade. Por outro lado, ao priorizar RAS de escalabilidade ou capacidade do sistema, o arquiteto poderá contribuir positivamente também para o cumprimento de RAS de desempenho e disponibilidade do sistema.

A análise de *trade-offs* permitiu que o arquiteto priorizasse o conjunto de RAS associados aos atributos de escalabilidade, interoperabilidade e segurança, ao invés dos atributos de desempenho, disponibilidade e usabilidade. Essa decisão foi baseada no fato de que ao priorizar o primeiro conjunto de RAS, seria possível contribuir parcialmente para o cumprimento dos níveis de desempenho e disponibilidade. Para atingir o grau desejado de usabilidade o arquiteto deverá analisar possíveis alternativas que possibilitem um mínimo cumprimento desses RAS, visando sempre não prejudicar os outros RAS que foram priorizados.

É importante ressaltar que o processo de busca por um padrão, tática arquitetural ou arquitetura de referência adequado deve estar sempre acompanhado de uma análise aprofundada dos *trade-offs* que poderão surgir ao adotar essas soluções na arquitetura do sistema de software. Assim, a tomada de decisões é um processo sistemático, ciente e de grandes desafios para um arquiteto e deve ser realizado cuidadosamente pois decisões não adequadas podem repercutir negativamente no sucesso do sistema durante as etapas de desenvolvimento, teste, implantação, manutenção e evolução, entre outras.

Na próxima seção é explicado como que cada uma dessas estratégias arquiteturais foi utilizada para formar a primeira versão da arquitetura do sistema *SIGEAN*.

1.6.2. Descrição da Arquitetura

Conforme introduzido na **Seção 1.2.2**, o arquiteto precisa descrever de forma clara e coerente as decisões tomadas para construir a arquitetura do sistema. Nesse sentido, faz-se necessário apresentar a arquitetura como um conjunto de visões. Para descrever a arquitetura do sistema *SIGEAN* foram criadas as seguintes visões arquiteturais utilizando a ferramenta *Archi*®:

- **Visão de Stakeholders** que descreve os diferentes interessados na construção do sistema e que foi apresentada na **Figura 1.7**;
- **Visão de Objetivos dos Stakeholders** que define quais as metas que cada parte interessada espera cumprir ao utilizar o sistema *SIGEAN*, introduzida na **Figura 1.10**;
- **Visão Lógica** que modela as entidades de dados envolvidas na operação do sistema *SIGEAN* como o modelo apresentado na **Figura 1.11**;
- **Visão de Sistemas**, serviços e repositórios que constituem o sistema *SIGEAN*, apresentada na **Figura 1.12**;
- **Visão de Capacidades** que descreve quais partes do sistema serão responsáveis por cumprir cada requisito, que é ilustrada nas **Figuras 1.13 e 1.14**;

Essas visões ainda não apresentam decisões arquiteturais, mas fazem parte do conhecimento que o arquiteto utilizou para propor uma solução arquitetural coerente para o sistema *SIGEAN*. Para representar as decisões arquiteturais, o arquiteto decidiu utilizar as visões em camadas, de processos e física, descritas a seguir.

1.6.2.1. Visão em Camadas

A **Figura 1.17** descreve de forma geral a organização dos sistemas, serviços e repositórios que compõem a primeira versão arquitetura do sistema *SIGEAN*. Diferentemente da visão de sistemas (ver **Figura 1.12**), a visão em camadas explica como os elementos da arquitetura estão organizados seguindo o padrão camadas (*layers*).

Camadas é um padrão arquitetural que orienta a categorização dos elementos da arquitetura com base nas funcionalidades que eles oferecem para outras partes do sistema e aos objetivos dos usuários finais que eles ajudam a cumprir. Esse padrão impõe restrições às maneiras com que os elementos de camadas adjacentes se comunicam. Alguns dos benefícios de adotar camadas na arquitetura do sistema *SIGEAN* é facilitar a modificação ou substituição dos elementos dentro de uma camada sem afetar outros elementos em camadas adjacentes. Isso é possível devido ao baixo acoplamento que existe entre os elementos de diversas camadas [Harrison and Avgeriou 2007, Richards 2015, Gorton 2011]. Adicionalmente, considerando a arquitetura como camadas de elementos é possível adicionar camadas de elementos destinados à segurança do sistema, como por exemplo a camada de *Qualidade de Serviço (QoS)* no diagrama da **Figura 1.17**.

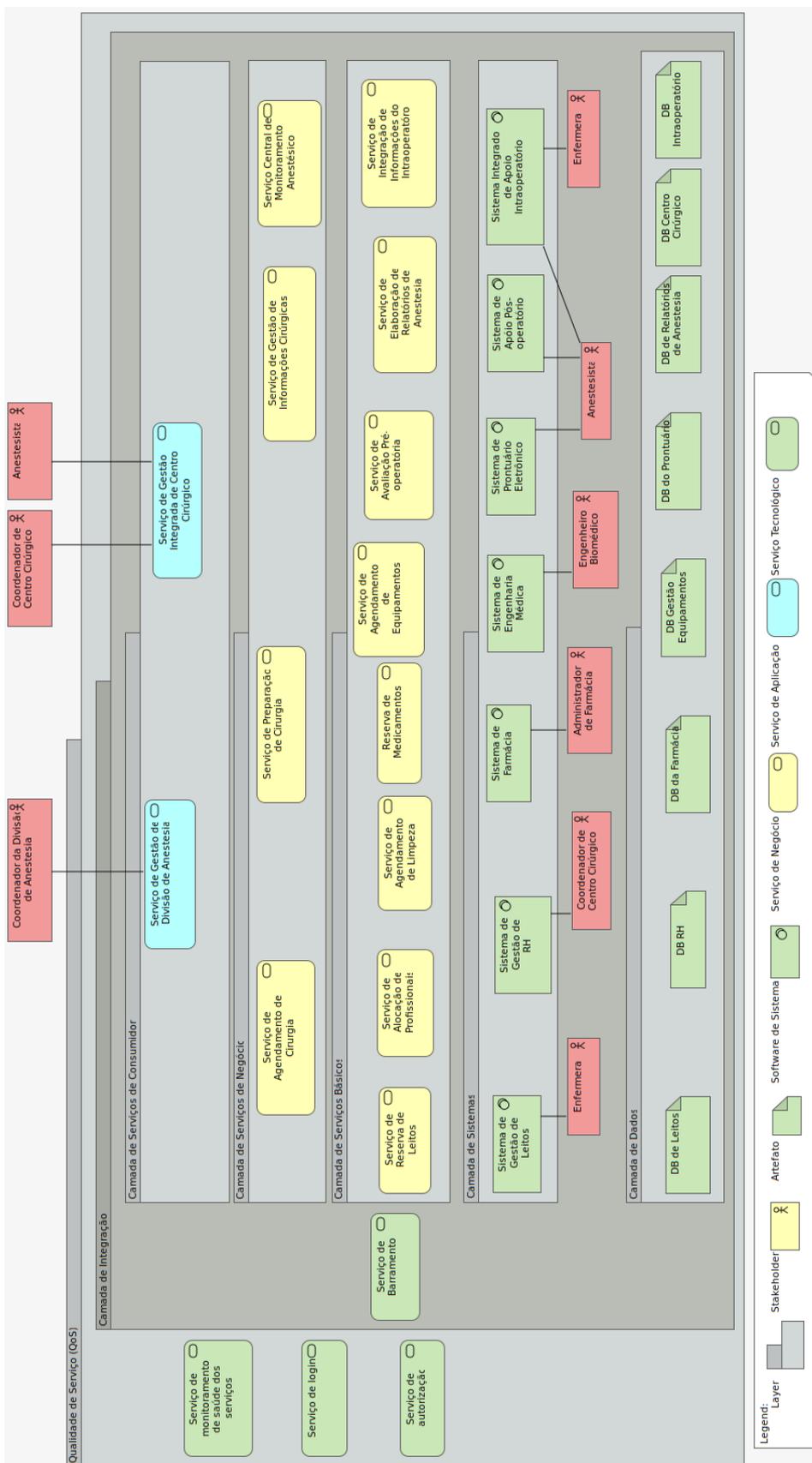


Figura 1.17. Visão em Camadas da Arquitetura do Sistema SIGEAN como Instância da Arquitetura de Referência S3.

A arquitetura de referência S3 [Arsanjani et al. 2007] oferece diretrizes para categorizar arquiteturas que seguem o padrão SOA, como é o caso da arquitetura do sistema *SIGEAN*. Ao instanciar S3, foi possível reusar o conhecimento sobre como organizar uma arquitetura SOA em camadas. Nessa perspectiva, as sete camadas da visão na **Figura 1.17** não foram propostas pelo arquiteto do sistema *SIGEAN* mas reutilizadas a partir da S3 [Arsanjani et al. 2014]. Uma das muitas vantagens da S3 é que a forma de organizar as camadas de software e as relações entre elas ajuda a preencher o *gap* entre os processos de negócio e a infraestrutura de TI em uma organização. Isso é realizado a partir da criação de diferentes tipos de serviços como por exemplo os serviços básicos, de negócio e de consumo, além de serviços dedicados a integrar as comunicações e monitorar a qualidade das operações executadas por todos os serviços na arquitetura.

Outra vantagem de utilizar S3 é que os serviços que participam de um sistema de software podem ser reusados em outros sistemas que pertencem à mesma ou entre diferentes indústrias, agilizando assim o desenvolvimento, implantação (*deployment*) e gerenciamento de sistemas baseados em SOA [Arsanjani et al. 2007, Arsanjani et al. 2014].

As camadas inferiores da **Figura 1.17**, camada de dados e de sistemas, são destinadas a sistemas de software existentes na organização e cujas operações/capacidades serão fornecidas como serviços para o sistema *SIGEAN*. Destaca-se que, esses sistemas operam nos diferentes institutos do HCFMUSP, porém eles são terceirizados, ou seja, não estão sob o controle do HCFMUSP pois existem diferentes empresas de software por trás da manutenção, atualização e gerenciamento desses sistemas. O fato de considerar esses sistemas como partes do novo sistema *SIGEAN* influencia diretamente no custo total para implementar *SIGEAN* como uma nova solução SOA. Nessa visão, também são representados diferentes usuários finais que atualmente podem acessar esses sistemas existentes.

A camada de serviços básicos é composta por todos os serviços que são fornecidos pelos sistemas na camada inferior. Na arquitetura de referência S3, um serviço é considerado como uma especificação abstrata de uma coleção de (um ou mais) funções de negócio expostas por um sistema fornecedor. O sistema deve especificar o serviço através de uma definição abstrata das funcionalidades oferecidas, o que comumente é feito através de APIs REST, ou usando WSDL. Os serviços nessa camada podem ser descobertos e invocados ou possivelmente coreografados/orquestrados para compor os serviços das camadas superiores.

Na camada de serviços de negócio são alocados serviços compostos pelos serviços da camada inferior. Serviços de negócio descobrem, invocam, coreografam ou orquestram serviços básicos. **Coreografia e orquestração** são duas **táticas arquiteturais para interoperabilidade** [Valle et al. 2019, Bass et al. 2012] que possibilitam a coordenação de serviços para executar processos de negócio que precisam da interação de várias funcionalidades de forma organizada. Por exemplo, na **Figura 1.18** pode-se observar os serviços básicos envolvidos e as respectivas informações requeridas pelo serviço composto, o *Serviço de Preparação de Cirurgia*, para atender uma solicitação de preparação de sala.

A camada de consumidor, ou camada de apresentação, fornece as capacidades requeridas para entregar funcionalidades e dados aos usuários finais para eles cumprirem

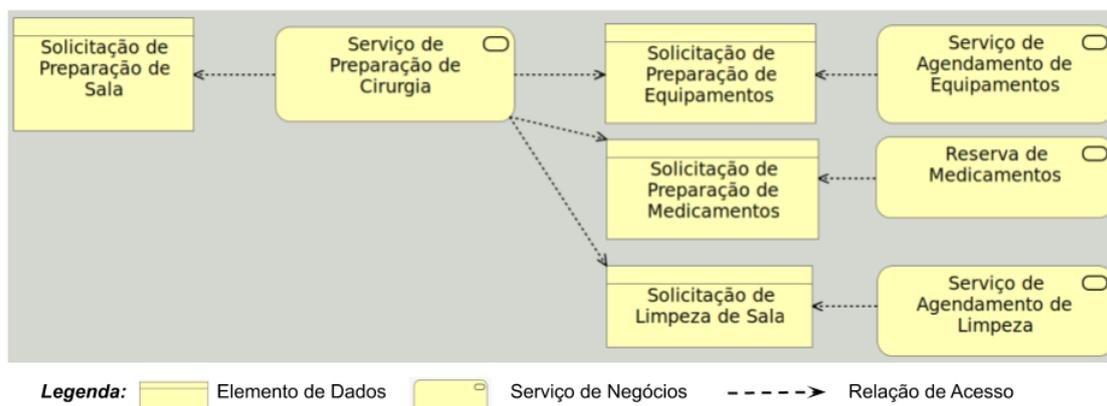


Figura 1.18. Serviço de Preparação de Cirurgia coordenando serviços básicos.

suas atividades dentro da organização. Essa camada possibilita a criação rápida do *font-end* dos serviços da camada de negócio. Em *SIGEAN*, os serviços da camada de consumidor oferecerão as interfaces de usuário (UI) para os coordenadores da divisão de anestesia e dos centros cirúrgicos do HCFMUSP.

A camada de integração fornece as capacidades para mediar, encaminhar e transportar de forma confiável as requisições de serviços aos serviços fornecedores. A integração é realizada fazendo uso de um barramento de serviços definido em S3 como ESB (Enterprise Service Bus). Tal barramento fornece capacidades de integração ponto-a-ponto, mediação de protocolos de transferência de dados e mecanismos de transformação de protocolos para garantir interoperabilidade técnica. A camada de integração oferece capacidades de comunicação, invocação e qualidade de serviço (QoS) entre as camadas adjacentes em arquiteturas que seguem o padrão SOA. As maiores vantagens de ter um serviço de barramento ou camada de integração é a comunicação ou relacionamento indireto entre o consumidor da funcionalidade e seu fornecedor, como ilustrado na **Figura 1.19**. O serviço consumidor interage com o serviço fornecedor somente através da camada de integração. Como resultado, cada especificação de serviço somente é exposto através da camada de integração (como um ESB), nunca de forma direta. Adicionalmente, essa camada intermediária desacopla ou dissocia consumidores e fornecedores, facilitando a interoperação e integração de sistemas heterogêneos e distribuídos para formar novos sistemas.

A camada de qualidade de serviço (QoS) fornece às arquiteturas baseadas em SOA capacidades para realizar requisitos de atributos de qualidade. Serviços dessa camada capturam, monitoram, registram e alertam o incumprimento desses requisitos por parte dos serviços das outras camadas. A camada de QoS serve como um “observador” das outras camadas e podem emitir sinais ou eventos quando um requisito de atributo de qualidade não é cumprido, ou quando uma condição de possível descumprimento é detectada. Na arquitetura do sistema *SIGEAN*, a camada de QoS fornece os serviços para garantir que o sistema atingirá requisitos de segurança e disponibilidade. Para isso, os serviços dessa camada deverão implementar **táticas de autorização, autenticação (login) e monitoramento** da saúde ou disponibilidade dos serviços pertencentes a outras camadas.

Os leitores que desejem aprofundar o conhecimento sobre como arquitetar siste-

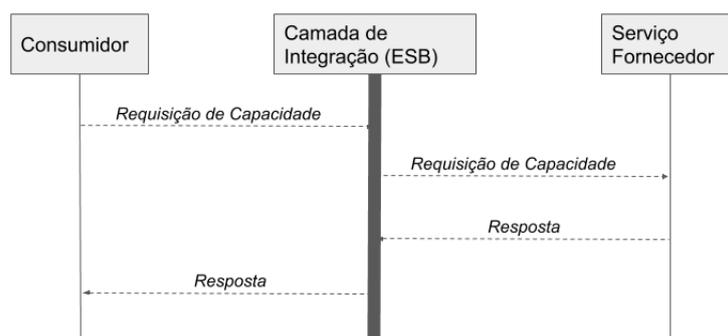


Figura 1.19. Interação indireta entre consumidor e fornecedor de um serviço utilizando a camada de integração.

mas de software baseados em SOA podem consultar o livro de [Josuttis 2007].

1.6.3. Visão de Processo de Negócio

Quando se arquiteta um sistema baseado no padrão SOA, é necessário definir os processos que os serviços de negócio precisam executar. Nessa perspectiva, para a arquitetura do sistema *SIGEAN*, foram criadas três visões que explicam como os processos pré-operatório, intraoperatório e pós-operatório devem ser executados. A **Figura 1.20** apresenta os serviços das camadas de serviços básicos e de negócio precisam interagir para executar as atividades envolvidas no processo pré-operatório, que irão ser acessadas pelos anestesistas e coordenadores dos centros cirúrgicos do HCFMUSP através da UI fornecida pelo *Serviço de Gestão Integrada de Centro Cirúrgico*.

1.6.3.1. Visão Física

Considerando a importância de ter conhecimento sobre os recursos físicos que a arquitetura irá impor durante a implantação do sistema nas instalações da organização, foi importante definir duas visões físicas para o sistema *SIGEAN*, que são apresentadas nas **Figuras 1.21 e 1.22**.

A primeira visão (**Figura 1.21**) apresenta o mapeamento dos diferentes serviços requeridos para executar os processos dentro dos centros cirúrgicos. Segundo esta visão, pode-se observar que o arquiteto definiu a necessidade de ter um servidor central em cada um dos 9 centros cirúrgicos do HCFMUSP. Esse servidor central é responsável por alocar a maioria de serviços das camadas de serviços básicos e de negócio. Dessa forma, é nesse servidor que a orquestração dos serviços para executar todos os processos durante a gestão do centro cirúrgico é realizada. O servidor central também aloca o serviço de *Gestão Integrada de Centro Cirúrgico* com o qual os usuários finais (coordenador de centro cirúrgico e anestesistas) irão interagir para acessar às funcionalidades do sistema, como visto na **Figura 1.20**. O servidor central do centro cirúrgico é considerado um servidor de aplicações e lógica de negócio e não é responsável pela persistência dos dados gerados e consumidos pelos serviços. A persistência das informações está baixo responsabilidade do *Servidor Central de Dados do Centro Cirúrgico*. O desacoplamento dos dados e aplicações é uma implementação da **tática “evitar um único ponto de falha”** para favorecer

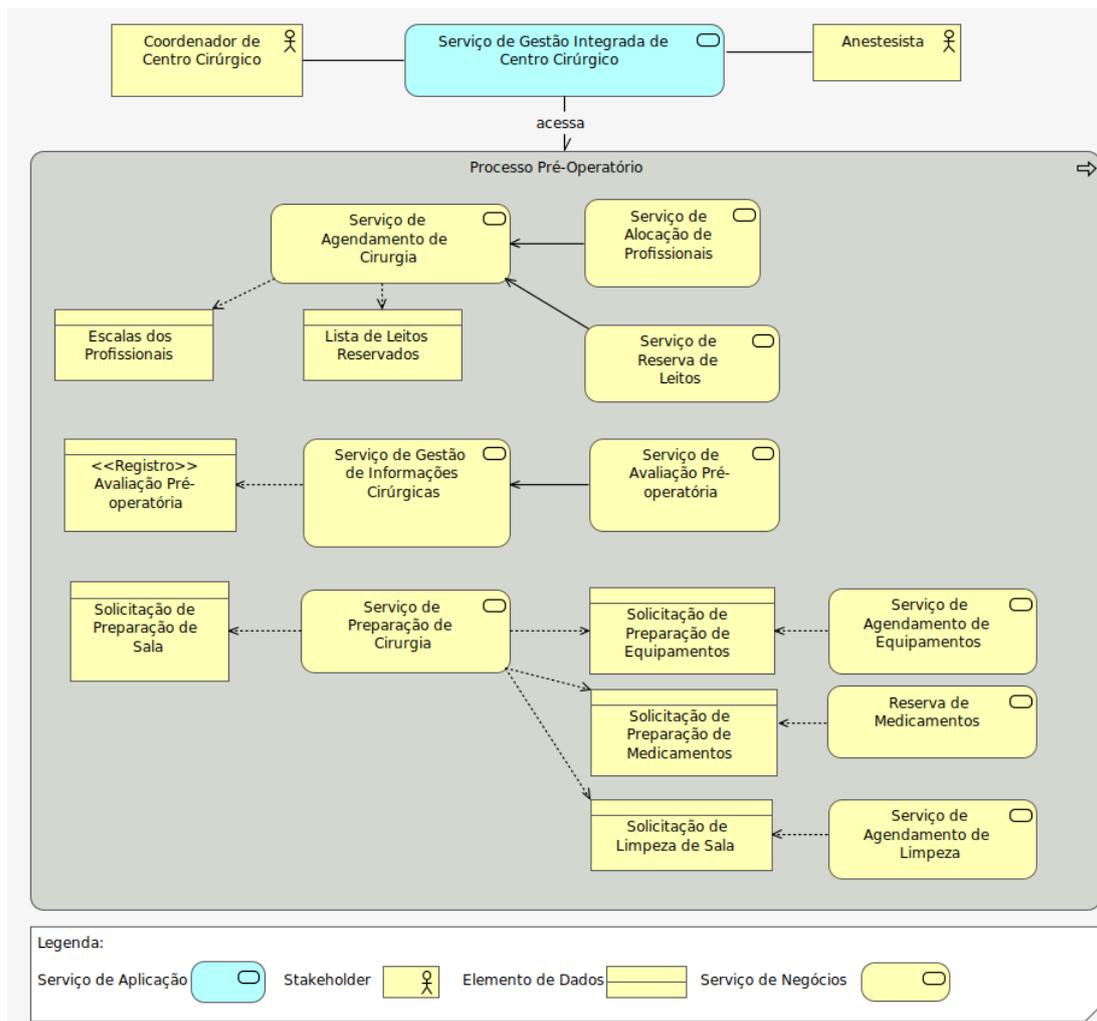


Figura 1.20. Visão de *Processo Pré-Operatório*

a **disponibilidade** dos serviços e dados para evitar falhas generalizadas no sistema no caso de apresentar-se falhas em algum desses servidores.

Devido à alta carga de processamento e à segurança de informações geradas pelos diferentes equipamentos dentro das salas de cirurgia, foi necessário definir um servidor local para cada sala responsável por executar o *serviço de integração de informações do intraoperatório*. Nessa perspectiva, cada sala de cirurgia terá seu próprio servidor, que além de integrar as informações do paciente no relatório de anestesia, deve comunicar a cada 5 minutos o estado atual do paciente tanto ao anestesiista dentro da sala quanto à coordenação do centro cirúrgico. Essa comunicação entre o *serviço de integração de informações do intraoperatório* e o *Serviço central de monitoramento anestésico* é realizado através do *Serviço de barramento* alocado num outro nó físico, o servidor de barramento.

Outra decisão importante que pode-se identificar ao analisar a visão física da **Figura 1.21** é a aplicação da tática de redundância de recursos físicos que permite aumentar os níveis de disponibilidade, capacidade (ou escalabilidade) e desempenho do sistema. Por exemplo, foi planejado a redundância do servidor de QoS, central do hospital e de

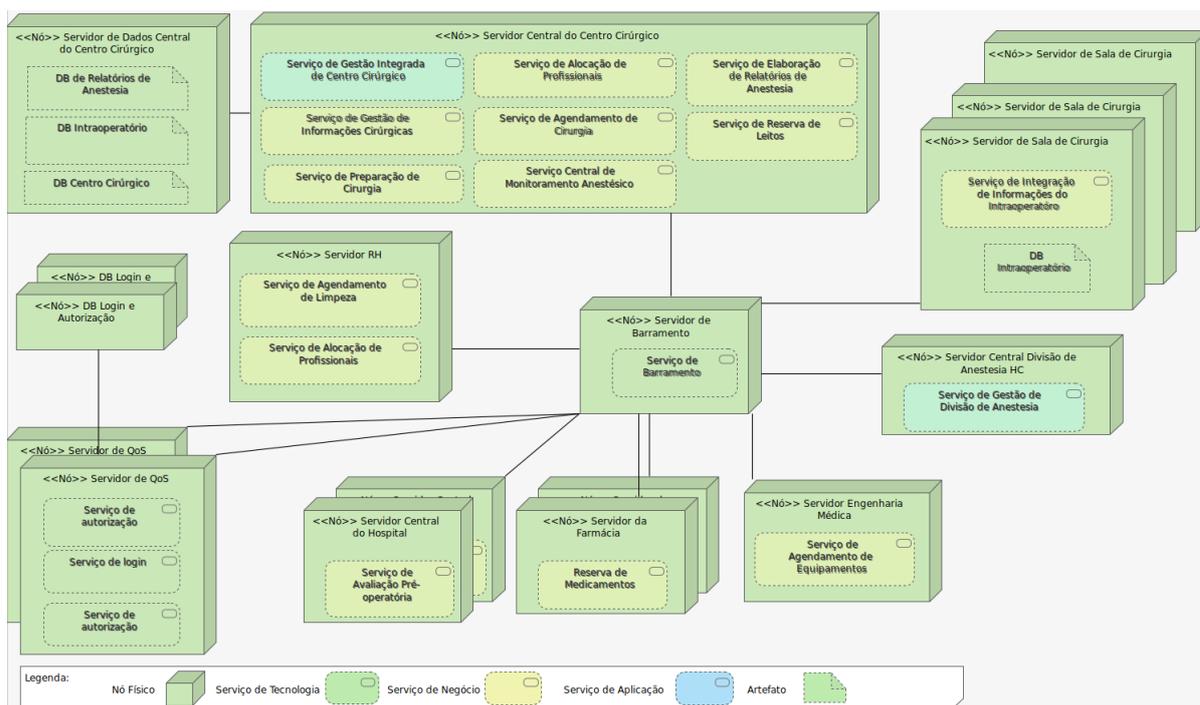


Figura 1.21. Visão Física da Arquitetura do Sistema SIGEAN a ser Implantada no Complexo HCFMUSP, parte 1.

farmácia os quais deverão atender grandes quantidades de requisições de diversos usuários de forma concorrente. Ao ter réplicas dos servidores é possível atender o incremento de demanda de requisições dos servidores pois pode ser executado um balanceamento da demanda entre as réplicas, evitando sobrecarregar um único servidor, favorecendo a disponibilidade desse elemento físico e os serviços alocados nele. Igualmente, esta tática evita que os tempos de resposta aumentem devido ao aumento de carga de trabalho nos servidores, pois tal carga será balanceada entre os diferentes nós replicados.

A segunda visão (ver **Figura 1.22**) são representados os recursos físicos necessários para implementar o sistema SIGEAN no HCFMUSP considerando os nove centros cirúrgicos dentro dos 7 institutos que compõem este complexo hospitalar. Nessa visão, é possível observar a necessidade de ter diversos níveis de integração no sistema SIGEAN. Na visão da **Figura 1.21**, foi representado um servidor de barramento para integrar os diferentes nós que contém serviços de diversos setores dentro do HCFMUSP, como RH, ambulatório (servidor central do hospital), farmácia, engenharia médica, divisão de anestesia, centros cirúrgicos e suas salas de cirurgia. Ao fazer uma análise mais rigorosa para integrar os serviços que gerenciam as informações relacionadas aos procedimentos anestésicos, foi identificada a necessidade de instanciar o serviço de barramento em diferentes servidores para evitar a possível sobrecarga do trabalho de transferência, comunicação e mediação executado por um só barramento centralizado para todo o sistema SIGEAN.

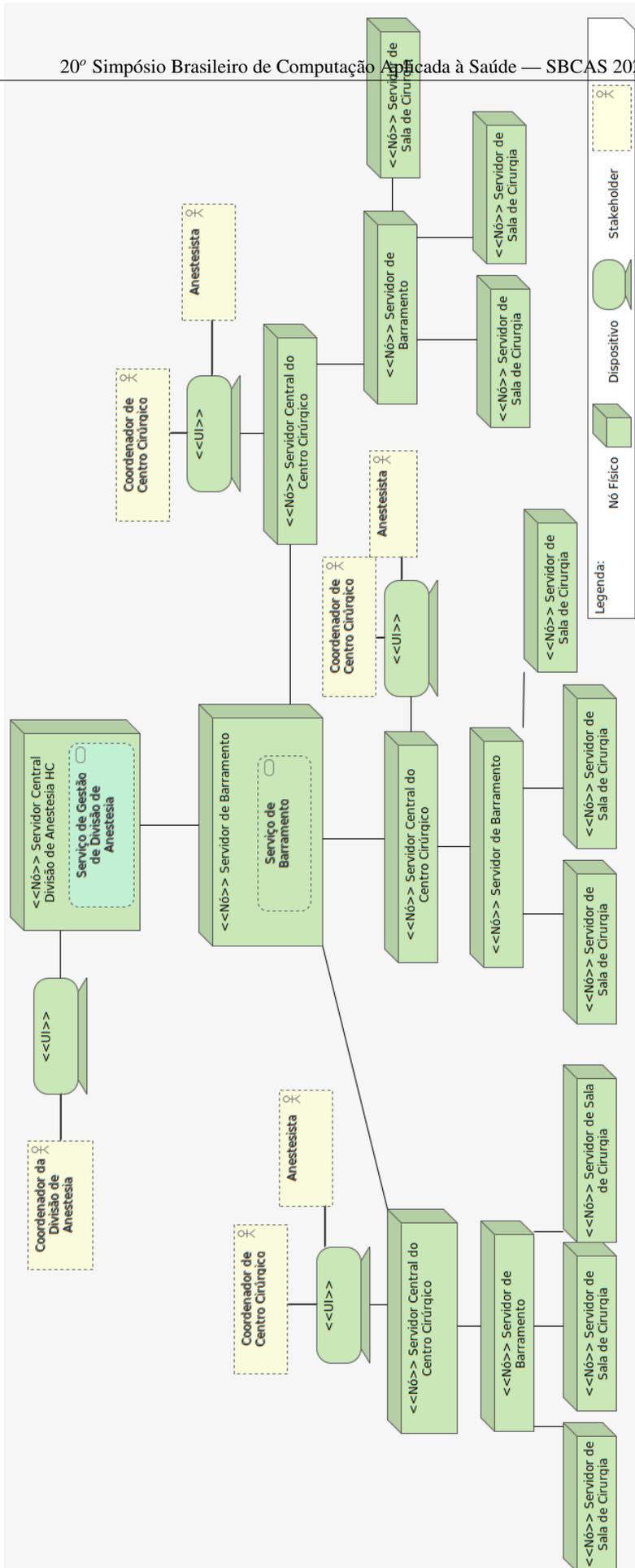


Figura 1.22. Visão Física da Arquitetura do Sistema SIGEAN a ser Implantada no Complexo HCFCMUSP, parte 2.

Nesse contexto, é necessário ter um servidor de barramento por centro cirúrgico que integre todas as informações geradas pelas diversas instâncias do *Serviço de Integração de Informações do Intraoperatório* que são executadas nos servidores das salas cirúrgicas em cada centro cirúrgico. Ao utilizar hierarquias de barramentos o arquiteto visou aumentar a escalabilidade do sistema *SIGEAN* devido que novas salas de cirurgia podem ser abertas nos centros cirúrgicos sem afetar a capacidade do barramento central, e ao mesmo tempo é possível conectar gradativamente os centros cirúrgicos sem a necessidade de realizar grandes modificações nos serviços de barramento do complexo hospitalar.

1.6.4. Documentação da Arquitetura

A última atividade da etapa de projeto arquitetural é a documentação da arquitetura do sistema. Documentar uma arquitetura é uma questão de representar e descrever as visões e, em seguida, adicionar informações se aplicam a mais de uma visão [Clements et al. 2010]. É de grande importância traçar os relacionamentos entre visões para garantir um correto entendimento da arquitetura desde diferentes visões.

Destaca-se aqui que, as atividades de tomada de decisões, descrição (criação das visões) e a documentação da arquitetura são atividades que devem ser executadas paralelamente e incrementalmente. Ou seja, uma vez uma decisão seja tomada pelo arquiteto para abordar certo RAS, essa decisão deve ser representada nas visões e ao mesmo tempo explicada no documento da arquitetura. Novas decisões irão ser inseridas nas visões e no documento de forma incremental.

Uma das vantagens de utilizar ferramentas de modelagem arquitetural, como *Archi*®, para a criação das visões arquiteturais é a possibilidade de gerar automaticamente a documentação da arquitetura, poupando esforços ao arquiteto para documentar de forma clara e correta os modelos.

Como exemplo de um documento arquitetural gerado por *Archi*®, a documentação da arquitetura do sistema *SIGEAN* pode ser consultada no seguinte endereço: <https://linamgr.github.io/SIGEAN/>.

1.7. Considerações Finais

Os autores deste capítulo destacam que a arquitetura do sistema *SIGEAN* aqui apresentada está ainda em sua primeira versão. Dessa forma, as decisões arquiteturais apresentadas aqui ainda precisam ser avaliadas com os respectivos *stakeholders*.

Adicionalmente, algumas decisões arquiteturais ainda precisam ser representadas nas visões, como é o caso da tática de encriptação dos dados nos diferentes repositórios. Outra decisão arquitetural a ser definida é em relação a quais padrões para interoperabilidade semântica e sintática as organizações responsáveis pelos sistemas já existentes que operam no HCFMUSP estão dispostas a implementar para facilitar a troca das informações entre eles e os serviços de barramento. Uma vez as partes interessadas concordem em quais padrões de interoperabilidade utilizar, o arquiteto do sistema *SIGEAN* deverá identificar quais estruturas de dados precisam ser formatadas seguindo os padrões selecionados. Além disso, o arquiteto precisará representar e documentar nos modelos da visão

lógica (por exemplo a **Figura 1.11**) quais termos deverão adotar a semântica do padrão de terminologia médica selecionados. De forma similar, o arquiteto deverá identificar e descrever como as informações trocadas devem ser formatadas sintaticamente para garantir uma correta comunicação entre as partes da arquitetura. Essa especificação deve ser representada na visões lógica e de processos como aquelas apresentadas nas **Figuras 1.11 e 1.20**.

Atualmente, o planejamento da etapa de avaliação está sendo executada. Visa-se que a primeira versão da arquitetura do sistema *SIGEAN* seja avaliada com os diferentes interessados no sistema. Com tal avaliação pretende-se a verificação das decisões arquiteturais em relação aos RAS definidos para a arquitetura. Essa atividade de verificação faz-se necessária uma vez que é preciso ter um nível de certeza sobre se: (i) a arquitetura de software é adequada para o sistema desejado; (ii) os RAS serão alcançados; (iii) o software poderá ser desenvolvido conforme a arquitetura e com os recursos disponíveis; e (iv) seguindo a arquitetura proposta é possível que o sistema apresente problemas ou baixa qualidade durante sua operação.

Por fim, deve-se definir quais tipos de tecnologias serão utilizadas para permitir o desenvolvimento do sistema *SIGEAN* conforme o que foi especificado na arquitetura de software. Para isso, é necessário estimar os riscos associados à adoção de tecnologias e infraestruturas fornecidas por empresas de cloud computing como IBM, Amazon, Google entre outras. Também será necessário entender as possíveis mudanças organizacionais que uma abordagem de gestão de tecnologia local irá trazer para o HCFMUSP. Ou seja, é necessário que o arquiteto estude as implicações de adotar tecnologias de código aberto para a implantação de uma nuvem privada para o HCFMUSP. Nessa perspectiva, a grande pergunta que deve ser analisada durante o processo de avaliação da arquitetura é como manter a integridade da arquitetura sem extrapolar o orçamento e cronograma estimado para o projeto de desenvolvimento do sistema *SIGEAN*.

Acrônimos

ADL Architectural Description Language, ou em Português: Linguagem de Descrição Arquitetural.

API Application Programming Interface, ou em Português: Interface de programação de aplicações.

AQ Atributo de Qualidade

ASR Architecturally Significant Requirements.

bpm Batimentos por minuto

ICD International Classification of Disease, ou em Português: Classificação Internacional de Doenças

ESB Enterprise Service Bus, em Português: Barramento de Serviços Empresariais.

FHIR (Fast Health Interoperable Resources, ou em Português: Recursos Interoperáveis Rápidos em Saúde

HCFMUSP Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

HL7 High Level 7

ICHC Instituto Central do Hospital das Clínicas

ICR Instituto da Criança

ICESP Instituto do Câncer do Estado de São Paulo

- INCOR** Instituto do Coração
- INRAD** Instituto de Radiologia
- IntOR** Sistema Integrado de Sala de Cirurgia
- IOT** Instituto de Ortopedia e Traumatologia
- IPQ** Instituto de Psiquiatria
- IT** Information Technology, em Português Tecnologia da Informação.
- LOINC** Logical Observation Identifiers Names and Codes, ou em Português: Nomes e códigos de identificadores de observação lógica de laboratórios médicos.
- QoS** Quality of Service, em Português Qualidade de Serviço.
- RAS** Requisitos Arquiteturalmente Significativos.
- REST** Representational State Transfer, em Português Transferência Representacional de Estado
- RF** Requisito Funcional
- RNF** Requisito Não Funcional
- RPA** Recuperação pós-anestésica
- S-RES** Sistemas de Registro Eletrônico em Saúde
- SGBD** Sistema de Gerenciamento de Base de Dados
- SIGEAN** Sistema Integrado de Gestão de Divisão de Anestesia
- SNOMED-CT** Systematized Nomenclature of Medicine - Clinical Terms, ou em Português: Nomenclatura sistematizada de medicina - Termos Clínicos
- SOA** Service Oriented Architecture, ou em Português: Arquitetura Orientada a Serviços.
- SO2** Saturação de Oxigênio
- SBIS** Sociedade Brasileira de Informática em Saúde
- UI** User Interface, em Português: Interface de Usuário
- UML** Unified Modeling Framework. Em Português: Linguagem de Modelagem Unificada.
- UTI** Unidade de Terapia Intensiva
- WSDL** Web Services Definition Language, em Português: Linguagem de Definição de Serviços Web.

A. Questionário de Entrevista

A seguir, apresenta-se o questionário utilizado para realizar a entrevista para um profissional de saúde com perfil de *Coordenador do Centro Cirúrgico*. O questionário foi dividido nas seguintes quatro partes:

A.1. Parte I: Coleta de dados demográficos

- *Nome completo:*
- *Cargo:*
- *Anos de experiência:*
- *Instituto com o qual tem vínculo:*

A.2. Parte II: Como é hoje?

- Qual o papel que você desempenha no centro cirúrgico?
- Você realiza alguns procedimentos antes de uma cirurgia?; Quais?
- Você realiza alguns procedimentos durante uma cirurgia?; Quais?
- Você realiza alguns procedimentos depois de uma cirurgia?; Quais?
- Quais informações devem ser armazenadas?
- Como elas são armazenadas?
- Como são recolhidas essas informações?
- Os procedimentos mudam de acordo com o tipo de cirurgia?

A.3. Parte III: Quais são os problemas?

- Quais problemas ou dificuldades você considera que existem em relação ao armazenamento de informações no centro cirúrgico?
- Quais problemas ou dificuldades você considera que existem em relação à execução das suas atividades antes de uma cirurgia?
- Quais problemas ou dificuldades você considera que existem em relação à execução das suas atividades depois de uma cirurgia?
- Quais problemas ou dificuldades você considera que existem em relação à comunicação entre todos os profissionais envolvidos durante uma cirurgia?
- Quais problemas ou dificuldades você considera que existem em relação aos equipamentos utilizados?
- Qual seu maior medo ou preocupação na hora de usar sistemas de software como apoio na execução das atividades do centro cirúrgico?

A.4. Parte IV: Como pode melhorar?

- Como você imaginaria um sistema ideal para a realização de suas atividades no centro cirúrgico?
- Como você imagina que seria a melhor forma para apresentar (ou você obter) as informações relevantes para suas atividades?
- O que você acha que poderia ser melhorado em relação ao armazenamento de informações do centro cirúrgico?
- Qual a sua opinião em relação a usar sistemas automatizados para apoiar suas atividades no centro cirúrgico?

- Você acredita que um sistema integrado dos equipamentos da sala de cirurgia melhoraria seu dia a dia?; De que maneira?

B. Termo de Confidencialidade

Título do Projeto:

Responsáveis/Coordenadores do Projeto:

Ao assinar o seguinte termo,

1. Eu entendo que todas as informações são confidenciais. Concordo em concluir o questionário para fins de pesquisa e que os dados derivados dessa pesquisa podem ser publicados de forma anônima em periódicos, conferências e publicações em blogs.
2. Entendo que minha participação neste estudo de pesquisa é totalmente voluntária e que recusar participar não envolverá penalidade ou perda de benefícios. Se eu escolher, posso retirar minha participação a qualquer momento. Eu também entendo que, se eu optar por participar, posso me recusar a responder qualquer pergunta que eu não esteja confortável em responder.
3. Entendo que posso entrar em contato com os pesquisadores se tiver alguma dúvida sobre a pesquisa. Estou ciente de que meu consentimento não me beneficiará diretamente. Também estou ciente de que os autores manterão os dados coletados em perpetuidade e poderão utilizar dados para trabalhos acadêmicos futuros.
4. Eu livremente forneço consentimento e reconheço meus direitos como participante voluntário da pesquisa, conforme descrito acima, e forneço consentimento aos pesquisadores para usar as informações fornecidas na condução de pesquisas sobre as áreas mencionadas acima.

Nome completo do entrevistado:

CPF:

Assinatura do entrevistado:

Local e data:

Referências

- [Adler 2005] Adler, P. J. (2005). Dealing with interviews when creating personas: a practical approach. In Buur, J. and Mathews, B., editors, *Proceedings of Student Interaction Design Research Conference SIDER05*, pages 84–88. University of Southern Denmark.
- [Alves 2017] Alves, J. M. (2017). The adequate model: software quality evaluation model for telemedicine and telehealth systems. Master’s thesis, UFSC.
- [Angelov et al. 2013] Angelov, S., Trienekens, J., and Kusters, R. (2013). Software reference architectures - exploring their usage and design in practice. In *European Conference on Software Architecture*.
- [Arsanjani et al. 2007] Arsanjani, A., Zhang, L.-J., Ellis, M., Allam, A., and Channabasavaiah, K. (2007). S3: A service-oriented reference architecture. *IT Professional*, 9(3):10–17.
- [Arsanjani et al. 2014] Arsanjani, A., Zhang, L.-J., Ellis, M., Allam, A., and Channabasavaiah, K. (2014). Design an soa solution using a reference architecture. improve your development process using the soa solution stack. techreport, IBM.
- [Avgeriou and Zdun 2005] Avgeriou, P. and Zdun, U. (2005). Architectural patterns revisited - a pattern language. In *Pattern Languages of Programming Conference*, pages 1–40.
- [Bandara 2015] Bandara, N. (2015). Connected health reference architecture. techreport, WSO2.
- [Bass et al. 2012] Bass, L., Clements, P., and Kazman, R. (2012). *Software Architecture in Practice*. Addison-Wesley, 3^a edition.
- [Buschmann et al. 1997] Buschmann, F., Meunier, R., Rohnert, H., Sommerlad, P., and Stal, M. (1997). *Pattern-Oriented Software Architecture — A System of Patterns — Volume 1*. John Wiley & Sons.
- [Caldeira 2017] Caldeira, F. N. (2017). Avaliação situada de usabilidade de bombas infusoras em uma unidade de terapia intensiva. Master’s thesis, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro.
- [Cavalini and Cook 2014] Cavalini, L. T. and Cook, T. W. (2014). Use of xml schema definition for the development of semantically interoperable healthcare applications. In Gibbons, J. and MacCaull, W., editors, *Foundations of Health Information Engineering and Systems*, pages 125–145, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.
- [CBS News 2017] CBS News (2017). Global cyberattack strikes dozens of countries, cripples u.k. hospitals. on-line: <https://www.cbsnews.com/news/hospitals-across-britain-hit-by-ransomware-cyberattack/>.
- [Cervantes and Kazman 2016] Cervantes, H. and Kazman, R. (2016). *Designing Software Architectures: A Practical Approach*. Addison-Wesley Professional, 1^a edition.

- [CIO 2019] CIO (2019). Saúde enfrenta crescente problema de cibersegurança, diz especialista. on-line: <https://cio.com.br/saude-enfrenta-crescente-problema-de-ciberseguranca-diz-especialista/>. On-line.
- [Clements et al. 2010] Clements, P., Bachmann, F., Bass, L., Garlan, D., Ivers, J., Little, R., Merson, P., Nord, R., and Stafford, J. (2010). *Documenting Software Architectures: Views and Beyond*. Addison-Wesley Professional, 2ª edition.
- [Fairbanks 2010] Fairbanks, G. (2010). *Just Enough Software Architecture: A Risk-Driven Approach*. Marshall & Brainerd, 1ª edition.
- [Garcés 2018] Garcés, L. (2018). *A reference architecture for healthcare supportive home systems from a systems-of-systems perspective*. PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- [Garcés et al. 2015] Garcés, L., Ampatzoglou, A., Avgeriou, P., and Nakagawa, E. Y. (2015). A comparative analysis of reference architectures for healthcare in the ambient assisted living domain. In *2015 IEEE 28th International Symposium on Computer-Based Medical Systems*, pages 270–275.
- [Garcés et al. 2017] Garcés, L., Ampatzoglou, A., Avgeriou, P., and Nakagawa, E. Y. (2017). Quality attributes and quality models for ambient assisted living software systems: A systematic mapping. *Information and Software Technology*, 82:121 – 138.
- [Garcés et al. 2020] Garcés, L., Oquendo, F., and Nakagawa, E. Y. (2020). Assessment of reference architectures and reference models for ambient assisted living systems: Results of a systematic literature review. *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)*, 11(1):20.
- [Garcés et al. 2016] Garcés, L., Oquendo, F., and Nakagawa, E. Y. (2016). A quality model for aal software systems. In *2016 IEEE 29th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)*, pages 175–180.
- [Gorton 2011] Gorton, I. (2011). *Essential Software Architecture*. Springer Publishing Company, Incorporated, 2nd edition.
- [Harrison and Avgeriou 2007] Harrison, N. B. and Avgeriou, P. (2007). Leveraging architecture patterns to satisfy quality attributes. In *Proceedings of the First European Conference on Software Architecture, ECSA’07*, page 263–270, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag.
- [Hofmeister et al. 2007] Hofmeister, C., Kruchten, P., Nord, R. L., Obbink, H., Ran, A., and America, P. (2007). A general model of software architecture design derived from five industrial approaches. *Journal of Systems and Software*, 80(1):106 – 126.
- [ISO/IEC 2011] ISO/IEC (2011). ISO/IEC 25010:2011(en) systems and software engineering — systems and software quality requirements and evaluation (square) — system and software quality models. On-line.

- [ISO/IEC 2013] ISO/IEC (2013). ISO/IEC 27002:2013(en) Information technology — Security techniques — Code of practice for information security controls. On-line.
- [ISO/IEC 2015] ISO/IEC (2015). ISO/IEC 15408-1:2009. Information technology — Security techniques — Evaluation criteria for IT security — Part 1: Introduction and general model. On-line.
- [ISO/IEC/IEEE 2011] ISO/IEC/IEEE (2011). Iso/iec/ieee 42010:2011 systems and software engineering — architecture description.
- [Josuttis 2007] Josuttis, N. (2007). *Soa in Practice: The Art of Distributed System Design*. O'Reilly Media, Inc.
- [Kruchten 1995] Kruchten, P. (1995). The 4+1 view model of architecture. *IEEE Software*, 12(6):42–50.
- [Losavio et al. 2015] Losavio, F., Ordaz, O., and Esteller, V. (2015). Quality-based bottom-up design of reference architecture applied to healthcare integrated information systems. In *2015 IEEE 9th International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS)*, pages 70–75.
- [Martínez-Fernández et al. 2013] Martínez-Fernández, S., Ayala, C. P., Franch, X., and Marques, H. M. (2013). Benefits and drawbacks of reference architectures. In *European Conference on Software Architecture*, pages 307–310.
- [Nakagawa et al. 2014] Nakagawa, E. Y., Oquendo, F., and Maldonado, J. C. (2014). *Reference Architectures*, chapter 2. Wiley Online Library.
- [Neto and Junior 2019] Neto, J. A. d. A. and Junior, A. E. a. (2019). Atualmente, os diferentes elos na área de saúde não estão integrados. como mudar esse cenário? *GVE-XECUTIVO*, 18(1):29–31.
- [Portal Saúde Business 2020] Portal Saúde Business (2020). Mercado de healthtech cresce 141% em cinco anos, de acordo com o distrito healthtech report. on-line: <https://tinyurl.com/y9gbhlac>.
- [Pressman 2011] Pressman, R. S. (2011). *Engenharia de Software. Uma Abordagem Profissional*. The McGraw-Hill Companies, Inc., 7ª edition.
- [Ratwani et al. 2015] Ratwani, R. M., Fairbanks, R. J., Hettinger, A. Z., and Benda, N. C. (2015). Electronic health record usability: analysis of the user-centered design processes of eleven electronic health record vendors. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 22(6):1179–1182.
- [Richards 2015] Richards, M. (2015). *Software Architecture Patterns*. O'Reilly.
- [Richards and Ford 2020] Richards, M. and Ford, N. (2020). *Fundamentals of Software Architecture*. O'Reilly Media, Inc.

- [Rozanski and Woods 2011] Rozanski, N. and Woods, E. (2011). *Software Systems Architecture: Working with Stakeholders Using Viewpoints and Perspectives*. Pearson Education, 2ª edition.
- [Silva and Junior 2019] Silva, M. L. and Junior, L. A. V. (2019). *Manual de Certificação para Sistemas de Registro Eletrônico em Saúde. Instituído e regido pela Resolução CFM nº 1821/2007 (Versão 4.3)*. Sociedade Brasileira de Informática em Saúde.
- [Sommerville 2011] Sommerville, I. (2011). *Engenharia de Software*. Pearson Education do Brasil, 9ª edition.
- [The openEHR Foundation 2018] The openEHR Foundation (2018). *openEHR Architecture. Architecture Overview*. The openEHR Foundation. On-line: <https://specifications.openehr.org/>.
- [Turner 2015] Turner, G.-M. (2015). Oregon’s failed obamacare exchange is a warning for other states. On-line.
- [Valle et al. 2019] Valle, P. H. D., Garcés, L., and Nakagawa, E. Y. (2019). A typology of architectural strategies for interoperability. In *Proceedings of the XIII Brazilian Symposium on Software Components, Architectures, and Reuse (SBCARS)*, page 3–12, Salvador, Brazil.
- [Wanderley 2020] Wanderley, M. (2020). Setor de health tech cresce no brasil. on-line: <https://computerworld.com.br/2020/02/19/setor-de-health-tech-cresce-no-brasil/>.
- [Wartena et al. 2010] Wartena, F., Muskens, J., Schmitt, L., and Petković, M. (2010). Continua: The reference architecture of a personal telehealth ecosystem. In *The 12th IEEE International Conference on e-Health Networking, Applications and Services*, pages 1–6.
- [Wieggers and Beatty 2013] Wieggers, K. E. and Beatty, J. (2013). *Software Requirements 3*. Microsoft Press, USA.
- [Wohlin et al. 2012] Wohlin, C., Runeson, P., Hst, M., Ohlsson, M. C., Regnell, B., and Wessln, A. (2012). *Experimentation in Software Engineering*. Springer Publishing Company, Incorporated.

Capítulo

2

Ambientes Multissensoriais Aplicados à Saúde: Desenvolvimento de Aplicações e Tendências Futuras

Marina Ivanov, Eyre Montevecchi, Raphael Abreu, Fabio Barreto,
Joel dos Santos e Débora Muchaluat-Saade

Abstract

Incorporating sensory effects to traditional multimedia applications makes it possible to stimulate other human senses in addition to sight and hearing. Furthermore, this new type of application allows the construction of multisensory environments that can be used for healthcare applications, for example, stimulating multiple senses of patients through new types of therapy or cognitive training. In this context, this chapter presents and discusses the characteristics of applications with multiple sensory effects, highlighting possibilities of their use for healthcare. This chapter also describes some use cases of applications and multisensory ambients for helping the treatment of patients diagnosed with Alzheimer's, autism spectrum disorder, post-traumatic stress disorder, among others.

Resumo

A incorporação de efeitos sensoriais às aplicações multimídia tradicionais possibilita estimular outros sentidos humanos, além da visão e audição. Ainda, este novo tipo de aplicação permite a construção de ambientes multissensoriais que podem ser utilizados para aplicações em saúde, por exemplo, estimulando múltiplos sentidos de pacientes por meio de novos tipos de terapia ou treinamento cognitivo. Neste contexto, este capítulo apresenta e discute características de aplicações com múltiplos efeitos sensoriais, destacando possibilidades de sua utilização na área da saúde. Este capítulo também descreve alguns casos de uso de aplicações e ambientes multissensoriais, que podem servir como ferramenta auxiliar no tratamento de pacientes diagnosticados com Alzheimer, transtornos do espectro autista, estresse pós-traumático, dentre outros.

2.1. Introdução

Aplicações multimídia são amplamente utilizadas, a fim de transmitir informação utilizando diferentes mídias audiovisuais, como vídeo, texto, áudio ou imagem. Em geral, essas aplicações definem relacionamentos de sincronização entre esses tipos de mídia, e estimulam a audição e visão dos usuários que estão consumindo seu conteúdo. Os relacionamentos de sincronização entre os objetos de mídia os organizam tanto no espaço (tela do dispositivo de exibição) quanto no tempo. Por exemplo, um autor pode definir que um objeto de mídia do tipo áudio deve ser apresentado 5 segundos após o início da apresentação de um vídeo (organização no tempo); e que uma imagem deve ser apresentada no canto superior direito da tela (organização no espaço). Além disso, as aplicações interativas possibilitam a participação do usuário por meio de dispositivos de entrada, como controle remoto, teclado ou mouse, possibilitando assim um maior engajamento do usuário com o conteúdo oferecido.

Visando aumentar a qualidade de experiência do usuário em aplicações multimídia, alguns trabalhos propõem a incorporação de efeitos sensoriais ao conteúdo audiovisual, dando origem a um novo tipo de aplicação denominada aplicação mulsemídia (do inglês, *mulsemedia* – *Multiple Sensorial Media*) [Ghinea et al. 2014]. Em aplicações mulsemídia, é possível apresentar efeitos sensoriais sincronizados com o conteúdo audiovisual que está sendo apresentado [Josué et al. 2018, Rodrigues et al. 2019]. Por exemplo, em um vídeo que apresenta uma praia, o autor da aplicação poderia adicionar um efeito de aroma de mar e um efeito de vento, simulando a brisa da praia. Desse modo, as aplicações mulsemídia permitem aumentar a sensação de imersão do usuário, podendo ser utilizadas em diversas áreas como educação, entretenimento, turismo e saúde.

Diferente das aplicações multimídia tradicionais, que são exclusivamente bissensoresiais (i.e., sentidos de visão e audição), as aplicações mulsemídia são aquelas que envolvem três ou mais de nossos sentidos, e.g., visão, audição e olfato [Ghinea et al. 2014]. Para produzir tais aplicações, pode-se utilizar dispositivos sensores para identificar características do ambiente, tais como temperatura ou reação do usuário, e atuadores para renderizar¹ efeitos sensoriais, como vento, névoa ou calor.

Nesse contexto, este capítulo tem como objetivo apresentar o potencial de utilização de aplicações mulsemídia em saúde, por meio do estímulo multissensorial. Na literatura, algumas propostas estudam os benefícios do uso de ambientes multissensoriais para o tratamento de pacientes portadores de demência ou diagnosticados com alguma outra doença do envelhecimento [Ballard et al. 2002], de crianças com dislexia [Kast et al. 2007] e para transtorno de estresse pós-traumático (TEPT) [Rizzo et al. 2010]. Esses trabalhos se baseiam em indícios de que diferentes estímulos sensoriais promovem sensação de prazer e alívio da tensão e pressão, com consequente melhora no comportamento geral.

Em [Ghinea et al. 2014], os autores discutem o uso de efeitos sensoriais em terapias para pessoas com necessidades especiais como o autismo. Por exemplo, a utilização de efeitos sensoriais associados a jogos eletrônicos para testes e exercícios de estimula-

¹Renderizar é uma adaptação da palavra em inglês *render*. Que significa, em termos gerais, apresentar ou prover algo. No contexto deste capítulo, o termo renderizar é usado para significar o ato de apresentar efeitos sensoriais de forma física para o usuário.

ção cognitiva é uma abordagem que já vem sido empregada em algumas propostas na literatura [de Paula et al. 2019]. Jogos eletrônicos permitem a criação de exercícios que estimulam aspectos cognitivos como memória, raciocínio lógico, cálculo, criatividade, resolução de problemas e atenção. Em geral, esses jogos são de simples entendimento, apresentam níveis de dificuldade crescente, e em alguns casos podem reproduzir jogos tradicionais, como jogos de tabuleiro. Efeitos sensoriais podem melhorar a imersão do usuário no ambiente do jogo e aumentar a sua sensação de realidade, isto é, a percepção do usuário de estar fisicamente presente em um mundo virtual.

A integração de sensores às aplicações mulsemídia possibilita que a aplicação capte as reações do usuário que está consumindo o conteúdo e colete informações do ambiente de execução. A partir desta coleta de dados, a aplicação pode se adaptar, reagindo conforme o estado do usuário ou do ambiente. Suponha uma aplicação mulsemídia que apresenta efeitos sensoriais para um paciente com TEA (Transtorno do Espectro Autista). Nesta aplicação, pode-se especificar que o conteúdo sendo apresentado se modifique caso o sensor de batimento cardíaco do usuário alcance um valor alto, demonstrando agitação do paciente.

Visando aumentar a imersão do usuário e proporcionar uma experiência de presença mais realística, além dos efeitos sensoriais, algumas propostas na literatura têm utilizado realidade virtual [Mishkind et al. 2017, Rizzo et al. 2010]. A realidade virtual (do inglês, *Virtual Reality* - VR) é uma tecnologia que fornece uma experiência simulada ao usuário, através de um equipamento chamado óculos ou *headsets* de realidade virtual. Nessa experiência, o cenário apresentado para o usuário pode ser alterado, conforme ele realiza movimentos com a cabeça. Como discutido em [Mishkind et al. 2017], o uso de realidade virtual tem se revelado promissor para o tratamento de transtornos psiquiátricos. O TEPT e a ansiedade estão relacionados a padrões excessivos de estímulo e resposta baseados no medo e a um significado patológico na estrutura do medo, que mantém os sintomas e impede a recuperação [Mishkind et al. 2017]. Este capítulo discute também o uso de efeitos sensoriais sincronizados à realidade virtual para a simulação de situações causadoras de desconforto para certos pacientes com TEPT.

O restante do capítulo está organizado da seguinte forma. A Seção 2.2 apresenta o conceito de aplicações mulsemídia e os desafios de desenvolvimento e execução desse tipo de aplicação. Dispositivos utilizados para renderização de efeitos sensoriais e sensores para captura de informações do usuário e do ambiente são descritos na Seção 2.3. Na Seção 2.4, são descritos casos de uso de ambientes multissensoriais a fim de ilustrar sua aplicação no tratamento de doenças ou transtornos. A Seção 2.5 descreve desafios relacionados ao desenvolvimento de aplicações mulsemídia e apresenta novas tendências para a área. Por fim, a Seção 2.6 apresenta as considerações finais, resumindo os pontos descritos neste capítulo relacionados à utilização de aplicações mulsemídia aplicadas à saúde.

2.2. Aplicações Mulsemídia

Conforme comentado anteriormente, aplicações mulsemídia permitem a apresentação de estímulos a outros sentidos humanos, como tato, paladar e olfato, de forma sincronizada ao conteúdo audiovisual tradicional. Esta seção apresenta dois desafios principais relaci-

onados a tais aplicações. O primeiro remete à criação de aplicações mulsemídia, em que são necessárias formas de representação de efeitos sensoriais e sua sincronização, bem como um ferramental de suporte ao autor deste tipo de conteúdo. Em seguida, são apresentados os desafios na execução de tais aplicações, onde é necessária uma arquitetura para suporte à renderização de efeitos de forma sincronizada ao conteúdo audiovisual.

2.2.1. Autoria de Aplicações Mulsemídia

Assim como em multimídia, as aplicações mulsemídia focam em orquestrar a apresentação de conteúdo que estimule os sentidos do usuário. Sendo assim, o esforço de criar uma aplicação mulsemídia se assemelha a criação de uma aplicação multimídia. Portanto, ao longo desta seção, investiga-se como é feita a autoria multimídia para, em seguida, apresentar métodos e ferramentas para autoria mulsemídia.

Para criar uma aplicação multimídia é necessário que o autor da aplicação especifique tanto propriedades temporais quanto espaciais das mídias que participam da aplicação. Essas propriedades podem se apresentar de diversas maneiras tais como: o relacionamento entre duas ou mais mídias; o tempo de exibição de cada uma; a posição na tela em que ela é apresentada; as interações com o usuário final da aplicação; a adaptação de conteúdo e de leiaute, entre outras [Soares et al. 2000, Barreto et al. 2016].

Aplicações multimídia tradicionais são geralmente definidas com uma linguagem específica, chamada de *linguagem de autoria multimídia*. Tais linguagens concentram-se na definição das mídias que farão parte da aplicação, a forma como serão apresentadas e sua organização ao longo do tempo [Blakowski and Steinmetz 1996, Hardman 1998]. Um subconjunto dessas linguagens, geralmente baseado em XML, usa uma abordagem declarativa fornecendo construções de alto nível de abstração para definição de aplicações multimídia.

As linguagens de autoria declarativa visam proporcionar uma clara separação entre a descrição da aplicação e sua implementação, *i.e.*, sua execução [Hardman 1998]. Assim as evoluções futuras da forma de como uma aplicação é apresentada não exigem uma redefinição, ou alteração, de toda a base das aplicações previamente especificadas. Exemplos de linguagens de autoria multimídia declarativas são HTML5 (*HyperText Markup Language*)², SMIL (*Synchronized Multimedia Integration Language*)³ e NCL (*Nested Context Language*) [ITU-Recommendation 2009]. Esta última é a linguagem adotada como padrão para desenvolvimento de programas interativos no Sistema Brasileiro de TV Digital. De acordo com [Soares and Barbosa 2009], uma vantagem das linguagens de autoria multimídia declarativas, é que elas fornecem maior facilidade para criação de aplicações por autores que não são programadores. Isto é importante, uma vez que as aplicações multimídia podem ser utilizadas em diferentes áreas, tais como web, TV digital e IPTV (do inglês, *Internet Protocol Television*); e criadas por autores com diferentes conhecimentos e perfis, tais como artistas e produtores de conteúdo.

O crescimento do número de dispositivos inteligentes, em especial sensores e atuadores, tem o potencial de mudar a forma de interação entre pessoas e tecnologia. Isso representou uma oportunidade interessante para sistemas multimídia a fim de expandir

²<https://www.w3.org/TR/html5/>

³<http://www.w3c.org/TR/SMIL3>

possibilidades de interação com o usuário. Muitas linguagens multimídia declarativas permitem a integração com código procedural ou imperativo. Como exemplo, HTML com Javascript ou NCL com Lua. Através de rotinas desenvolvidos nestas linguagens imperativas, é possível comunicar-se com sensores e atuadores para construir uma aplicação mulsemídia. Usando código imperativo, as aplicações podem obter informações de sensores para adaptar seu comportamento ou ativar atuadores de efeitos sensoriais para estimular os sentidos do usuário. Porém, a utilização de módulos imperativos de programação requer profissionais específicos (programadores) que terão que enfrentar vários desafios, como por exemplo, a diversidade de tecnologias para comunicação com sensores e atuadores. Muita iniciativas presentes na literatura trabalham para mudança destes cenários, conforme é apresentado na próxima seção.

2.2.1.1. Modelos, Ferramentas e Padrões

Algumas propostas na literatura buscam estender linguagens de autoria multimídia permitindo definir efeitos sensoriais [Guedes et al. 2017], ou propõem modelos/ferramentas para autoria de tais aplicações [Choi et al. 2011, Kim and Han 2014, Walth et al. 2013, de Mattos et al. 2020]. Na proposta de Guedes et al. [Guedes et al. 2017], atuadores ou sensores são modelados individualmente. Essa abordagem possui como desvantagem o forte acoplamento da aplicação mulsemídia com dispositivos específicos. Dessa forma, qualquer alteração no modo como um efeito sensorial é implementado ou qualquer alteração na instalação física utilizada para executar um aplicativo leva a uma nova especificação da aplicação. Algumas ferramentas ou linguagens de autoria se baseiam em um modelo multimídia/mulsemídia para a definição de seus componentes e dos relacionamentos entre eles. Em [Mattos and Muchaluat-Saade 2018], é proposto um modelo denominado MultiSEM (do inglês, *Multimedia Sensory Effect Model*), empregado como base para a ferramenta de autoria STEVE [de Mattos and Muchaluat-Saade 2018]. O editor STEVE permite abstrair do autor detalhes inerentes de implementação dos efeitos sensoriais facilitando assim a autoria.

A modelagem de aplicações mulsemídia também é proposta por [Josué et al. 2018], que especificam a representação de efeitos sensoriais e características do ambiente e do usuário com alto nível de abstração, permitindo que aplicações sincronizem tais efeitos com conteúdo audiovisual. Um argumento, levantado em [Josué et al. 2018], é que um nó de mídia pode representar tanto fragmentos de informação multimídia tradicional ou efeitos sensoriais. Visto que informação multimídia tradicional e efeitos sensoriais tem em comum o estímulo a sentidos do usuário. Com isso, os instrumentos já existentes para sincronização de mídias podem ser utilizados para sincronizar efeitos sensoriais. Como tratado em [Josué et al. 2018], cada tipo de nó possui *players* específicos responsáveis por exibir o conteúdo de um nó. Esta extensão permite que *players* específicos (associados também a atuadores específicos) possam ser utilizados para renderizar diferentes tipos de efeito sensorial. Outro ponto positivo é que uma vez definindo efeitos sensoriais como nós, características gerais destes efeitos, como sua intensidade e duração, ou específicas, como cor da luz ou essência de cheiro, são determinadas por atributos destes nós. Em [Rodrigues et al. 2019] os autores apresentam uma implementação da proposta de [Josué et al. 2018] para a linguagem NCL.

Além da modelagem de aplicações, alguns trabalhos empregam padrões para representar aplicações com múltiplos efeitos sensoriais. Dentre esses padrões, destaca-se o padrão MPEG-V [Kim and Han 2014], que especifica um formato para a troca de dados entre o “mundo real” (*i.e.*, a instalação física onde uma aplicação é executada e percebida pelo usuário), e o “mundo virtual”, ou seja, a aplicação em si como ilustrado na Figura 2.1. Kim e Han [Kim and Han 2014], por meio do padrão MPEG-V, definem um conjunto de linguagens que permitem, entre outras coisas, a descrição de objetos virtuais, efeitos sensoriais e comando para sua implementação na instalação física. A linguagem *Sensory Effect Description Language* (SEDL) define um conjunto de elementos para a descrição de efeitos sensoriais. Uma descrição SEDL, em um arquivo *Sensory Effect Metadata* (SEM), associa efeitos a conteúdo multimídia. Esta associação é feita por meio dos tempos de início e fim de um dado efeito. Um adaptador (não especificado no padrão) transforma uma descrição SEM em comandos a atuadores. Comandos do atuador e informações capturadas por sensores são descritos com a linguagem *Interaction Interface Description Language* (IIDL). Para permitir que comandos aos atuadores considerem preferências do usuário, estas são descritas usando a linguagem *Control Information Description Language* (CIDL). Essa linguagem também pode ser utilizada para descrever a capacidade de atuadores e sensores. É importante notar que a sincronização temporal contemplada pelo padrão MPEG-V segue um modelo baseado em linha do tempo (*timeline*).

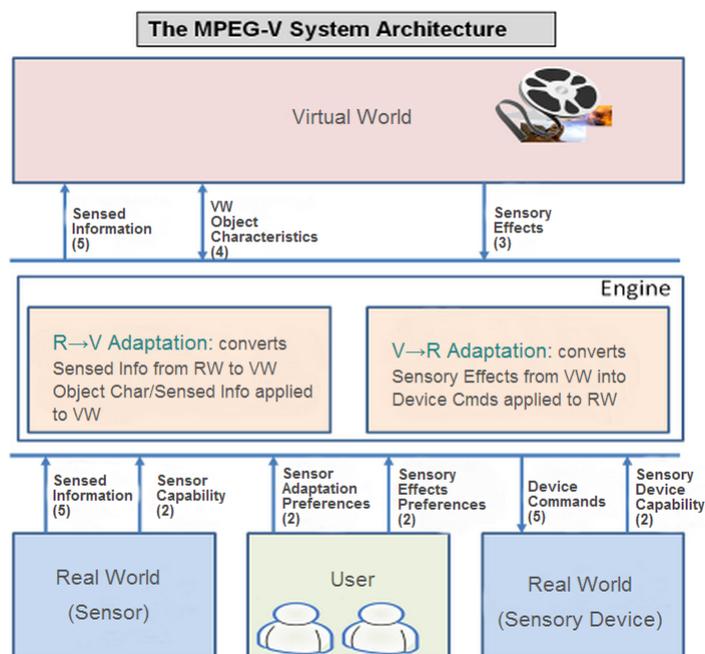


Figura 2.1. Arquitetura do padrão MPEG-V.⁵

A especificação temporal através de *timeline* especifica sincronização entre os componentes de uma aplicação através do posicionamento dos objetos de mídia ao longo de um eixo temporal compartilhado. Como discutido em [Blakowski and Steinmetz 1996], essa abordagem de sincronização limita a expressividade do autor, pois não possibilita re-

⁵<http://wg11.sc29.org/mpeg-v/>

presentar eventos assíncronos como a interatividade do usuário. Em MPEG-V, especifica-se a sincronização entre um vídeo ou áudio e efeitos sensoriais. Uma outra limitação do padrão MPEG-V, é que, apesar de oferecer suporte à criação de metadados de efeitos sensoriais (arquivos SEM), ele não fornece mecanismos para especificar uma aplicação mulsemídia por completo contendo diversos objetos de mídia sincronizados (imagens, textos e outros vídeos e áudios).

O desenvolvimento de aplicações mulsemídia pode ser feita através da edição direta de um documento mulsemídia, utilizando uma linguagem específica, ou através de ferramentas gráficas. Waltl et al. [Waltl et al. 2013] propõem uma ferramenta denominada *SEVino* (*Sensory Effect Video Annotation*), que fornece uma linha do tempo dividida em canais, sendo um canal para cada tipo de efeito sensorial. Na linha do tempo, o autor define o tempo de início e duração do efeito. Para facilitar a definição destes tempos, a ferramenta permite a visualização do vídeo principal quadro a quadro. Após a fase de autoria, a ferramenta gera descrições compatíveis com o padrão MPEG-V indicando os tempos de início e fim dos efeitos criados. As descrições MPEG-V geradas pelo *SEVino* representam os efeitos sensoriais a serem executados em dispositivos físicos. A Figura 2.2 apresenta a interface do *SEVino*.

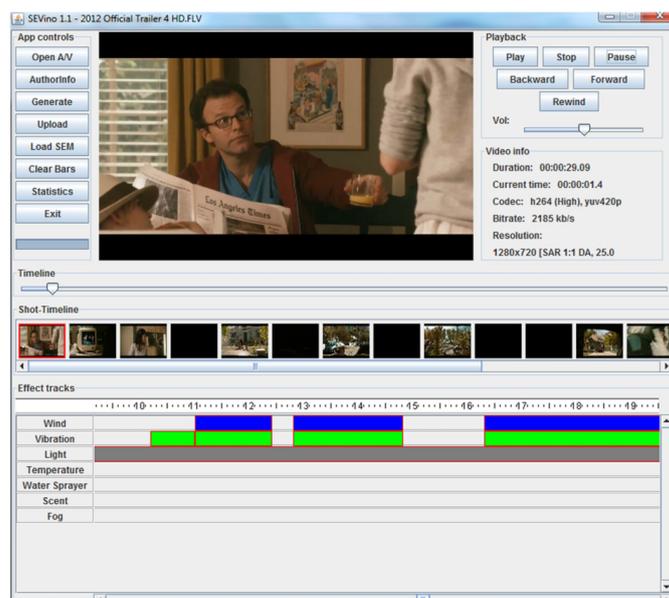


Figura 2.2. Interface gráfica do *SEVino* proposto por [Waltl et al. 2013].

A criação de aplicações mulsemídia utilizando uma linha do tempo para definir a sincronização de efeitos sensoriais com conteúdos audiovisuais também é proposta por [Choi et al. 2011]. A ferramenta proposta por [Choi et al. 2011] é chamada *RoSE Studio* (do inglês, *Representation of Sensory Effects*) e exporta os efeitos sensoriais criados para os arquivos SEM. Outra característica interessante é que a ferramenta também oferece uma interface gráfica específica para definir efeitos de movimentos de poltrona. A Figura 2.3 apresenta a interface gráfica da ferramenta.

Outra ferramenta para criação de arquivos SEM através de uma linha de tempo é a ferramenta *SMURF* (*Sensible Media aUthoRing Factory*) [Kim 2013]. *SMURF* permite

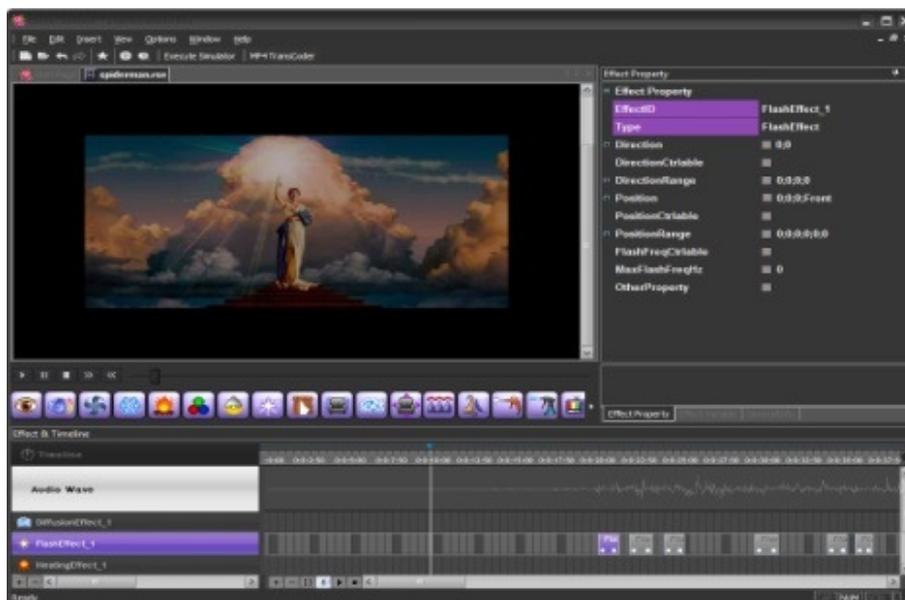


Figura 2.3. Interface gráfica do *RoSE Studio* proposto por [Choi et al. 2011].

ao autor criar uma composição de efeitos sensoriais facilitando assim a definição de novos efeitos. Além disso, os autores argumentam que a ferramenta também pode criar aplicações integradas a sensores do ambiente e do usuário. Informações coletadas do ambiente são por exemplo temperatura, umidade e iluminação. As informações vitais do usuário podem incluir sua pressão sanguínea ou frequência cardíaca. A Figura 2.4 apresenta a interface gráfica da ferramenta SMURF.

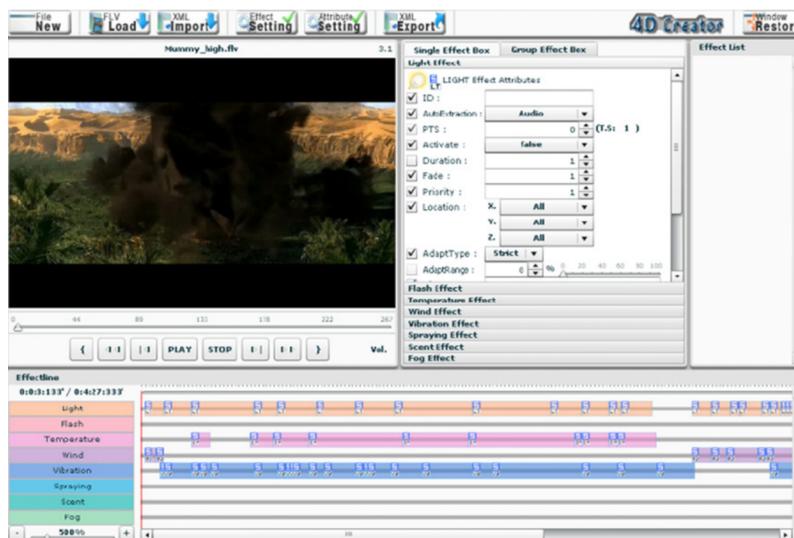


Figura 2.4. Interface gráfica do *SMURF* proposto por [Kim 2013].

Um conjunto de ferramentas para autoria de efeitos sensoriais também é proposto por [Shin et al. 2016]. Os autores se concentram em oferecer uma interface gráfica de fácil uso direcionada para construção de experiências imersivas para cinemas 4D. Duas ferramentas de autoria são propostas nesse trabalho. A ferramenta *Real4DEMaker* permite

a autoria de efeitos sensoriais individuais, enquanto a ferramenta *Real4DStudio* pode ser usada para autoria de diversos efeitos sensoriais em uma linha do tempo. O *Real4DStudio* pode ser usado para gerar um grupo de efeitos sensoriais e permite salvá-los para uso posterior. A Figura 2.5 apresenta a interface da ferramenta *Real4DStudio*. É importante notar que, como essas ferramentas são baseadas no padrão MPEG-V, elas herdam as limitações do paradigma de autoria de linha do tempo empregado pelo padrão. Uma dessas limitações é a falta de suporte para definição de eventos assíncronos tais como interatividade e testes condicionais.

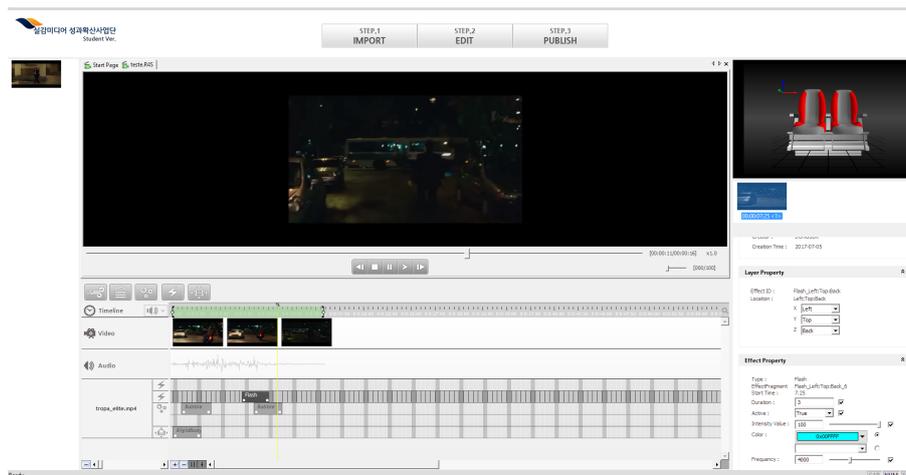


Figura 2.5. Interface gráfica do *Real4DStudio* - Student Version proposto por [Shin et al. 2016].

STEVE 2.0 [Mattos and Muchaluat-Saade 2018] é uma ferramenta de autoria multimídia que diverge das anteriores por não ser unicamente baseada no padrão MPEG-V. Com isso, *STEVE 2.0* oferece ao autor uma interface de linha do tempo, mas por outro lado, seu modelo temporal não é baseado em *timeline*, mas sim baseado em eventos. Utilizando *STEVE*, os efeitos sensoriais podem ser sincronizados com diversas mídias tradicionais (vídeos, imagens e textos) e não somente com um único vídeo. *STEVE 2.0* também permite sincronizar apenas efeitos sensoriais entre si sem a necessidade de conteúdo audiovisual. A interface gráfica do editor *STEVE 2.0* pode ser vista na Figura 2.6.

2.2.1.2. Linguagens

Sulema [Sulema 2017] propõe uma linguagem baseada em um sistema algébrico de conjuntos chamada ASAMPL para construção de aplicações que utilizem efeitos sensoriais. Segundo o trabalho de [Sulema 2017], é possível especificar não só variáveis de tipos primitivos mas também estruturas com conjunto de informações ordenadas, como encontrado em mídias contínuas. Um conceito interessante proposto pelo trabalho é poder agrupar estruturas compostas em contêineres chamados de agregados, além de definir toda a álgebra para manipulação destes agregados.

De acordo com [Sulema 2017], a utilização de estruturas de agregação é importante por permitir combinar mídias com informações que não são intrínsecas às mesmas.

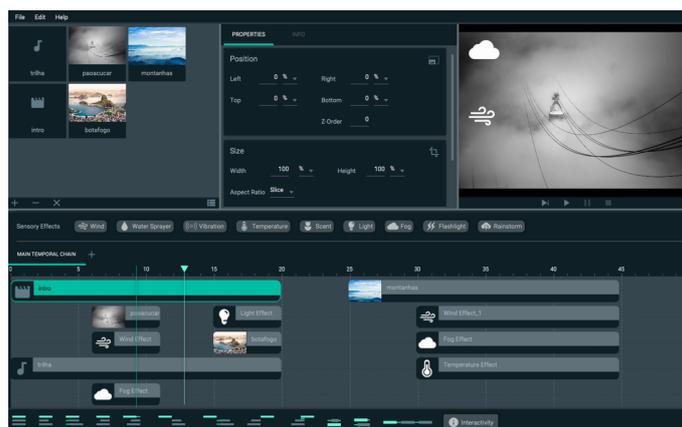


Figura 2.6. Interface gráfica do **STEVE 2.0** proposto por [Mattos and Muchaluat-Saade 2018].

Por exemplo, permite que informações, como temperatura em que a mídia deve ser exibida, ou a umidade do ambiente quando o vídeo foi gravado, sejam relacionadas ao conteúdo audiovisual. Outros trabalhos como [Soares and Barbosa 2009, Soares et al. 2010, W3C 2008] definem um conceito semelhante. O nó de composição permite o agrupamento de várias mídias. Além disso, cada mídia pode definir um conjunto de propriedades. Uma limitação do trabalho [Sulema 2017] é a estrutura de linha do tempo, impossibilitando contemplar eventos assíncronos e adaptação do conteúdo das aplicações.

Guedes et al. [Guedes et al. 2016] apresentam uma proposta de interação entre atuadores (luz, emissor de cheiro, ventilador) em sincronismo com conteúdo de TV seguindo o padrão brasileiro. Sua abordagem usa o ambiente declarativo Ginga-NCL, o *middleware* Ginga para enviar comandos para um dispositivo Intel Galileo⁶ com o kit Seed Studio Grove⁷. Com o objetivo de aumentar a sensação de imersão do usuário, a aplicação ativa atuadores presentes no ambiente da aplicação. A comunicação entre o Galileo e os atuadores é feita de forma cabeada.

A proposta de [Guedes et al. 2016] utiliza um *script* Lua de programação que recebe eventos da linguagem NCL através da API NCLua [Soares and Barbosa 2009]. Esses *scripts* são usados para acionar os dispositivos atuadores de acordo com a reprodução da mídia. Nessa arquitetura, os dispositivos devem ser previamente conhecidos e definidos na linguagem NCL, que especifica o documento mulsemídia, explorando um potencial já presente na linguagem. Por exemplo, a possibilidade de tratar eventos e interação com usuário ou compor vários objetos em um único contexto.

2.2.1.3. Ambiente Multiusuário e Interação Multimodal

Em aplicações mulsemídia, principalmente as que dão suporte a terapias, a participação de mais de um usuário é um ponto fundamental. Normalmente, essas terapias são conduzidas por um terapeuta que precisa controlar a execução da aplicação, e o paciente que

⁶<https://intel.com/content/www/us/en/do-it-yourself/galileo-maker-board.html>

⁷https://www.seedstudio.com/item_detail.html?p_id=1978

também pode interagir. Uma aplicação mulsemídia que dá suporte ao acesso simultâneo de múltiplos usuários, e consegue diferenciá-los, é considerada uma aplicação multiusuário. Como os diferentes usuários de uma aplicação multiusuário podem interagir com seu conteúdo, o trabalho [Guedes et al. 2017] propõe meios para especificar interações multiusuário. Na proposta de [Guedes et al. 2017], os usuários são especificados através do uso de um perfil, porém o trabalho não aborda como o sistema mulsemídia irá obter a descrição de tal perfil.

Algumas aplicações mulsemídia possibilitam que o usuário interaja com o conteúdo que está sendo apresentado. Quando uma aplicação mulsemídia dá suporte a diferentes tipos de interação (por controle remoto, por gesto ou por voz, por exemplo), elas são consideradas multimodais. Guedes et al. [Guedes et al. 2017] propõem um *framework* para apoiar interfaces de usuário multimodais em aplicações multimídia interativas. O *framework* integra diferentes tipos de modalidades de entrada e saída. O trabalho modela tipos de entrada multimodais que suportam novas modalidades de entrada, tais como gestos e reconhecimento de voz, e diferentes modalidades de saída, como os conteúdos audiovisuais tradicionais, sintetizadores de voz e atuadores. Na proposta de [Guedes et al. 2017], o mecanismo de reconhecimento de voz, utiliza arquivos SRGS (*Speech Recognition Grammar Specification*)⁸ para definir os trechos que devem ser reconhecidos durante a execução da aplicação. O *framework* é proposto para a linguagem NCL, entretanto não é implementado na prática.

A interação multimodal também é empregada no trabalho de [Santos et al. 2015], que usa uma abordagem orientada a eventos para construir ambientes interativos com efeitos sensoriais que são ativados pelo reconhecimento de gestos do usuário. O trabalho dividiu o processo de design em estágios bem definidos, mostrando o comportamento do sistema sob uma nova perspectiva e suas interações. Seguindo a abordagem proposta por [Santos et al. 2015], o ambiente foi descrito através de um conjunto de estímulos, ações e comportamentos e fornece meios para detalhar o comportamento desejado, de acordo com o contexto em que está inserido, com descrições de *frames* comportamentais e cadeias comportamentais. Segundo os autores, um *frame* comportamental é a unidade básica do comportamento desejado. Ela representa a associação entre eventos, relacionados às interações do usuário, e ações, relacionadas ao comportamento esperado do ambiente. As cadeias comportamentais são a definição de regras de comportamento que controlam o que é esperado em cada contexto de interação e as transições entre contextos.

O trabalho de [Santos et al. 2015] também apresenta a possibilidade de desenvolver e integrar conteúdos multimídia com interações naturais. Vale ressaltar que tanto os *frames* comportamentais quanto as cadeias comportamentais são representados pela descrição XML, sem detalhar a linguagem usada para descrever os gestos do usuário. Esse arquivo XML fornece a flexibilidade necessária para modificar dinamicamente, remover ou adicionar novos *frames* comportamentais às regras de comportamento. Os gestos foram reconhecidos utilizando linguagem C# em integração com o dispositivo Microsoft Kinect⁹.

Seguindo a mesma abordagem, o trabalho [Saleme et al. 2017] apresenta uma

⁸<http://www.w3.org/TR/speech-grammar/>

⁹<https://developer.microsoft.com/pt-br/windows/kinect/>

avaliação de tempo da integração entre uma plataforma mulsemídia distribuída chamada PlaySEM [Saleme et al. 2019] e uma aplicação interativa em que os usuários interagem por gestos, a fim de descobrir quanto tempo esse processo leva. Os resultados mostram valores na faixa de 27ms a 67ms, em média, gastos ao longo do processo, antes da efetiva ativação dos dispositivos de efeitos sensoriais em uma rede cabeada.

2.2.2. Execução de Aplicações Mulsemídia

Após a fase de autoria de uma aplicação mulsemídia, esta pode ser transmitida através de alguma rede de comunicação, ou ser distribuída através de alguma mídia de armazenamento. Nos casos em que a aplicação mulsemídia é transmitida através da rede, torna-se necessário algum mecanismo para gerenciar o carregamento e execução do conteúdo dos objetos de mídia e renderização de efeitos sensoriais que compõem a aplicação.

Em geral, essas tarefas são desempenhadas por um componente do ambiente de execução, denominado formatador mulsemídia ou máquina de apresentação. Dessa forma, durante a execução de uma aplicação mulsemídia, o formatador irá controlar a reprodução da aplicação, a comunicação com os dispositivos emissores de efeitos sensoriais (atuadores), e gerenciar os exibidores de conteúdo de mídia audiovisual, por exemplo decodificadores de áudio, vídeo e imagem.

A apresentação do conteúdo audiovisual de uma aplicação é realizada por *players* específicos, que em geral são acoplados ao sistema multimídia. Dessa forma, o acionamento dos *players* específicos para cada tipo de mídia pode ser feito de forma direta, sem a necessidade de um protocolo de comunicação. Já a comunicação com os atuadores, responsáveis pela renderização dos efeitos sensoriais, deve ser feita através de algum protocolo de comunicação, uma vez que esses dispositivos estão ligados ao sistema mulsemídia através de uma rede.

Como a comunicação do formatador com os atuadores ocorre através da rede, podem ocorrer atrasos no envio de comandos, caso esta rede sofra com algum tipo de congestionamento. Além disso, cada atuador possui um tempo específico para ser acionado e renderizar o efeito de fato, após o recebimento do comando de ativação. Por exemplo, um ventilador pode levar alguns segundos até conseguir atingir a velocidade desejada pelo autor da aplicação.

Outro ponto importante a ser considerado pelo formatador mulsemídia é o tempo que um efeito leva para ser percebido pelo usuário. Um exemplo disso é o efeito de aroma, que uma vez liberado pelo atuador, demora algum tempo até ser percebido pelo usuário. Esse tempo depende diretamente da distância em que o usuário se encontra do emissor de aroma. Caso essas questões não sejam consideradas no momento de execução da aplicação, podem ocorrer atrasos ou até mesmo falhas de sincronização do conteúdo audiovisual com os efeitos sensoriais, ou entre efeitos.

De acordo com [Josué et al. 2019], os atrasos na apresentação dos componentes de uma aplicação mulsemídia podem ser reduzidos, ou até mesmo evitados, caso seja empregado um mecanismo de preparação. A preparação proposta por [Josué et al. 2019], pode ser aplicada tanto a objetos de mídia tradicionais, como áudio e vídeo, quanto a efeitos sensoriais. Conforme apresentado em [Josué et al. 2019], a preparação de um

objeto de mídia consiste em instanciar o *player* específico para o tipo da mídia, e buscar antecipadamente parte do conteúdo conforme o espaço em *buffer* disponível no *player*. Já para os efeitos sensoriais, a preparação consiste no acionamento antecipado dos atuadores responsáveis pela renderização do efeito, considerando suas características.

A reprodução de aplicações mulsemídia é um tema abordado em diferentes propostas [Waltl et al. 2013, Cha et al. 2009, Murray et al. 2014, Luque et al. 2014], que visam aumentar a qualidade de experiência dos usuários que estão consumindo o conteúdo. [Waltl et al. 2013] apresentam um simulador que é capaz de exibir conteúdo multimídia e simular efeitos sensoriais sincronizados com a aplicação. A arquitetura do simulador é dividida em três camadas: camada de entrada de dados, camada núcleo e camada de interface com o usuário.

A camada de entrada de dados recebe as informações sobre os arquivos de áudio e vídeo a serem exibidos e os metadados de efeitos sensoriais. A camada núcleo contém os módulos responsáveis por processar as informações fornecidas pela camada de entrada. Nessa camada, um *parser* XML extrai as características dos efeitos sensoriais descritos nos metadados e encaminha para o módulo simulador.

Além de enviar os efeitos para o temporizador que irá escalonar a entrega dos efeitos, o simulador carrega os arquivos de áudio e vídeo e os envia para o decodificador. O temporizador então irá verificar se, no tempo de reprodução atual, um efeito deve ser disparado e ativar o dispositivo atuador correspondente. Por fim, a camada de interface com o usuário contém módulos responsáveis pela apresentação do conteúdo, como os *players* de áudio e vídeo, e os dispositivos atuadores. A Figura 2.7 apresenta o simulador proposto por [Waltl et al. 2013], que dá suporte a efeitos de luz, vento, umidade, vibração, temperatura, jatos de água e aromas.

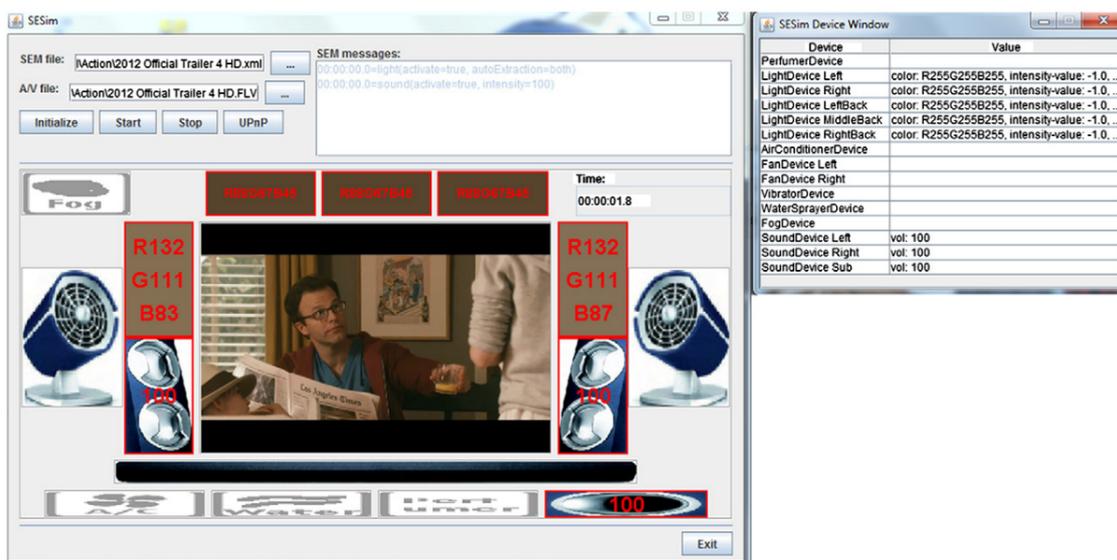


Figura 2.7. Simulador de aplicações multimídia com efeitos sensoriais proposto por [Waltl et al. 2013].

A simulação de efeitos sensoriais também é proposta por [Josué et al. 2018]. O

simulador desenvolvido como um plug-in para um software de edição 3D já existente, possibilita que o autor de uma aplicação mulsemídia organize objetos físicos e atuadores para construir um ambiente virtual 3D, como ilustrado na Figura 2.8. Durante a simulação dos efeitos sensoriais, o simulador monitora a rede, esperando a recepção de arquivos de metadados de efeitos para determinar quais atuadores devem ser ativados, e em qual momento. Quando um atuador é ativado, sua cor é alterada de acordo com o efeito que ele representa. Por exemplo, a cor branca é utilizada para representar efeitos de luz, o vermelho para efeitos de calor e verde para efeito de vento. A Figura 2.9 apresenta a interface do simulador em execução. Os atuadores ativos são destacados em vermelho. As intensidades de seus efeitos estão em 100%, ou seja, os atuadores estão com sua máxima cor.

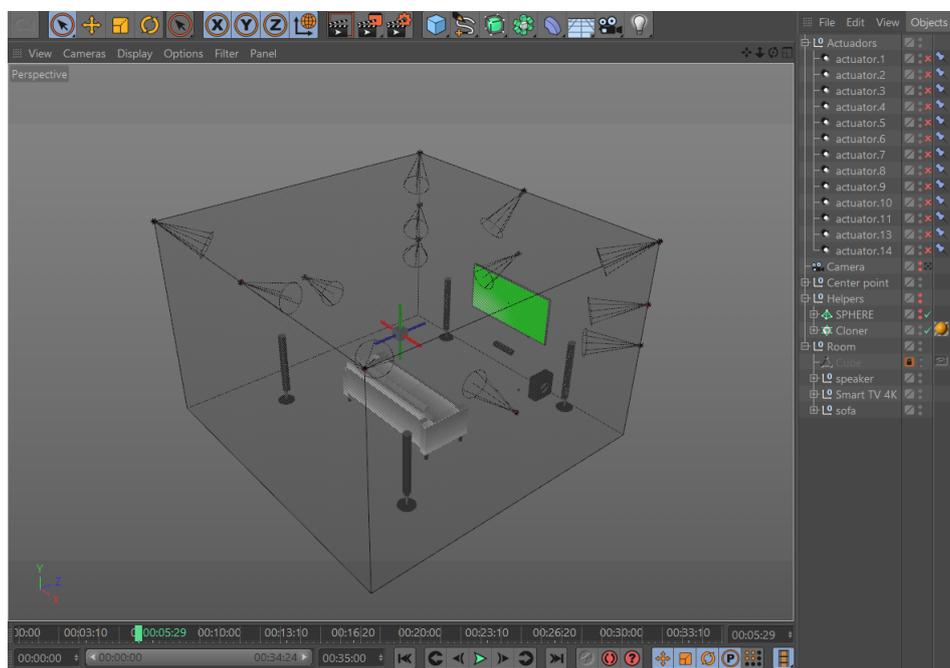


Figura 2.8. Interface do simulador de efeitos sensoriais proposto por [Josué et al. 2018].

Em [Cha et al. 2009], é proposto um *framework* para transmissão em *broadcast* de aplicações multimídia juntamente com estímulos e sensores táteis para prover maior sensação de imersão ao usuário do conteúdo. Na transmissão em *broadcast*, um mesmo conteúdo é transmitido para vários receptores ao mesmo tempo. Um exemplo de transmissão em *broadcast* é a que ocorre nos sistemas de televisão, onde uma emissora transmite o seu conteúdo para diferentes telespectadores.

O *framework* proposto por [Cha et al. 2009] possibilita a reprodução de aplicações com informações que estimulam receptores nervosos na pele (estímulos táteis) e informações sentidas através de força e movimento aplicado nos músculos (estímulos cinestésicos). A aplicação mulsemídia háptica apresentada em [Cha et al. 2009] é especificada utilizando o padrão MPEG-4 BIFS [Signes et al. 2000] para sintetizar e sincronizar os objetos de mídia audiovisuais com os efeitos relacionados ao sentido do tato.

⁹www.maxon.net/products/cinema-4d

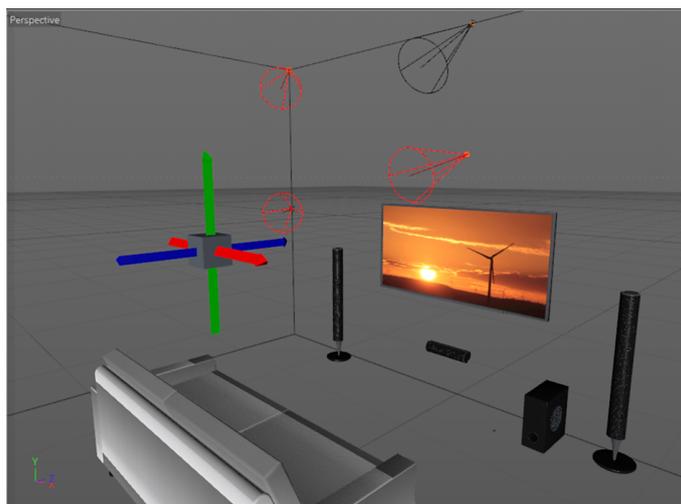


Figura 2.9. Ambiente de simulação em execução com atuadores ativos. [Josué et al. 2018]

Durante a reprodução do conteúdo, o formatador proposto por [Cha et al. 2009] obtém e analisa o grafo de cena BIFS para acionar os *players* responsáveis por reproduzir o conteúdo audiovisual e também os renderizadores de efeitos. Nos casos onde a aplicação possibilita interação do usuário por meio do tato, os sensores enviam a informação obtida do toque do usuário (força, posição, direção do movimento, por exemplo) para o formatador, como exibido na Figura 2.10. O formatador então processa a informação de interação do usuário e realiza alguma ação na apresentação do conteúdo.



Figura 2.10. Sensor tátil para interação do usuário empregado no *framework* proposto por [Cha et al. 2009].

A sincronização entre o fluxo audiovisual e fluxos de aromas é apresentada em [Murray et al. 2014], com o objetivo de analisar o uso desse tipo de efeito e o impacto da perda de sincronização entre os fluxos na QoE (do inglês, *Quality of Experience*) do usuário do conteúdo. O trabalho de [Murray et al. 2014] não especifica o ambiente de formatação do conteúdo, mas aponta alguns desafios para implementação do mesmo.

Na proposta de [Murray et al. 2014], os aromas são distribuídos em um eixo tem-

poral que segue uma recomendação definida em [Nakamoto and Yoshikawa 2006]. De acordo com [Nakamoto and Yoshikawa 2006], o tempo mínimo de apresentação entre dois aromas consecutivos deve ser de 5 segundos. Esse requisito pode ser validado na fase de autoria, e deve ser respeitado pelo formatador do conteúdo. Outra questão levantada pelo trabalho de [Nakamoto and Yoshikawa 2006] é o tempo que o usuário demora para detectar a presença de odores, após serem emitidos pelos dispositivos.

A utilização de estímulos multissensoriais para complementar o conteúdo audiovisual principal de um sistema de televisão é apresentada em [Luque et al. 2014]. O trabalho de [Luque et al. 2014] se baseia no fato de que a imersão completa do usuário é obtida quando todos os sentidos do corpo humano são acionados pela experiência multimídia multissensorial. [Luque et al. 2014] estuda a viabilidade da inserção de efeitos sensoriais e interações multimodais no sistemas de TV atuais. Para o estudo, [Luque et al. 2014] implementam a transmissão de uma partida de futebol em que diferentes dispositivos atuadores são disparados de maneira síncrona para entregar uma combinação de estímulos sensoriais, como ilustrado na Figura 2.11.

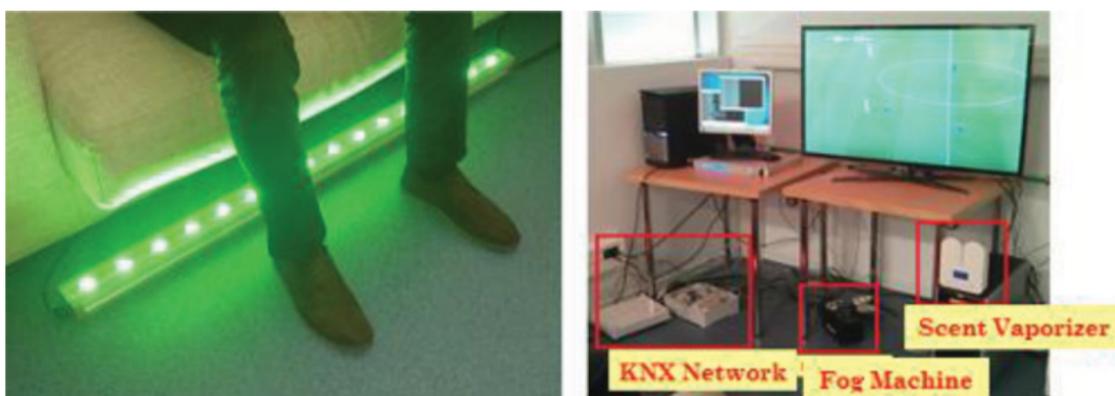


Figura 2.11. Ambiente de execução da aplicação proposta por [Luque et al. 2014].

A solução proposta por [Luque et al. 2014] dá suporte a utilização de alguns mecanismos definidos pelo MPEG-V para descrição dos efeitos sensoriais e a sincronização entre efeitos e objetos de mídia. O gerenciamento e a entrega dos diferentes tipos de dados do conteúdo multimídia multissensorial é realizado por um componente denominado “*Receiver Gateway*”, que pode utilizar os metadados de efeitos sensoriais propostos pelo MPEG-V para gerar os comandos para os dispositivos atuadores. Aplicações multimídia podem ser reproduzidas em diferentes plataformas, como em TV Digital, aparelhos celulares ou computadores. Nessas diferentes plataformas, a máquina de apresentação, responsável por coordenar a exibição do conteúdo pode ser implementada através de softwares dedicados ou até mesmo como um *plugin* para o navegador Web. A incorporação de efeitos sensoriais em aplicações Web é apresentada em [Waltl et al. 2014], que sincroniza os elementos da aplicação através da análise do tempo de reprodução do conteúdo audiovisual.

Na proposta de [Waltl et al. 2014], durante a execução da aplicação multimedial, quando a marcação de tempo atual de reprodução da aplicação é igual ao instante de apre-

sentação do efeito sensorial especificado pelos metadados, o *plugin* dispara a renderização do efeito. O instante de apresentação de efeito é especificado através de um intervalo de tempo, pois o *plugin* verifica se existe algum efeito a ser disparado a cada 30 ms.

Os trabalhos mencionados anteriormente apresentam soluções que permitem simular ou apresentar efeitos sensoriais acoplados a um ambiente de execução específico. Com o objetivo de permitir que o mesmo renderizador de efeitos seja reutilizado por diferentes interfaces de apresentação como Sistemas de TV Digital ou *videogames*, o trabalho de [Saleme et al. 2019] propõe uma plataforma denominada PlaySEM. A plataforma PlaySEM utiliza o protocolo MPEG-V apresentado anteriormente e possui três componentes: o *player* de vídeo SE (do inglês, *Sensory Effect*), o renderizador, e o controlador de dispositivo. O *player* é responsável pela execução do vídeo e leitura do arquivo MPEG-V que contém os metadados de efeitos sensoriais (arquivo SEM). A conversão dos metadados em comandos é realizada pelo renderizador, e o controle dos dispositivos físicos responsáveis pela renderização do efeito é feito pelo controlador. A utilização do PlaySEM, onde o renderizador está executando em um computador conectado a um monitor que exibe o conteúdo de vídeo, e se comunica com alguns atuadores responsáveis por efeitos de vento, luz e vibração, é apresentada na Figura 2.12.

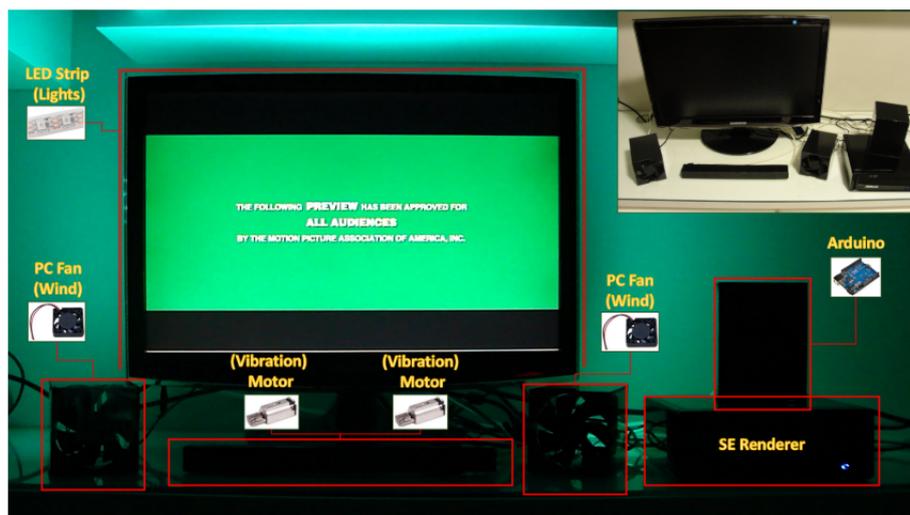


Figura 2.12. Ambiente de execução da aplicação mulsemídia proposta por [Saleme et al. 2019].

O Sistema Brasileiro de televisão digital possibilita que aplicações multimídia sejam transmitidas juntamente com o conteúdo do canal das emissoras de TV. Essas aplicações podem estar relacionadas ao conteúdo que está sendo exibido no canal ou não. Por exemplo, durante exibição de um filme, a emissora pode transmitir uma aplicação multimídia que permite ao telespectador comprar algum item que está sendo apresentado no filme.

Visando a incorporação de efeitos sensoriais em aplicações para o ambiente de TV Digital, [Rodrigues et al. 2019] propõem uma extensão ao *middleware* Ginga-NCL [ITU-Recommendation 2009]. O *middleware* Ginga-NCL é o componente do sistema de TV digital responsável pela apresentação e controle de aplicações multimídia especificadas na linguagem NCL. O *player* desenvolvido por [Rodrigues et al. 2019], processa o

documento mulsemídia especificado em NCL e gera metadados de efeitos sensoriais de acordo com o padrão MPEG-V para controlar os atuadores. Outra característica do *player* de efeitos sensoriais proposto por [Rodrigues et al. 2019] é que ele dá suporte à animação de efeitos. Isto é, permite que o posicionamento de um certo efeito sensorial seja alterado ao longo de sua renderização, fornecendo a sensação de que o efeito está “se movimentando” pelo ambiente de execução. Essa funcionalidade pode ser vista na Figura 2.13, que apresenta um efeito de luz sincronizado com a movimentação do sol sendo exibido no vídeo.

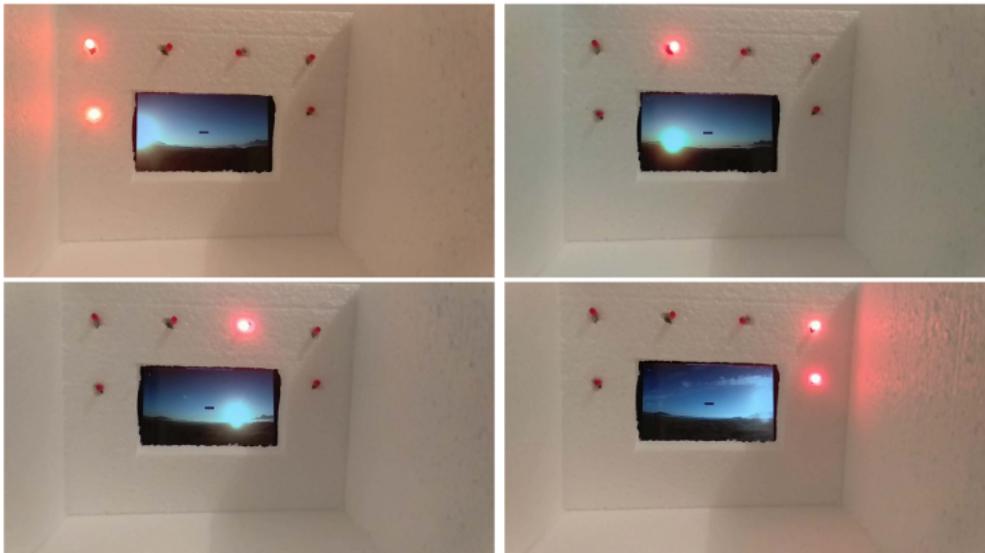


Figura 2.13. Exemplo de aplicação mulsemídia executando no *player* proposto em [Rodrigues et al. 2019].

2.3. Dispositivos para Ambientes Multissensoriais

A execução de aplicações mulsemídia demanda a incorporação de dispositivos ao ambiente de reprodução para renderização de efeitos sensoriais. Além dos dispositivos atuadores de efeitos, as aplicações também podem utilizar dispositivos sensores para permitir a coleta de informações do usuário ou do ambiente multissensorial. As seções a seguir descrevem alguns dispositivos disponíveis no mercado atualmente, para possibilitar renderização de efeitos e interação multimodal.

2.3.1. Dispositivos para Renderização de Efeitos Sensoriais

A execução de aplicações mulsemídia demanda a incorporação de dispositivos atuadores ao ambiente de reprodução para renderização de efeitos sensoriais. Esses atuadores podem renderizar efeitos olfativos, táteis (e.g vibração) e gustativos de forma sincronizada com a aplicação, proporcionando uma experiência mais imersiva ao usuário.

O difusor de aroma Moodo¹⁰, mostrado na Figura 2.14, é um dispositivo desenvolvido para casas inteligentes e funciona com um sistema de cápsulas com cristais de aromas: até quatro cápsulas podem ser acopladas e acionadas por meio de seus respecti-

¹⁰<https://moodo.co/>

vos *coolers* com intensidades reguláveis. O Moodo pode ser controlado por meio do aplicativo proprietário instalado em um *Smart Phone*, usando as teclas de controle do próprio difusor ou por meio de assistentes de voz e plataformas compatíveis. Para desenvolvedores, a Moodo também disponibiliza uma Interface de Programação de Aplicações (API) RESTful¹¹ que usa o formato JSON - *JavaScript Object Notation* para entrada e saída de informações. Uma das vantagens desse modelo é ser menos intrusivo que a *Feelreal Sensory Mask*, e a quantidade de formas para acesso e controle permitidas, incluindo conectividade Wi-Fi. A API RESTful também possui documentação interativa, que mostra como deve ser o JSON recebido e enviado e permite executar comandos. Como desvantagens, somente podem ser usadas as cápsulas fabricadas pela Moodo.



Figura 2.14. Difusor de aroma *Moodo* com cápsulas e imagem do aplicativo de controle do dispositivo¹³

O sistema *Scent Palette SDS100*¹⁴ mostrado na Figura 2.15 possui um dispersor de aroma USB com oito câmaras pressurizadas, onde cartuchos individuais de cheiro são inseridos. Ar comprimido é utilizado para projetar o aroma por uma duração pré-definida e em seguida uma rajada de ar inodora é usada para dispersá-lo. O SDS100 tem alcance de 3 a 6 metros na frente da unidade, dependendo de quantos *coolers* são usados e é possível controlar os momentos de acionamento e duração do efeito por meio dos softwares incluídos no sistema: uma aplicação para controle manual e o *Vizard Lite*¹⁵ para utilização em ambiente VR. A *BIOPAC Systems Inc*¹⁶ também disponibiliza códigos-fonte de exemplos, escritos em linguagem Python, para criação de aplicações customizadas para controle da *Scent Palette*. Apesar de oferecer um menor número de interfaces compatíveis que o Modoo, e necessitar da conexão USB, o SDS100 possui menor latência de renderização do efeito devido ao seu mecanismo de funcionamento. Outra vantagem é não

¹¹<https://rest.moodo.co/>

¹³<https://moodo.co/>

¹⁴<https://www.biopac.com/product/scent-delivery-system>

¹⁵<https://www.worldviz.com/virtual-reality-software-features>

¹⁶<https://www.biopac.com/>

ser obrigatório o uso das fragrâncias vendidas pela BIOPAC Systems Inc. Mesmo oferecendo aromas mais realísticos, provavelmente por ser especializada em produtos para educação e pesquisa, foram encontrados trabalhos [Rizzo et al. 2010] utilizando aromas não vendidos pela empresa ou que usaram paletas de cerâmica embebidas em fragrância [Munyan 2018].



Figura 2.15. Sistema difusor de aroma *Scent Palette*¹⁸

A *Feelreal Sensory Mask*¹⁹, mostrada na Figura 2.16 é uma máscara que permite renderizar efeitos de aroma, vento (frio e quente), calor, vibração, névoa e água. Pode ser usada acoplada em um *headset* VR ou sozinha como difusor de aroma. Possui um cartucho substituível com capacidade para 9 cápsulas de aroma individuais e possui modelos compatíveis com vários *headsets* VR: Samsung Gear VR, Oculus Rift, Oculus Go, HTC Vive e PlayStation VR. A comunicação pode ser feita via Bluetooth ou Wi-Fi e a empresa proprietária também disponibiliza um aplicativo mobile para controle do *Feelreal Sensory Mask*.

Outros aplicativos também disponibilizados para usuários são um editor (*Feelreal Video Editor*) e um *player* (*Feelreal Player*) compatíveis com os sistemas operacionais Windows e MacOS, Neles é possível customizar a sincronização dos efeitos sensoriais em vídeos 360 e customizar conjuntos de fragâncias. O dispositivo já está disponível para ser usado em alguns jogos (por meio da instalação de *mod*), filme e experiências (por exemplo, meditação guiada). Para a criação de jogos compatíveis, existem SDKs criados pela empresa para as *engines* Unity e Unreal.

Transdutores táteis e *bass shakers* permitem que usuários sintam as vibrações do som, transformando sons em estímulos táteis. Podem ser colocados sob o chão e assentos de móveis (cadeiras gamer, sofás e carros, por exemplo). Esse tipo de dispositivo precisa ser conectado a um amplificador ou amplificador subwoofer para o funcionamento

¹⁸<https://www.biopac.com/product/scent-delivery-system>

¹⁹<https://www.feelreal.com>

²¹<https://feelreal.com/product/feelreal-mask-for-htc-vive/>



Figura 2.16. Dispositivo *Feelreal Sensory Mask*²¹

esperado²². Na Figura 2.17 é mostrado um exemplo de transdutor táctil²³ e de um *bass shaker*²⁴.



Figura 2.17. Dispositivo transdutor táctil *TST429 Platinum Transducer* e *bass shaker ButtKicker LFE* respectivamente

Uma outra forma de estimular o tato é através da utilização de uma luva que suporta reprodução passiva na mão do espectador [Cha et al. 2009]. Essa luva é composta por 76 motores vibratórios, controlados por um microcontrolador, conforme mostra a Figura 2.18. Para a execução do efeito, o microcontrolador recebe os metadados referente ao estímulo, que contém informações sobre a ativação dos motores e a intensidade a ser aplicada.

2.3.2. Dispositivos Sensores

Dispositivos sensores permitem que a aplicação mulsemídia receba dados coletados do usuário e do ambiente multissensorial. Desta forma, podem ser utilizados para controle da aplicação, como por exemplo para iniciar ou parar um atuador ou modificar parâmetros

²²<http://www.bassshakers.com/how-to-install-bass-shakers/>

²³<https://clarksynthesis.com/tst429-platinum-transducer/>

²⁴<https://thebuttkicker.com/buttkicker-lfe/>



Figura 2.18. Luva para estímulo tátil. [Cha et al. 2009]

da aplicação, para prover diferentes formas de interação, como por exemplo para capturar movimento dos olhos, voz ou gestos, ou para realização de parametrização e calibração da aplicação.

Dispositivos rastreadores oculares i.e. *eye trackers*, permitem capturar para onde o usuário está olhando (i.e. *gaze point* ou *point of gaze*), detectando atenção, foco, presença do usuário [Tobii 2020] e em alguns casos, medições de tamanho das pupilas (i.e. pupilometria). A Figura 2.19 possui o esquema de funcionamento desses sensores de rastreamento ocular baseado em vídeo. Projetores de luz infravermelha formam um padrão dos olhos (i.e. reflexão córnea) e câmeras de alta resolução capturam imagens desse padrão e de movimentos do centro da pupila. Algoritmos matemáticos de processamento de imagem e de aprendizado de máquina são então utilizados nessas imagens para determinar a posição dos olhos e o *gaze point* [Tobii 2020].

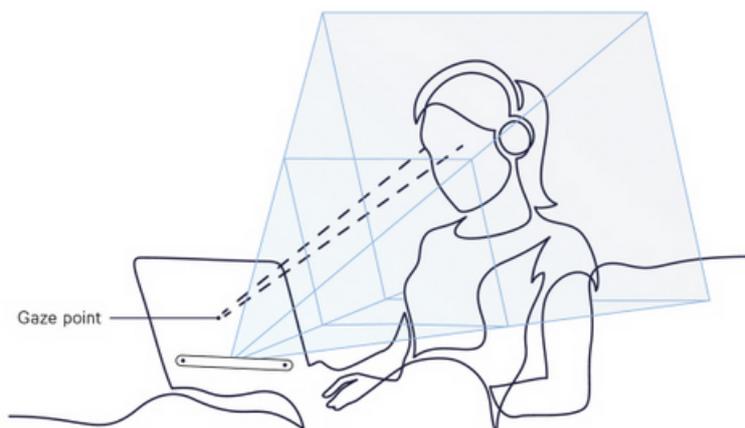


Figura 2.19. Ilustração do esquema de funcionamento do *eye tracker* [Tobii 2020]

O *eye tracking* proporciona diferentes tipos de interação com os olhos a pessoas que não conseguem ou não querem interagir por meio de outros dispositivos tradicionalmente utilizados, como mouse, teclado ou controle remoto. Pode ainda permitir o controle de uma aplicação multimedial seguindo a movimentação dos olhos do usuário [Silva et al. 2019]. Pode proporcionar mapas que mostram em que os usuários mantêm

sua atenção, de que forma e com o que se distraem. Combinado com outros dispositivos de entrada, pode criar novas experiências de interação em jogos. Além disso, *eye trackers* podem ajudar em pesquisas que utilizam a pupilometria para determinar situações de estresse, por exemplo.

A Figura 2.20 mostra um exemplo de sensor *eye tracker*: *Tobii Eye Tracker 4C*²⁵, que pode ser fixado na região inferior da tela onde será feita a interação. Esse modelo de sensor é compatível com o sistema operacional Windows, onde pode ser utilizado para interação, navegação e em aplicativos compatíveis (jogos). A *Tobii* também disponibiliza kits de desenvolvimento de software (*Software development kit - SDK*), como o *Core SDK* para desenvolvimento de aplicações e como base para outros kits, *Tobii Unity SDK* para desenvolvimento de jogos na *engine Unity* e *Stream Engine SDK* para criação de aplicações compatíveis por usuários avançados. A *Tobii Interaction Library*, parte do *Tobii EyeX Software Development Kit*, permite a criação de aplicações e jogos, provendo recursos em alto nível, tais como: *eye-gaze point*, posição dos olhos, fixação (foco), saber quando um *gaze point* sai ou entra em uma região, regiões clicáveis, focáveis ou realocáveis com o *gaze point* e detecção de presença do usuário. Os SDK são utilizáveis nas linguagens de programação C, C++ e C#.

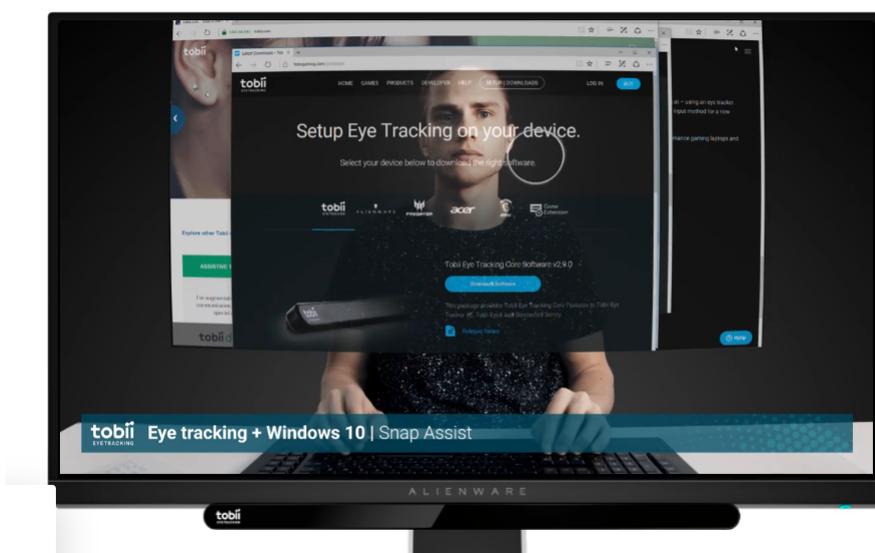


Figura 2.20. Sensor de *eye tracking* *Tobii Eye Tracker 4C* acoplado em um monitor [Tobii 2020]

O monitoramento pelo próprio indivíduo têm sido difundido pela indústria com a utilização de dispositivos vestíveis, como pulseiras inteligentes que monitoram nossas atividades, tais como *fitbit*²⁶ e *apple watch*²⁷, permitem o sensoriamento do batimento cardíaco em tempo real e geram relatórios que podem ser utilizados pela própria pessoa para avaliar sua atividade física ou levado a profissionais de saúde para auxiliar em diagnósticos [Piwek et al. 2016].

²⁵<https://gaming.tobii.com/tobii-eye-tracker-4c/>

²⁶<https://www.fitbit.com>

²⁷<https://www.apple.com>

Assistentes por voz são sensores que provêem diferentes formas de interação com a aplicação. O autor da aplicação pode, por exemplo, definir comandos por voz que alteram a sua execução e quais usuários podem vocalizá-los. As empresas desenvolvedoras de assistentes como Alexa²⁸, Google Assistant²⁹, Siri³⁰, Cortana³¹ e Bixby³² fornecem meios para que desenvolvedores possam integrá-los às suas aplicações e suportam a criação de rotinas (ou *skills*) que permitem, por meio de interface *drag-and-drop*, que usuários realizem várias ações por meio de um só comando.

2.4. Casos de Uso em Saúde

Como discutido anteriormente, aplicações mulsemídia podem ser utilizadas com foco em saúde, como em diferentes cenários para tratamento de doenças e transtornos, estímulo cognitivo e recuperação de lesões cerebrais. Como forma de ilustrar essas possibilidades de utilização, as seções abaixo apresentam alguns casos de uso de aplicações mulsemídia nesses cenários em questão.

2.4.1. Integração Sensorial em Indivíduos com TEA

Crianças com TEA são caracterizadas clinicamente por déficits de interação social e comunicação, bem como por interesses em atividades repetitivas [Posar and Visconti 2018]. As alterações sensoriais também são uma característica muito frequente, mas não são específicas do autismo, sendo uma característica frequentemente descrita em indivíduos com deficiência intelectual. Alguns padrões sensoriais são representados no transtorno do espectro do autismo em relação a estímulos sensoriais: hiporreatividade, hiperreatividade, busca sensorial e percepção aprimorada. As alterações sensoriais podem afetar negativamente a vida desses indivíduos e de suas famílias.

O trabalho de [Posar and Visconti 2018] discute uma deficiência não apenas das modalidades não sensoriais, mas também da integração multissensorial, isto é, problemas em processar diferentes modalidades sensoriais em conjunto. Dessa maneira, prover tipos específicos de estímulos sensoriais em intensidades e ambiente controlados pode melhorar a capacidade do sistema nervoso de lidar com processos de estímulos sensoriais. Com essa melhora, resultados apontam para redução de problemas de comportamentos e uma maior eficiência no aprendizado [Lang et al. 2012].

"Entender quais entradas sensoriais específicas causam desconforto em determinado indivíduo é o pré-requisito para reorganizar o ambiente em que ele vive e sua rotina diária para reduzir o máximo possível esse desconforto; nesse ponto de vista, um programa de dessensibilização pode ser útil. Em alguns casos, o uso de salas sensoriais, nas quais os indivíduos são submetidos a experiências sensoriais agradáveis de vários tipos, pode ser muito útil." [Posar and Visconti 2018]

²⁸<https://developer.amazon.com/pt-BR/alexa>

²⁹<https://assistant.google.com/>

³⁰<https://www.apple.com/br/siri/>

³¹<https://www.microsoft.com/en-us/cortana>

³²<https://www.samsung.com/br/apps/bixby/>

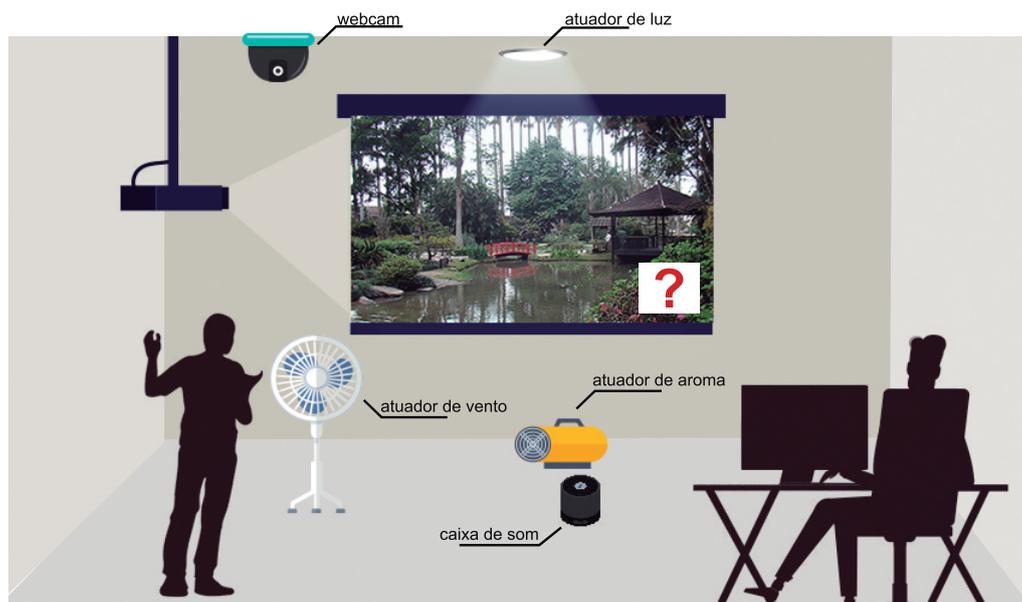


Figura 2.21. Exemplo de sala de terapia multiusuário

O caso de uso a seguir é motivado pelo trabalho feito por [Garzotto et al. 2019], em que é apresentado o *Magic Room*. O sistema tem objetivo de prover integração sensorial para crianças com TEA, por meio de efeitos sensoriais. A aplicação pode oferecer uma gama muito maior de oportunidades de interações sensoriais do que as terapias tradicionais. O trabalho obteve sucesso em integrar conteúdo audiovisual e efeitos sensoriais para desenvolver terapias de integração sensorial. Sendo assim, o *Magic Room* pode abrir caminho para novas intervenções terapêuticas para crianças com TEA.

A aplicação idealizada para esse caso de uso tem como objetivo ajudar na realização de terapias de integração sensorial em indivíduos com TEA. Esta consiste em orquestrar um ambiente imersivo onde estaria inserido o indivíduo e o seu terapeuta. São proporcionadas várias experiências sensoriais controladas pelo terapeuta. Desta forma, os efeitos sensoriais podem ser interrompidos a qualquer momento através do comando de voz “STOP” dito pelo terapeuta, quando o paciente demonstrar insatisfação através de seu semblante ou ainda quando seu batimento cardíaco atingir um patamar maior que um limiar pré-estabelecido. Os sinais biológicos como batimento cardíaco serão lidos por sensores conectados ao paciente.

A Figura 2.21 apresenta o layout da sala de terapia³³. Na sala, há um vídeo projetado e dois usuários, um é o terapeuta e outro é o usuário autista. Nessa sala, existem quatro atuadores de efeito sensorial: vento, luz, aroma e som. Além disso, uma *webcam* é usada para capturar os movimentos das mãos do usuário autista e um microfone é utilizado para gravar comandos de voz.

Neste caso de uso, há necessidade de diferentes tipos de usuários na sessão (terapeuta e paciente). Coletando dados do paciente e ambiente, o terapeuta pode verificar o andamento da terapia. Portanto é necessário especificar o perfil do paciente e do terapeuta

³³Imagens e gráficos obtidos de www.freepik.com

que participam da aplicação mulsemídia.

Uma vez definido o perfil, é possível armazenar informações associadas a cada paciente. Por exemplo, um conhecimento importante a ser extraído da interação do paciente é identificar limiares sensoriais do paciente no ambiente imersivo. Considere por exemplo a luminosidade. Qual seria o limite de luminosidade que um determinado paciente autista suporta? Neste caso, o terapeuta ao observar que o paciente se desorganiza diante de alguma característica do ambiente, pode determinar seu limite. Desta forma, a intensidade de cada um dos efeitos naquele momento pode ser armazenada como o limiar do paciente.

2.4.2. Relaxamento para Alzheimer

O Alzheimer é uma doença neurodegenerativa crônica e a forma mais comum de demência. A cada ano, 4,6 milhões de casos de Alzheimer são previstos e espera-se que esse número quase dobre em 2030 [Khan et al. 2018]. O paciente com Alzheimer necessita de cuidados especiais, precisando de supervisão constante na maioria do tempo. Esta tarefa é em geral de membros da família ou de profissionais contratados. Em especial, o cuidador familiar está mais suscetível a diversas patologias a decorrer do impacto que esta tarefa tem na privação de tempo e de suas atividades [Radziszewski et al. 2017].

Fraturas e quedas são principais motivos de internação hospitalar de idosos com Alzheimer [Van Doorn et al. 2003]. Um dos objetivos de supervisão de um paciente com Alzheimer é justamente evitar tais acidentes. Uma forma é amparar o idoso caso ele apresente comportamentos típicos da doença, como agitação, agressividade ou desorientação [Ballard et al. 2009]. Tais comportamentos, se não forem amenizados, podem eventualmente levar a problemas tanto para a pessoa com Alzheimer como para as que estão à sua volta [Hanford and Figueiro 2013].

Neste contexto, a fim de diminuir riscos a saúde, é desejável tratar a agitação e agressividade de um paciente com Alzheimer. Para amenizar tais comportamentos, pode-se optar por terapias medicamentosas. Porém os medicamentos causam efeitos colaterais e riscos para a saúde do paciente. Os efeitos colaterais variam desde desorientação, risco de quedas e até aumento no risco de morte [Ballard et al. 2009]. Em consequência disto, uma variedade de terapias alternativas são propostas para tratar agitação e agressividade em pacientes com Alzheimer.

Dentre estas, a terapia com música acumula maior base de evidências que indicam eficácia na redução de agitação em idosos com Alzheimer [O’Neil et al. 2011]. A terapia consiste da reprodução de sons que desencadeiem algum estado emocional no paciente. Na terapia com música, os sons podem ser genéricos, como uma música clássica de relaxamento ou individualizados, isto é, de acordo com a preferência musical do paciente. O trabalho [Gerdner 2000] indica uma redução significativa na agitação em tratamento com música individualizada em comparação com a música clássica. Além disso, vídeo em conjunto com música também tem sido utilizado como forma de aprimorar a qualidade de vida de pacientes com Alzheimer [Rubbi et al. 2016].

A terapia com aromas também é apresentada como uma intervenção possível para reduzir a agitação em formas de demência. Há indicações de que certos aromas podem

ser eficazes para ajudar as pessoas com demência a relaxar [O’Neil et al. 2011]. Dentre os aromas, destacam-se terapias com óleo de lavanda e erva-cidreira com possível efeito de redução da agitação em indivíduos com Alzheimer [Ballard et al. 2009].

Uma forma de terapia é o ambiente *Snoezelen* [Sarkar et al. 2018] para prover relaxamento em idosos com Alzheimer ao envolvê-los em atividades prazerosas e estimulantes. Tais ambientes podem dispor de recursos computacionais para oferecer às pessoas múltiplas oportunidades de interação e estímulo sensorial. Como apresentado no trabalho de [Sarkar et al. 2018], um dos recursos possíveis é a integração de uma aplicação interativa com sensores e atuadores de efeitos sensoriais.

Dessa maneira, a aplicação idealizada para este caso de uso tem como objetivo ajudar na realização de terapias de relaxamento em salas multissensoriais para doentes com Alzheimer. Esta consiste em possibilitar o terapeuta manipular efeitos sensoriais em ambiente imersivo onde estaria inserido seu paciente. Após o início da aplicação, o terapeuta pode iniciar ou parar a execução de efeitos sensoriais a qualquer momento por meio de comandos de voz, como "INICIA AROMA" ou "PARA LUZ".

A Figura 2.22 apresenta o layout da sala de terapia para relaxamento. Na sala, há um vídeo sendo apresentado na televisão e o usuário. Nessa sala, existem três atuadores de efeito sensorial: luz, aroma e som. Neste caso de uso, a aplicação multimedial executa na televisão. O vídeo apresenta um campo de lavandas e o aroma de lavanda é renderizado em sincronismo com o vídeo. Uma luz em tonalidade lilás é exibida em conjunto com uma música personalizada. Para conteúdo personalizado, o usuário precisa de um perfil definindo qual música prefere escutar para relaxar.

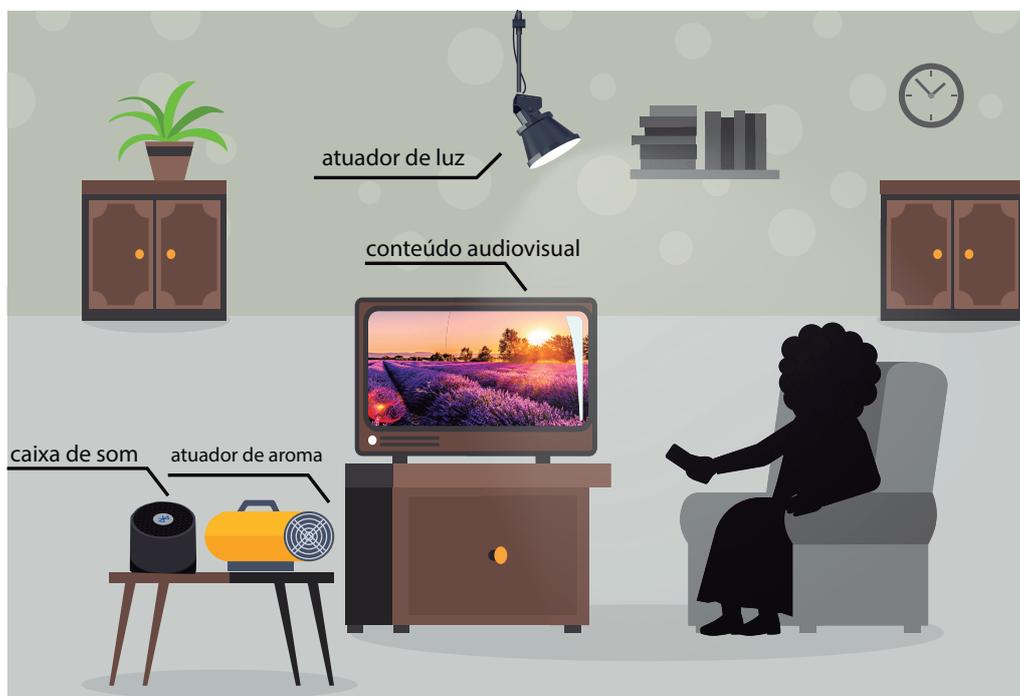


Figura 2.22. Exemplo de sala de terapia de relaxamento multissensorial

2.4.3. Exercícios Cognitivos

Conforme apresentado em [Antunes et al. 2006], o sistema funcional cognitivo consiste nas fases do processo de informação, como percepção, aprendizagem, memória, atenção, vigilância, raciocínio e solução de problemas. Esse sistema pode ser estimulado, através de diferentes atividades, que abordam diretamente a função cognitiva e/ ou o comprometimento cognitivo, e podem ser agrupadas de forma padronizada, criando um treinamento cognitivo [Martin et al. 2011].

A demência é um distúrbio cerebral que leva à redução do desempenho cognitivo e perda de memória. Desse modo, pessoas que possuem esse tipo de distúrbio podem sofrer com problemas na identificação de tempo, espaço e pessoas. A fim de auxiliar pacientes com demência, [Taher et al. 2015] propõem utilizar estímulos multissensoriais, através de efeitos de luz, cores, músicas, como técnica de terapia focando no relaxamento, estimulação e respostas individualizadas para estímulos diretos. Nos testes realizados por [Taher et al. 2015], durante oito semanas de intervenção com estímulos multissensoriais, foi possível verificar que este tipo de tratamento possui efeitos significativos na função cognitiva e na qualidade de vida de idosos com demência, além de diminuir a ansiedade e a depressão.

O estímulo multissensorial também é apresentado em [de Paula et al. 2019], porém aplicado ao contexto de jogos para exercício cognitivo. O jogo digital proposto por [de Paula et al. 2019] se baseia no teste do *Stroop*, criado por John Ridley Stroop em 1935 [Stroop 1935]. O teste do *Stroop* tem como objetivo verificar a reação do cérebro ao ser exposto a situações de discordância entre a leitura e a visualização de cores. No teste do *Stroop*, é exibido ao participante o nome de uma cor impresso em cor diferente (ex.: a palavra “azul” impressa em cor vermelha), e este deve dizer a cor em que a palavra está impressa, ao invés da palavra em si, como ilustrado na Figura 2.23.



Figura 2.23. Tela do jogo do *Stroop* proposto por [de Paula et al. 2019]

O jogo do *Stroop* proposto por [de Paula et al. 2019] incorpora o efeito sensorial de luz ao teste do *Stroop*, através de uma fita de LED acoplada à tela onde o texto com as cores é apresentado. Nessa versão do jogo do *Stroop*, a fita de LED era acessa com a cor correspondente à resposta correta, como apresentado na Figura 2.24. De acordo com os experimentos realizados, o uso do efeito de luz foi visto como um ponto positivo pelos usuários que participaram dos testes de usabilidade. Além disso, observou-se que houve

uma melhora no tempo de finalização da tarefa e na quantidade de acertos, ao comparar os testes realizados com o efeito de luz e sem o efeito.

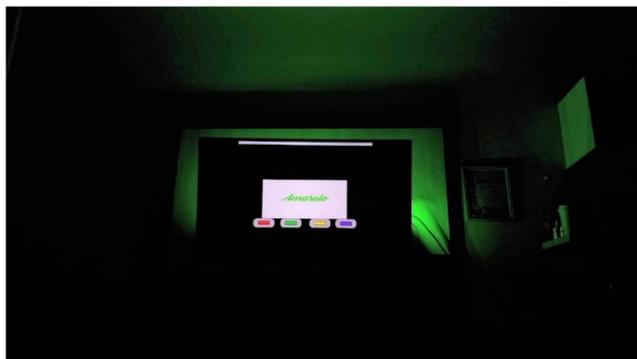


Figura 2.24. Jogo do Stroop com efeito sensorial de luz proposto por [de Paula et al. 2019]

Atividades ou jogos que fazem com que a pessoa memorize palavras ou imagens também são exemplos de exercícios cognitivos, e se enquadram na categoria de técnica de estimulação cognitiva. No trabalho de [Tortell et al. 2007], foi criado um jogo para testar a capacidade dos usuários em memorizar objetos de um ambiente virtual. O teste de cada usuário foi realizado em duas partes. Na primeira, foi apresentado ao usuário um ambiente virtual simulando uma região subterrânea como mostrado na Figura 2.25, onde o usuário poderia navegar através dela. Após 4 minutos percorrendo o ambiente virtual, o usuário ia para a segunda parte, onde tinha que responder a um questionário, marcando quais itens não foram observados no ambiente.

O trabalho de [Tortell et al. 2007] teve como objetivo avaliar o efeito do aroma na memorização de um ambiente virtual. Dessa forma, para um grupo de usuários, durante a navegação pelo ambiente, foi liberado um aroma composto de fragrâncias à base de óleo relacionado ao ambiente simulado. Esse aroma era liberado através de uma espécie de colar com 4 dispersores, conforme mostra a Figura 2.26. Além disso, outro grupo de usuários navegou pelo ambiente virtual, sem que nenhum aroma fosse liberado. Após a realização dos testes, [Tortell et al. 2007] verificou que os usuários que experimentaram o jogo com emissão de aroma tiveram, em média, 3,03 mais acertos do que aqueles que realizaram o experimento sem o aroma.

Uma outra possibilidade de estimulação cognitiva é utilizar um ambiente que forneça mecanismos para reabilitação cognitiva, conforme proposto por [Figuerola 2017]. Nesse trabalho, é proposto um ambiente personalizado multissensorial para estimular diretamente o sistema nervoso central, favorecendo o desenvolvimento de processos como atenção, memória e linguagem. Esse ambiente personalizado é definido como um espaço físico, onde o paciente pode receber vários estímulos auditivos, visuais, olfativos e táteis de forma clara.

O protótipo do ambiente personalizado desenvolvido por [Figuerola 2017] teve como objetivo a reabilitação de pacientes que sofreram um derrame. Com base neste protótipo, foram realizados alguns testes para verificar se o ambiente proposto possibilita que o paciente identifique cenários e recupere memórias. Além disso, os testes realiza-



Figura 2.25. Ambiente virtual utilizado na proposta de [Tortell et al. 2007]

dos buscaram analisar se um sentido pode ser considerado melhor do que os outros para estimular a memória.

Como resultado dos testes, foi possível verificar que os pacientes conseguiram identificar cenários, com base nos estímulos do ambiente proposto. Além disso, o percentual de pessoas que identificou corretamente o cenário, onde havia apenas estímulo auditivo foi de 1,9% nos testes com estímulo olfativo apenas. Entretanto, nos testes em que foram utilizados estímulos auditivos, olfativos e visuais, ao mesmo tempo, 59,4% das pessoas identificaram corretamente o cenário apresentado.

Os testes realizados por [Figuroa 2017] também buscaram verificar se a pessoa era capaz de se recordar de uma memória, com base no cenário visto. Nesses casos, foi possível observar que quando um único estímulo (auditivo ou olfativo) estava presente, 36 dos 74 indivíduos afirmaram recordar uma memória, quando havia 2 estímulos presentes (auditivo e olfativo), 23 dos 74 indivíduos recordaram uma memória e, quando os três estímulos foram apresentados ao mesmo tempo, 15 dos 74 indivíduos recordaram uma memória.

2.4.4. Terapia de Exposição em Realidade Virtual para Tratamento de TEPT

Como discutido nos trabalhos de Mishkind et al. [Mishkind et al. 2017] e Rizzo et al. [Rizzo et al. 2010], o uso de realidade virtual tem se revelado promissor para o tratamento de condições psiquiátricas, dentre essas o transtorno de estresse pós-traumático (TEPT). O TEPT está relacionado a padrões excessivos de estímulo e resposta baseados no medo e a um significado patológico na estrutura do medo, que mantém os sintomas e



Figura 2.26. Colar emissor de aroma utilizado na proposta de [Tortell et al. 2007]

impede a recuperação [Mishkind et al. 2017]. A terapia de exposição imaginária é uma das terapias recomendadas para serem utilizadas como primeira linha de tratamento para TEPT e requer que o paciente conte o trauma várias vezes [Mishkind et al. 2017]. Porém, devido ao trauma, muitos não querem participar do tratamento ou não conseguem falar sobre ele de forma vívida, com envolvimento emocional. Combinado com a ativação do medo em ambiente controlado e seguro, o envolvimento emocional é crítico para a terapia de exposição, fazendo com que a estrutura do medo mude. Nesse contexto, a realidade virtual pode servir como ferramenta para facilitar esse engajamento emocional por meio do sentimento de imersão e sentimento de presença que propicia. Além disso, como relatado no trabalho de Mishkind et al. [Mishkind et al. 2017], pacientes parecem mais dispostos a considerar a terapia de exposição com realidade virtual a outras formas de terapia de exposição. Outra vantagem da VR é o ambiente totalmente controlado, o que nem sempre é possível na exposição *in vivo*, e a possibilidade de reconstruir situações mais complexas de reproduzir e controlar, como um assalto, um ataque terrorista ou operações militares.

O trabalho retratado neste caso de uso é uma aplicação de Terapia de Exposição com Realidade Virtual (VRET) denominada *Virtual Iraq/Afghanistan*, com desenvolvimento apresentado em Rizzo et al. [Rizzo et al. 2010]. *Virtual Iraq* foi criado para tratamento de TEPT relacionado à exposição a combates nas operações militares no Iraque e Afeganistão (*Operation Enduring Freedom - OEF* e *Operation Iraqi Freedom - OIF*) em militares de serviço ativo e veteranos. Testes clínicos foram realizados com 20 militares (19 homens e 1 mulher, com idades que variam de 21 a 51 anos) em serviço ativo recém transferidos do Iraque, que já haviam tentado tratamentos para TEPT sem melhoria. Os resultados iniciais relatados são promissores: foram feitos 20 tratamentos completos, dos quais 16 militares não mais se enquadravam nos parâmetros para TEPT.

Virtual Iraq consiste em um conjunto de ambientes VRET com cenários de cidade e rodovia desértica customizáveis e ambientados no Oriente Médio, mostrados na Figura 2.27. As configurações do cenário “cidade” permitem inclusão de elementos como

estradas desoladas, um mercado, postos de controle, armazéns, mesquitas, lojas, edifícios em ruínas, e lotes de terra com lixo espalhado. O terapeuta que controla a sessão pode colocar o usuário em pontos específicos do cenário, incluir ou retirar veículos ativos nas vias assim como incluir ou retirar pedestres militares e civis animados, de acordo com as necessidades do paciente. É permitido que o usuário acesse o interior de edifícios e telhados e navegue pelos 24 bairros da cidade desértica a pé.



Figura 2.27. Cenários de cidade, estrada no deserto (utilizando o veículo HUMVEE) e com visão noturna ativada em *Virtual Iraq* [Rizzo et al. 2010]

O cenário “rodovia deserta” é formado por uma rodovia em uma extensa área desértica e contém elementos como duna de areia, algumas pequenas áreas de vegetação, pontes, destroços de batalhas, estruturas quebradas e intactas, postos de controle, detritos e figuras humanas. Nesse ambiente, o usuário está no interior de um veículo automóvel multifunção de alta mobilidade (HUMVEE), e pode ser posicionado como motorista, passageiro ou nas torres acima do teto do veículo. O HUMVEE suporta também a percepção de viagem em comboio ou solo. É possível selecionar o número de soldados na cabine e o quão machucados eles podem ficar durante ataques ao telhado ou com Dispositivos Explosivos Improvisados - IED (do inglês, *Improvised Explosive Device*), por exemplo.

O paciente navega pelos cenários usando controles com vibração (*force feedback*) ou uma réplica da arma M4, em ambos os casos sem a possibilidade de atirar. O clínico em controle da sessão utiliza a interface apresentada na Figura 2.28 para ajustar e controlar elementos como clima, período do dia, iluminação, visão noturna e sons ambientes (vento, barulho da cidade, alguém rezando). A interface também possibilita a ativação em tempo real de efeitos como vibração, áudio direcional 3D e estímulos olfativos. Assim, o clínico responsável customiza a experiência incluindo e retirando os estímulos de acordo com as

necessidades individuais do paciente.



Figura 2.28. Versão *wireless* da interface utilizada pelos clínicos para controle da aplicação *Virtual Iraq* [Rizzo et al. 2010]

Como parte dos estímulos auditivos, é possível ativar gatilhos auditivos como motores, disparos de armas e vento. A interface de controle também permite acionar eventos audiovisuais dinâmicos como sobrevoos de helicópteros, ataques a pontes, veículos explodindo e IEDs. Para os estímulos de vibração, são usados controles com *force feedback* e transdutores de som áudio-tátil, estes últimos localizados sob o chão da plataforma onde o paciente está e abaixo do assento desse.

Os estímulos olfativos são renderizados por meio de uma *Scent Palette*. É possível disparar aromas de fumaça (por exemplo, enquanto o usuário caminha próximo a um veículo em chamas), comidas típicas sendo cozinhadas, borracha queimada, lixo, explosivo sem fumaça, odor corporal, diesel, combustível, especiarias alimentares iraquianas e pólvora.

A Figura 2.29 mostra parte da estrutura do *Virtual Iraq*³⁴: o clínico controla os estímulos recebidos pelo paciente usando um interface, enquanto acompanha o que o paciente experiencia a partir de um monitor que espelha o conteúdo do *headset*. A Figura 2.30 mostra um protótipo inicial que foi utilizado em testes centrados no usuário com apoio da *Army Combat Stress Control Team* no Iraque.

2.4.5. Livro Multissensorial para Crianças com Dislexia

A dislexia é um transtorno definido pela incapacidade do cérebro em executar tarefas que requerem processamento de estímulos breves em rápida sucessão temporal, impedindo parcialmente que a pessoa disléxica consiga ler e compreender o que está lendo e dificultando seu aprendizado [Kast et al. 2007].

Treinamentos usando mídias audiovisuais para tratamento de crianças disléxicas e não-disléxicas apresentado em Kast et al. [Kast et al. 2007] obtiveram melhorias significativas na habilidade de escrita desses dois grupos de crianças. Em Silva et al. [Silva et al. 2019], são discutidos trabalhos que usam rastreamento ocular e estímulo de

³⁴<https://youtu.be/OkTHba0XM2c>



Figura 2.29. Estrutura do *Virtual Iraq* mostrada em vídeo de demo feita por Skip Rizzo para seção de documentários (Frontline) da emissora PBS [Rizzo et al. 2010]



Figura 2.30. Testes centrados no usuário feitos com protótipos iniciais do *Virtual Iraq* e com feedback da Army Combat Stress Control Team no Iraque [Rizzo et al. 2010]

outros sentidos, além da visão e audição, com resultados positivos para melhoria de aprendizado.

O caso de uso retratado nesta seção é apresentado em [Silva et al. 2019] e consiste em uma ferramenta multimídia para leitura de livros infantis. A Figura 2.31 mostra a ferramenta em funcionamento: estímulos auditivos, táteis (vento), visuais (variação de intensidade e cor da luz), e olfativos são acionados de forma automática à medida que o usuário lê o conteúdo do livro. Um *eye-tracker* é usado para a sincronização dos efeitos sensoriais com a leitura e para realizar ações como avançar e voltar pelas páginas do livro.

Após o usuário escolher o livro, cada página é carregada com seguintes elementos: linhas com o texto a ser lido, botões para avançar e voltar, título do livro, contagem de páginas e botão para encerrar a leitura. Para acionar os botões, o usuário deve fixar o olhar por 3 segundos no botão da ação desejada. À medida que o usuário lê as linhas de texto,

os efeitos vão sendo automaticamente renderizados.

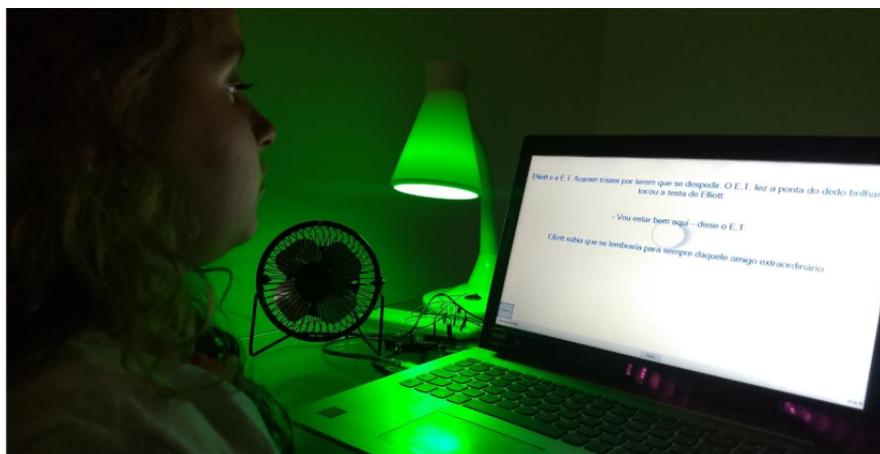


Figura 2.31. Livro multissensorial em uso [Silva et al. 2019]

2.5. Desafios e Tendências Futuras para Aplicações Mulsemídia

Diferente do conteúdo audiovisual que pode ser representado através de unidades de informação (por exemplo, os *pixels* de uma imagem ou os *frames* de um vídeo), a representação de um efeito sensorial através de unidades de informação é algo ainda pouco explorado na literatura. Desse modo, esta seção irá levantar alguns dos desafios relacionados ao tema deste capítulo, e também apresentar algumas propostas relacionadas à codificação digital de efeitos sensoriais.

O desenvolvimento e utilização de aplicações mulsemídia impõem alguns desafios tanto para os autores de aplicação, quanto para os fabricantes de dispositivos responsáveis pela renderização de efeitos sensoriais. Em relação ao ambiente de reprodução, os principais desafios estão na construção de dispositivos para a apresentação dos efeitos para estímulo do olfato e paladar.

Ambientes mulsemídia são por definição multimodais [Ghinea et al. 2014]. Os efeitos sensoriais (associados a conteúdo audiovisual) precisam ser entregues por seus atuadores apropriados ou devem ser modificados por informações provenientes de sensores. Para suportar esse tipo de relação, os dispositivos distribuídos devem ser capazes de se comunicar uns com os outros e também com seu controlador. Esta comunicação deve ser adaptável para uma série de dispositivos heterogêneos. Como visto neste capítulo, a comunicação de eventos entre sensores e atuadores pode permitir que a aplicação mulsemídia gere efeitos adaptados ao ambiente ou ao usuário. Adicionalmente, é de grande benefício adicionar também a comunicação destes dispositivos com servidores na nuvem [Alvi et al. 2015], de forma a fazer uso de um poder computacional que seria inviável para usuários convencionais. Este novo sistema integrado de sensores, atuadores, aplicação e Internet constitui a base de um novo ambiente mulsemídia inteligente.

Alguns desafios também são introduzidos ao utilizar desta abordagem, tal como a garantia da Qualidade do Serviço (QoS) em aplicações mulsemídia. A resposta dos atuadores deve ser entregue próximo ao tempo real para preservar a experiência do usuário,

no entanto a latência de processamento de algumas aplicações em nuvem (e.g reconhecimento de vídeo) pode ser proibitiva [Alvi et al. 2015]. Uma potencial solução para este problema é o avanço da implementação da futura geração de telecomunicação móvel, o 5G. A latência de comunicação ponto-a-ponto pela rede poderá ser diminuída significativamente. Com isso, a conectividade de rede ultra-confiável e ultra-responsiva permitirá fornecer remotamente experiências em tempo real que serão percebidas como tão rápidas quando a sensação tátil [Simsek et al. 2016]. Esta mudança de paradigma permite que sensores e atuadores sejam interfaces de comunicação de longa distância para as sensações humanas. Exemplos de experiências mulsemídia deste tipo são ambientes virtuais colaborativos multissensoriais. Um usuário não só irá visualizar todo o ambiente como também poderá interagir com outros participantes em tempo real. Sensores e atuadores hápticos poderão transmitir a sensação de toque entre os participantes. Essa nova rede que dar á suporte a essas aplicações, permitindo atrasos menores do que 1ms, vem sendo chamada de Internet Tátil (*Tactile Internet*).

Apesar dos avanços em ferramentas e modelos para facilitar o esforço de autoria, o processo de criação de uma aplicação mulsemídia ainda é um trabalho muito custoso em termos de esforço e tempo. Tal situação é agravada quando é necessário especificar a sincronização entre um grande número de objetos de mídia audiovisuais e efeitos sensoriais, bem como diferentes tempos de execução desses efeitos. Essa tarefa é muito custosa e pode induzir a erros [Abreu et al. 2018]. Neste contexto, [Waltl et al. 2013] indicam que uma forma de gerar tais marcações de maneira semiautomática incentivaria a adoção de tais aplicações pela comunidade. Diversas ferramentas possuem uma certa geração automática, porém ela se limita apenas a analisar quadros ou som do vídeo para emitir efeitos sensoriais. Um efeito de aroma, por exemplo, necessita de mais informação contextual da cena para ser automatizado, por exemplo indicando qual objeto está emitindo o aroma, ou qual é a distância e direção deste objeto em relação ao usuário. Portanto recentemente uma nova metodologia para resolver esse problema tem surgido ao empregar algoritmos de aprendizado de máquina para compreender cenas audiovisuais e correlacioná-las com a execução de certos efeitos sensoriais [Abreu et al. 2018]. Assim sendo, valiosos esforços nessa área serão a construção de *datasets* para treinamento de redes neurais para reconhecimento de efeitos sensoriais em diversos contextos. Outro valioso trabalho futuro é integrar em ferramentas de autoria mulsemídia a aprendizagem por reforço (*reinforcement learning*), que permite ao autor adaptar (i.e., treinar em tempo real) o reconhecimento da rede neural de acordo com seus objetivos.

2.6. Considerações Finais

A apresentação de diferentes efeitos sensoriais de forma sincronizada possibilita a criação de ambientes multissensoriais e aplicações, que podem ser empregadas em diferentes áreas, dentre elas a saúde. Ao estimular diferentes sentidos, essas aplicações fornecem uma maior sensação de imersão do usuário [Luque et al. 2014] no ambiente virtual. A sensação de imersão em ambientes virtuais é um ponto importante para a criação de simulações, e até mesmo para tornar o conteúdo mais atrativo para o usuário.

Uma outra forma de construir ambientes imersivos é através do uso da tecnologia de realidade virtual. Na área da saúde, essa tecnologia pode ser empregada para tratamento de condições psiquiátricas, como transtorno de estresse pós-traumático e a

ansiedade [Mishkind et al. 2017], por exemplo. Através da realidade virtual é possível apresentar ao usuário um cenário que simula alguma situação do dia-a-dia que lhe causa desconforto ou ansiedade, utilizando um óculos de realidade virtual. Dessa forma, é possível criar um ambiente controlado e seguro para realizar terapias de exposição em usuários com esse tipo de doença.

Os efeitos sensoriais também podem ser empregados para auxiliar em terapias de relaxamento, como a aromaterapia [O’Neil et al. 2011, Ballard et al. 2009] e terapia com música [O’Neil et al. 2011]. Esse tipo de terapia pode ser aplicada a pacientes com Alzheimer, que em alguns casos apresentam agitação e agressividade. Dessa forma, aplicações mulsemídia podem ser utilizadas para criar um ambiente multissensorial onde o terapeuta manipula efeitos sensoriais a fim de provocar o relaxamento no paciente.

Outros sintomas comuns em pacientes com Alzheimer são a redução do desempenho cognitivo, e perda de memória. De acordo com alguns estudos [Taher et al. 2015, Martin et al. 2011], os exercícios de estimulação cognitiva podem ser utilizados para preservar ou melhorar o desempenho das funções cognitivas. Nesse contexto, os efeitos sensoriais podem ser empregados em jogos digitais, de forma a oferecer estímulos multissensoriais.

Atualmente no mercado, existem diferentes dispositivos que permitem a renderização de efeitos sensoriais. Esses dispositivos permitem a emissão de aromas, de estímulos táteis e vibração, de efeitos luz, vento e temperatura. Além dos renderizadores de efeitos, existem dispositivos capazes de capturar informações do ambiente e do usuário, chamados sensores.

Algumas aplicações mulsemídia podem dar suporte à interação do usuário e à adaptação de conteúdo. Nessas aplicações, os sensores podem ser empregados tanto para capturar interações do usuário (por exemplo, interação por voz ou por movimentação dos olhos), quanto obter informações sobre as condições do usuário, como batimento cardíaco. Além disso, os sensores podem ser empregados para monitorar o estado do ambiente, como temperatura, luminosidade e pressão, por exemplo.

Este capítulo apresentou o conceito de aplicações mulsemídia aplicado à área da saúde. Foram apresentados alguns casos de uso, relacionados à integração sensorial em indivíduos com Transtorno do Espectro do Autismo, relaxamento de pacientes com Alzheimer, exercícios cognitivos, terapia de exposição para pacientes com transtorno de estresse pós-traumático e dislexia.

O presente capítulo também apresentou as principais linguagens e ferramentas para criação e execução de aplicações mulsemídia, propostos na literatura. Além disso, foram levantados alguns desafios e tendências futuras relacionados à construção de ambientes multissensoriais, que é uma área bastante fértil para pesquisas e trabalhos aplicados à saúde.

Referências

[Abreu et al. 2018] Abreu, R., dos Santos, J., and Bezerra, E. (2018). A bimodal learning approach to assist multi-sensory effects synchronization. In *2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, pages 1–8. IEEE.

- [Alvi et al. 2015] Alvi, S. A., Afzal, B., Shah, G. A., Atzori, L., and Mahmood, W. (2015). Internet of multimedia things: Vision and challenges. *Ad Hoc Networks*, 33:87–111.
- [Antunes et al. 2006] Antunes, H. K., Santos, R. F., Cassilhas, R., Santos, R. V., Bueno, O. F., and Mello, M. T. d. (2006). Exercício físico e função cognitiva: uma revisão. *Revista Brasileira de medicina do esporte*, 12(2):108–114.
- [Ballard et al. 2009] Ballard, C. G., Gauthier, S., Cummings, J. L., Brodaty, H., Grossberg, G. T., Robert, P., and Lyketsos, C. G. (2009). Management of agitation and aggression associated with alzheimer disease. *Nature Reviews Neurology*, 5(5):245.
- [Ballard et al. 2002] Ballard, C. G., O’Brien, J. T., Reichelt, K., and Perry, E. K. (2002). Aromatherapy as a safe and effective treatment for the management of agitation in severe dementia: The results of a double-blind, placebo-controlled trial with melissa. *The Journal of clinical psychiatry*.
- [Barreto et al. 2016] Barreto, F., Batista, D. T., dos Santos, J. A., and Muchaluat-Saade, D. C. (2016). Ncl-tester: Graphic application for ncl documents temporal test creation. In *Proceedings of the 22nd Brazilian Symposium on Multimedia and the Web*, pages 91–94. ACM.
- [Blakowski and Steinmetz 1996] Blakowski, G. and Steinmetz, R. (1996). A media synchronization survey: Reference model, specification and case studies. *Journal on Selected Areas in Communications*, 14(1):5–35.
- [Cha et al. 2009] Cha, J., Ho, Y.-S., Kim, Y., Ryu, J., and Oakley, I. (2009). A framework for haptic broadcasting. *IEEE MultiMedia*, 16(3):16–27.
- [Choi et al. 2011] Choi, B., Lee, E.-S., and Yoon, K. (2011). Streaming media with sensory effect. In *Information Science and Applications (ICISA), 2011 International Conference on*, pages 1–6. IEEE.
- [de Mattos and Muchaluat-Saade 2018] de Mattos, D. P. and Muchaluat-Saade, D. C. (2018). Steve: a hypermedia authoring tool based on the simple interactive multimedia model. In *Proceedings of the ACM Symposium on Document Engineering 2018*.
- [de Mattos et al. 2020] de Mattos, D. P., Muchaluat-Saade, D. C., and Ghinea, G. (2020). An approach for authoring mulsemmedia documents based on events. In *2020 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*, pages 273–277. IEEE.
- [de Paula et al. 2019] de Paula, G., de Melo, L. F., dos Santos, M. H., Seixas, F., Santana, R., and Muchaluat-Saade, D. (2019). Efeitos sensoriais em jogos cognitivos para idosos: Jogo do stroop. In *Anais do XIX SBCAS*, pages 187–198, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- [Figuroa 2017] Figuroa, R. C. (2017). Personal spaces for multisensory stimulation as support to rehabilitate patients with cognitive disabilities. In *Proceedings of the XVIII International Conference on Human Computer Interaction*, pages 1–2.

- [Garzotto et al. 2019] Garzotto, F., Gelsomini, M., Gianotti, M., and Riccardi, F. (2019). Engaging children with neurodevelopmental disorder through multisensory interactive experiences in a smart space. In *Social Internet of Things*, pages 167–184. Springer.
- [Gerdner 2000] Gerdner, L. A. (2000). Effects of individualized versus classical “relaxation” music on the frequency of agitation in elderly persons with alzheimer’s disease and related disorders. *International Psychogeriatrics*, 12(1):49–65.
- [Ghinea et al. 2014] Ghinea, G., Timmerer, C., Lin, W., and Gulliver, S. R. (2014). Mulsemmedia: State of the art, perspectives, and challenges. *ACM TOMM*, 11(1s):17.
- [Guedes et al. 2016] Guedes, Á. L., Cunha, M., Fuks, H., Colcher, S., and Barbosa, S. D. (2016). Using ncl to synchronize media objects, sensors and actuators. In *Anais Extendidos do XXII Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web*, pages 184–189. SBC.
- [Guedes et al. 2017] Guedes, Á. L. V., de Albuquerque Azevedo, R. G., and Barbosa, S. D. J. (2017). Extending multimedia languages to support multimodal user interactions. *Multimedia Tools and Applications*, 76(4):5691–5720.
- [Hanford and Figueiro 2013] Hanford, N. and Figueiro, M. (2013). Light therapy and alzheimer’s disease and related dementia: past, present, and future. *Journal of Alzheimer’s Disease*, 33(4):913–922.
- [Hardman 1998] Hardman, H. L. (1998). *Modeling and Authoring Hypermedia Documents*. PhD thesis, Universität Amsterdam.
- [ITU-Recommendation 2009] ITU-Recommendation (2009). Nested context language (ncl) and ginga-ncl for iptv services.
- [Josué et al. 2018] Josué, M., Abreu, R., Barreto, F., Mattos, D., Amorim, G., dos Santos, J., and Muchaluat-Saade, D. (2018). Modeling sensory effects as first-class entities in multimedia applications. In *Proceedings of the 9th ACM MMSys*, pages 225–236.
- [Josué et al. 2019] Josué, M., Moreno, M., and Muchaluat-Saade, D. (2019). Mulsemmedia preparation: a new event type for preparing media object presentation and sensory effect rendering. In *Proceedings of the 10th ACM Multimedia Systems Conference*, pages 110–120.
- [Kast et al. 2007] Kast, M., Meyer, M., Vögeli, C., Gross, M., and Jäncke, L. (2007). Computer-based multisensory learning in children with developmental dyslexia. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 25(3-4):355–369.
- [Khan et al. 2018] Khan, S. S., Ye, B., Taati, B., and Mihailidis, A. (2018). Detecting agitation and aggression in people with dementia using sensors—a systematic review. *Alzheimer’s & Dementia*, 14(6):824–832.
- [Kim and Han 2014] Kim, S. and Han, J. (2014). Text of white paper on mpeg-v. In *San Jose, USA. MPEG Group Meeting, ISO/IEC JTC*, volume 1.

- [Kim 2013] Kim, S.-K. (2013). Authoring multisensorial content. *Signal Processing: Image Communication*.
- [Lang et al. 2012] Lang, R., O'Reilly, M., Healy, O., Rispoli, M., Lydon, H., Streusand, W., Davis, T., Kang, S., Sigafos, J., Lancioni, G., et al. (2012). Sensory integration therapy for autism spectrum disorders: A systematic review. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 6(3):1004–1018.
- [Luque et al. 2014] Luque, F. P., Galloso, I., Feijoo, C., Martín, C. A., and Cisneros, G. (2014). Integration of multisensorial stimuli and multimodal interaction in a hybrid 3d tv system. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 11(1s):16.
- [Martin et al. 2011] Martin, M., Clare, L., Altgassen, A. M., Cameron, M. H., and Zehnder, F. (2011). Cognition-based interventions for healthy older people and people with mild cognitive impairment. *Cochrane database of systematic reviews*, (1).
- [Mattos and Muchaluat-Saade 2018] Mattos, D. P. and Muchaluat-Saade, D. C. (2018). Multisem: A mulsemmedia model for supporting the development of authoring tools. In *Proceedings of the 24th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web, WebMedia '18*, pages 109–116, New York, NY, USA. ACM.
- [Mishkind et al. 2017] Mishkind, M. C., Norr, A. M., Katz, A. C., and Reger, G. M. (2017). Review of virtual reality treatment in psychiatry: Evidence versus current diffusion and use. *Current Psychiatry Reports*, 19(11):80.
- [Munyan 2018] Munyan, B. G. (2018). *Odorants, Memory, and Presence in Warfighters: Do the Scents of War Matter?* PhD thesis, University of Central Florida.
- [Murray et al. 2014] Murray, N., Lee, B., Qiao, Y., and Muntean, G.-M. (2014). Multiple-scent enhanced multimedia synchronization. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 11(1s):12.
- [Nakamoto and Yoshikawa 2006] Nakamoto, T. and Yoshikawa, K. (2006). Movie with scents generated by olfactory display using solenoid valves. *IEICE transactions on fundamentals of electronics, communications and computer sciences*, 89(11):3327–3332.
- [O'Neil et al. 2011] O'Neil, M. E., Freeman, M., Christensen, V., Telerant, R., Adleman, A., Kansagara, D., et al. (2011). *A systematic evidence review of non-pharmacological interventions for behavioral symptoms of dementia*. Department of Veterans Affairs Washington, DC.
- [Piwek et al. 2016] Piwek, L., Ellis, D. A., Andrews, S., and Joinson, A. (2016). The rise of consumer health wearables: promises and barriers. *PLoS medicine*, 13(2).
- [Posar and Visconti 2018] Posar, A. and Visconti, P. (2018). Sensory abnormalities in children with autism spectrum disorder. *Jornal de Pediatria*, 94:342 – 350.

- [Radziszewski et al. 2017] Radziszewski, R., Ngankam, H. K., Grégoire, V., Lorrain, D., Pigot, H., and Giroux, S. (2017). Designing calm and non-intrusive ambient assisted living system for monitoring nighttime wanderings. *International Journal of Pervasive Computing and Communications*, 13(2):114–129.
- [Rizzo et al. 2010] Rizzo, A. S., Difede, J., Rothbaum, B. O., Reger, G., Spitalnick, J., Cukor, J., and Mclay, R. (2010). Development and early evaluation of the virtual iraq/afghanistan exposure therapy system for combat-related ptsd. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1208(1):114–125.
- [Rodrigues et al. 2019] Rodrigues, R. O., Josué, M. I., Abreu, R. S., Amorim, G. F., Muchalut-Saade, D. C., and Santos, J. A. d. (2019). A proposal for supporting sensory effect rendering in ginga-ncl. In *Proceedings of the 25th Brazillian Symposium on Multimedia and the Web*.
- [Rubbi et al. 2016] Rubbi, I., Magnani, D., Naldoni, G., Di Lorenzo, R., Cremonini, V., Capucci, P., Artioli, G., and Ferri, P. (2016). Efficacy of video-music therapy on quality of life improvement in a group of patients with alzheimer’s disease: a pre-post study. *ACTA BIO-MEDICA DE L’ATENEO PARMENSE*, 87(4-S):30–37.
- [Saleme et al. 2017] Saleme, E. B., Celestrini, J. R., and Santos, C. A. S. (2017). Time evaluation for the integration of a gestural interactive application with a distributed mulsemedia platform. In *Proceedings of the 8th ACM on Multimedia Systems Conference*, pages 308–314. ACM.
- [Saleme et al. 2019] Saleme, E. B., Santos, C. A., and Ghinea, G. (2019). A mulsemedia framework for delivering sensory effects to heterogeneous systems. *Multimedia Systems*, 25(4):421–447.
- [Santos et al. 2015] Santos, C. A. S., Neto, A. N. R., and Saleme, E. B. (2015). An event driven approach for integrating multi-sensory effects to interactive environments. In *2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pages 981–986. IEEE.
- [Sarkar et al. 2018] Sarkar, S., Karthikeyan, B., Ajai, S. S., Kumar, G. D., and Sharath, C. M. (2018). Relaxation aid for intellectual disabilities. In *2018 International Conference on Communication, Computing and Internet of Things (IC3IoT)*, pages 60–64.
- [Shin et al. 2016] Shin, S. H., Ha, K. S., Yun, H. O., and Nam, Y. S. (2016). Realistic media authoring tool based on MPEG-V international standard. *International Conference on Ubiquitous and Future Networks, ICUFN*, 2016-Augus:730–732.
- [Signes et al. 2000] Signes, J., Fisher, Y., and Eleftheriadis, A. (2000). Mpeg-4’s binary format for scene description. *Signal Processing: Image Communication*, 15(4):321–345.
- [Silva et al. 2019] Silva, E. P., Amorim, G. F., and Santos, J. A. F. d. (2019). Adding temporal semantic to textual media objects with eye tracking technology. In *Proceedings of the 25th Brazillian Symposium on Multimedia and the Web*, WebMedia ’19, page 217–220, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.

- [Simsek et al. 2016] Simsek, M., Aijaz, A., Dohler, M., Sachs, J., and Fettweis, G. (2016). 5g-enabled tactile internet. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(3):460–473.
- [Soares and Barbosa 2009] Soares, L. F. G. and Barbosa, S. D. (2009). Programando em ncl 3.0: Desenvolvimento de aplicações para o middleware ginga. *Campus, Rio de Janeiro, RJ*.
- [Soares et al. 2010] Soares, L. F. G., Rodrigues, R. F., Cerqueira, R., and Barbosa, S. D. J. (2010). Variable and state handling in ncl. *Multimedia Tools and Applications*, 50(3):465–489.
- [Soares et al. 2000] Soares, L. F. G., Rodrigues, R. F., and Saade, D. C. M. (2000). Modeling, authoring and formatting hypermedia documents in the hyperprop system. *Multimedia Systems*, 8(2):118–134.
- [Stroop 1935] Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of experimental psychology*, 18(6):643.
- [Sulema 2017] Sulema, Y. (2017). Asampl: Programming language for mulsemedia data processing based on algebraic system of aggregates. In *Interactive Mobile Communication, Technologies and Learning*, pages 431–442. Springer.
- [Taher et al. 2015] Taher, A. V., Ahmadi, M. K., and Zamir, F. P. (2015). Effects of multi-sensory stimulation on cognition function, depression, anxiety and quality of life in elderly persons with dementia. *International Journal of Sport Studies*, 5(3):355–360.
- [Tobii 2020] Tobii (2020). This is eye tracking. Acessado em: 21 de maio de 2020.
- [Tortell et al. 2007] Tortell, R., Luigi, D., Dozois, A., Bouchard, S., Morie, J. F., and Ilan, D. (2007). The effects of scent and game play experience on memory of a virtual environment. *Virtual Reality*, 11(1):61–68.
- [Van Doorn et al. 2003] Van Doorn, C., Gruber-Baldini, A. L., Zimmerman, S., Richard Hebel, J., Port, C. L., Baumgarten, M., Quinn, C. C., Taler, G., May, C., Magaziner, J., et al. (2003). Dementia as a risk factor for falls and fall injuries among nursing home residents. *Journal of the American Geriatrics Society*, 51(9):1213–1218.
- [W3C 2008] W3C (2008). Synchronized multimedia integration language - smil 3.0 specification. <http://www.w3c.org/TR/SMIL3>. World-Wide Web Consortium Recommendation.
- [Walzl et al. 2013] Walzl, M., Rainer, B., Timmerer, C., and Hellwagner, H. (2013). An end-to-end tool chain for sensory experience based on mpeg-v. *Signal Processing: Image Communication*.
- [Walzl et al. 2014] Walzl, M., Timmerer, C., Rainer, B., and Hellwagner, H. (2014). Sensory effects for ambient experiences in the world wide web. *Multimedia tools and applications*, 70(2):1141–1160.

Capítulo

3

Ferramentas OHDSI e a medicina de precisão: Estudos PLE e PLP

Maria Tereza Fernandes Abrahão (USP), Pablo Jorge Madril

Abstract

The Observational Health Data Sciences and Informatics, OHDSI initiative, redefined the area of observational research in health data, making it possible to carry out a systematic analysis on large data masses (big data), coming from various sources, through the definition of a common data model (Common Data Model - CDM OMOP), mechanisms to deal with different vocabularies and the availability of a set of free software tools for analysis. Precision medicine is a dynamic field that integrates the latest research advances in individual treatment. It seeks to provide the most appropriate diagnostic and treatment tools for patients with any type of problem, from heart disease to diabetes and cancer. The term precision medicine represents the work of building a biomedical research network, in order to basically develop a new taxonomic structure for diseases. The OHDSI initiative is part of this network and its tools are those that generate what we call clinical evidence. We will delve into two of these tools: the estimation of effects at the population level (PLE - Estimation at the Population Level) and the forecast at the patient level (PLP - Prediction at the Patient Level). EPP refers to the estimation of the average causal effects of exposures (for example, medical interventions, such as procedures or medications) on specific outcomes of interest. We will approach two types of estimates: Direct effect, which compares the result of the intervention with the non-intervention; Comparative effect, which compares the results of two different interventions. Predictive modeling on a massive patient-specific scale, PLP, has become a reality due to OHDSI, where the common data model (CDM) allows for uniform and transparent analysis on an unprecedented scale. We will cover the use of the PatientLevelPrediction package in R,

which implements the best practices established for the development and validation of models. The chapter covers the PLE and PLP tools provided by OHDSI.

Resumo

A iniciativa OHDSI (Observational Health Data Sciences and Informatics), redefiniu a área de pesquisa observacional em dados de saúde trazendo a possibilidade de realizar análises sistemáticas em grandes massas de dados (big data), providas de diversas fontes, através da definição de um modelo comum de dados (Common Data Model - CDM OMOP), de mecanismos para tratamento de diferentes vocabulários, e da disponibilidade de um conjunto de ferramentas de software livre para análise dos mesmos. A medicina de precisão é um campo dinâmico que integra os últimos avanços da pesquisa no tratamento individual. Ela procura fornecer as ferramentas de diagnóstico e tratamento mais adequados para pacientes com qualquer tipo de problema, desde doenças cardíacas a diabetes e câncer. O termo medicina de precisão representa o trabalho de construção de uma rede de pesquisa biomédica, a fim de desenvolver basicamente uma nova estrutura taxonômica para doenças. A iniciativa OHDSI faz parte desta rede e as suas ferramentas são as que geram aquilo que chamamos de evidência clínica. Nos aprofundaremos em duas destas ferramentas: a estimativa de efeitos no nível populacional (PLE - Population-Level Estimation) e a predição ao nível de paciente (PLP - Patient-Level Prediction). A PLE se refere à estimativa dos efeitos causais médios das exposições (por exemplo, intervenções médicas, como procedimentos ou medicamentos) em resultados específicos de interesse. Abordaremos dois tipos de estimativas: Efeito direto, que compara o resultado da intervenção com a não intervenção; Efeito comparativo, que compara entre si os resultados de duas intervenções diferentes. A modelagem preditiva em escala maciça e específica do paciente, PLP, tornou-se realidade devido a OHDSI, onde o modelo de dados comum (CDM) permite análises uniformes e transparentes em uma escala sem precedentes. Abordaremos o uso do pacote PatientLevelPrediction em R, que implementa as melhores práticas estabelecidas para desenvolvimento e validação de modelos. O capítulo aborda as ferramentas de PLE e PLP disponibilizados pela OHDSI.

3.1 Introdução

Dados de saúde observacionais oferecem oportunidades para gerar evidências reais sobre o efeito de tratamentos que podem melhorar significativamente a vida dos pacientes. Modelos de predição clínica foram desenvolvidos para apoiar o processo de decisão clínica, na qual o médico deve inferir um caminho de diagnóstico ou tratamento com base no histórico disponível do paciente e nas diretrizes clínicas atuais. São também conhecidos como medicina de precisão e utilizados na prática clínica em um amplo espectro de especialidades.

A OHDSI é uma iniciativa global aberta e uma rede de centros de pesquisa baseada em métodos analíticos padronizados, ferramentas de código livre e um modelo comum de dados (CDM - *Common Data Model*) que reúne mais de 2 bilhões de registros clínicos permitindo conduzir uma pesquisa rápida, confiável e economicamente viável.

A crescente rede de bancos de dados padronizados para o CDM permite a validação externa de modelos de predição e estimativa, em diferentes configurações de assistência médica em escala global.

O capítulo está estruturado como se segue. Primeiro, a seção 3.1 oferece uma breve fundamentação sobre a medicina de precisão, a iniciativa OHDSI, iniciativas para o enfrentamento do COVID-19. Em seguida, a seção 3.2 apresenta as estimativas no nível populacional. A seção 3.3, as predições a nível de paciente. A seção 3.4 apresenta as considerações finais e conclusões e a seção 3.5 as referências consultadas.

Na elaboração deste capítulo, seguiu-se o livro da OHDSI, *The book of OHDSI*, de domínio público, sob a licença *Creative Commons Zero v1.0 Universal*, (16/04/2020). O livro é um documento vivo, mantido pela comunidade por meio de ferramentas de desenvolvimento de código aberto e evolui continuamente. A versão online, disponível gratuitamente em¹, sempre representa a versão mais recente. O livro apresenta os três principais casos de uso de estudos observacionais em dados de saúde: caracterização, estimativa no nível da população e previsão no nível do paciente. O texto do livro foi traduzido e complementado na escrita deste capítulo. As figuras e tabelas que ilustram os estudos, foram copiadas do livro. Os exemplos foram elaborados a partir dos conhecimentos adquiridos pelos autores na participação no evento OHDSI COVID-19 *Study-A-Thon*².

3.1.1 A medicina de precisão e a iniciativa OHDSI

¹ The book OHDSI <http://book.ohdsi.org>

² *Study-A-Thon* <https://www.ohdsi.org/88-hours/> e <https://www.ohdsi.org/covid-19-updates/>

A medicina de precisão "foca no entendimento da variabilidade individual na prevenção, cuidado e tratamento das doenças"(Collins et al. 2016). Ela considera as diferenças genéticas, ambientais e de estilo de vida de cada pessoa para determinar o tratamento mais adequado para cada indivíduo. Como exemplos de medicina de precisão temos: prescrição de óculos, específica para cada indivíduo, tratamento de alergias e transfusões sanguíneas. Para todos estes casos e muitos outros, não existem tratamentos genéricos que possam ser aplicados sem levar em conta individualidades.

Ao sustentar estudos de PLP, a iniciativa OHDSI avança a noção de medicina de precisão identificando sub-populações de alto e baixo risco, viabilizando o correto gerenciamento de decisões para cada grupo.

3.1.2 *Study-A-Thon*: Estudo de caso

No fim do ano de 2019 surge e se dissemina pelo mundo um novo coronavírus, designado como Sars-Cov-2 e a doença associada, como COVID-19. Isto impulsiona um esforço sem precedentes da comunidade científica internacional para poder dar respostas rápidas a pandemia que se alastra.

De 26 a 29 de março de 2020, a OHDSI sediou um estudo virtual - *Study-A-Thon* - para auxiliar a tomada de decisões em saúde como resposta à atual pandemia do novo coronavírus.

O evento foi estruturado com dois objetivos principais: (1) gerar evidências imediatas do mundo real sobre perguntas priorizadas, compartilhadas por governos nacionais, agências de saúde pública, instituições relacionadas à saúde e membros da comunidade científica; e (2) projetar estudos específicos do COVID-19 validados e já prontos para execução, assim que os dados estejam disponíveis. Buscou-se:

- Trazer o que é conhecido hoje para descobrir as lacunas de conhecimento e preenchê-las;
- Perceber como a ciência da observação, de dados e a informática mudaram;
- Impor rigor científico na definição de fenótipos que melhorem a eficiência e qualidade da pesquisa;
- Definir um novo padrão de como a ciência aberta e as colaborações podem acontecer e ser um marco de como a ciência deve funcionar no futuro.

Em 88 horas de trabalho, o estudo reuniu 351 participantes de 30 países, envolveu 15 frentes de trabalho simultâneas, foram revisadas mais de 10 mil publicações científicas, elaborados 9 protocolos e lançados 13 pacotes de estudos. Projetou 355 definições de coortes e montou uma rede de dados distribuída para executar os estudos.

O planejamento das atividades acompanhou o seguinte roteiro:

- Revisão da literatura e desenvolvimento do protocolo de estudo;
- Desenvolvimento e avaliação dos fenótipos e coortes;

- Desenvolvimento dos pacotes de estudos disponíveis no GitHub OHDSI³;
- Execução dos pacotes na rede de dados OHDSI;
- Revisão e publicação dos resultados.

Este evento, do qual os autores participaram, gerou publicações e principalmente um exemplo de como conduzir estudos retrospectivos em bases populacionais.

Os exemplos aqui utilizados fazem referência aos citados estudos e as respectivas publicações por serem considerados pelos autores como modelos didáticos e atuais das novas tendências em estudos populacionais.

Dada a abundância de dados, excelência dos estudos e disponibilidade dos resultados, optamos neste capítulo por utilizar diretamente este material para exemplificar cada assunto através das referências adequadas em cada tema, guiando o leitor a navegar diretamente o material no lugar de copiá-lo ou reproduzi-lo aqui.

Uma breve introdução situa o leitor no problema e descreve as perguntas mais urgentes de serem respondidas que foram a motivação da iniciativa, e como aparecem as respostas ao se definirem os estudos.

3.1.2.1 Introdução ao COVID-19

O sequenciamento de genoma completo e a análise filogenética indicaram que o coronavírus que causa o COVID-19 é um beta coronavírus no mesmo subgênero que o vírus da síndrome respiratória aguda grave (SARS). A estrutura da região do gene de ligação ao receptor é muito semelhante à do coronavírus da SARS, e foi demonstrado que o vírus usa o mesmo receptor, a enzima de conversão da angiotensina 2 (ACE2), para entrada de células (Zhou et al. 2020).

Estima-se que o período de incubação do COVID-19 seja dentro de 14 dias após a exposição, com a maioria dos casos ocorrendo aproximadamente quatro a cinco dias após a exposição (Li et al. 2020).

Dentre as manifestações clínicas, a pneumonia parece ser a manifestação grave da infecção mais frequente, caracterizada principalmente por febre, tosse, dispnéia e infiltrados bilaterais na imagem torácica (Guan et al. 2020). No entanto, outras características, incluindo sintomas do trato respiratório superior, mialgias, diarreia e distúrbios do olfato ou do paladar, também são comuns.

3.1.2.2 Estudos priorizados

Com o COVID-19 se espalhando rapidamente e esgotando os sistemas de saúde em todo o mundo, a OHDSI sabia que tinha a oportunidade única de responder a esse desafio. A comunidade projetou e começou a executar estudos em um conjunto internacional de bancos de dados de saúde observacionais (incluindo reivindicações de

³ GitHub OHDSI <https://github.com/ohdsi-studies>

seguro e registros eletrônicos de saúde) para auxiliar na tomada de decisões durante a atual pandemia do COVID-19. O evento conclui com uma apresentação global de vários estudos, o anúncio de projetos e descobertas preliminares. O fim do evento não marcou o fim dos trabalhos. Os grupos continuaram a se reunir para avaliar os resultados, preparar e submeter os artigos para revisão por pares.

Foram priorizados três tipos de estudos:

- **Caracterização:** A maior parte do nosso entendimento da história natural da doença do COVID-19 é limitada a um conjunto discreto de perguntas feitas nos relatos de casos. O objetivo foi elaborar um estudo que resuma descritivamente coortes de pacientes positivos para COVID-19 em toda a comunidade OHDSI à medida que esses dados estivessem disponíveis. Para os pacientes positivos, descreveremos a demografia, condições prévias e medicamentos anteriores na história médica. Quando possível, também realizamos a caracterização estratificada, incluindo: Hipertensão, Diabetes, Cardiopatia, Câncer, Gravidez e outros. Resumimos a incidência de desfechos selecionados (hospitalização com pneumonia, hospitalização que requer cuidados invasivos - UTI, ventilador, intubação, morte) na coorte e subpopulações. Para fornecer um contexto mais amplo para os resultados da caracterização COVID-19, também realizaremos a caracterização em dados históricos de estações virais anteriores para caracterizar influenza, sintomas relacionados a vírus (febre, tosse, mialgia, dispnéia), complicações (pneumonia, dificuldade respiratória aguda) e tratamentos invasivos para problemas respiratórios (ventilação, ECMO, traqueostomia).
- **Estimativas a nível populacional (PLE):** A hidroxicloroquina⁴ é um DMARDs⁵ (*Disease-modifying antirheumatic drugs*) sintético indicado para tratamento da artrite reumatóide que está sendo investigada como potencial profilaxia e tratamento para COVID-19, por suas propriedades antivirais. Propomos realizar análises de séries de casos autocontroladas e comparar a hidroxicloroquina com outras drogas convencionais, para entender melhor seu perfil de segurança e determinar se há riscos diferenciais na incidência de complicações. Também exploraremos a segurança da exposição concomitante à hidroxicloroquina e azitromicina. As análises iniciais usarão a influenza como modelo viral, enquanto as análises subsequentes usarão o COVID-19 quando houver dados disponíveis.

⁴ Hidroxicloroquina <https://pt.wikipedia.org/wiki/Hidroxicloroquina>

⁵ DMARD https://en.wikipedia.org/wiki/Disease-modifying_antirheumatic_drug

- **Predição a nível de paciente (PLP):** Todos os países do mundo têm como objetivo 'achatar a curva', empregando uma série de medidas de saúde pública destinadas a atrasar a transmissão comunitária do COVID-19, de modo que o número de pacientes infectados espalhe-se ao longo do tempo para que a capacidade do sistema de saúde possa se acomodar às necessidades dos doentes. Em situações em que a demanda por serviços de saúde excede a oferta, as ferramentas de priorização baseadas na gravidade da doença tornam-se valiosas e a educação do público sobre o motivo pelo qual eles não devem procurar cuidados médicos desnecessários, pode fazer a diferença. Estamos propondo três estudos de predição que podem embasar esta discussão: 1) identificar quais pacientes provavelmente precisarão de hospitalização; 2) ajudar a garantir ao público que se forem enviados para casa, a probabilidade de algo ruim acontecer é baixa, de modo que eles sigam o conselho e as recomendações do médico para o autocuidado; 3) usar as informações do histórico médico antes da admissão para ajudar na triagem daqueles que chegam ao hospital e determinar quais casos provavelmente serão mais graves.

Dos descritos anteriormente, um estudo é a primeira caracterização em larga escala de pacientes com COVID-19 hospitalizados nos Estados Unidos e na Ásia, envolvendo seis bancos de dados com pacientes com COVID-19 localizados nos EUA e na Coreia do Sul (Burn et al. 2020).

O outro estudo, é sobre a segurança da hidroxiquina e foi projetado e executado em um conjunto internacional de bancos de dados de saúde. Este estudo com mais de 950.000 pacientes dos EUA, Inglaterra, Alemanha e Coreia do Sul, enfoca o perfil geral de segurança da hidroxiquina que na época do evento, era considerado como um tratamento potencial para o COVID-19. Uma pré-impressão desta análise está disponível e destaca os riscos envolvidos na terapia combinada de hidroxiquina e azitromicina (Lane et al. 2020).

O terceiro estudo projetou o primeiro modelo de predição validado externamente em pacientes com COVID-19 para apoiar as decisões de triagem. Esse modelo determina se é provável que um paciente precise de hospitalização com base em seus sintomas e foi desenvolvido com dados dos EUA e testado nos dados da Coreia do Sul (Williams et al. 2020).

3.1.3 Coortes utilizadas nos estudos

Tanto os estudos PLE quanto PLP, precisam da definição de populações para comparação e avaliação. Estes grupos de populações são chamados de coortes.

A definição das características dos grupos que formam as coortes é conhecida como fenótipo e ajuda a classificar os indivíduos através de elementos observáveis (tem

febre?). A continuação definimos, fenótipo, coorte, e os tipos de coortes utilizadas pelos estudos.

3.1.4 Fenótipos e Coortes

Fenótipo é o termo criado pelo pesquisador dinamarquês Wilhelm L. Johannsen (1857 – 1912) (Justina et al. 2010), e representa as características (parâmetros) observáveis que definem um indivíduo, sejam elas morfológicas, fisiológicas ou comportamentais.

A fenotipagem é o processo de identificação de pacientes com uma condição ou característica médica por meio de uma consulta de pesquisa a um sistema RES ou repositório de dados clínicos usando um conjunto definido de elementos de dados e expressões lógicas.

No contexto dos estudos, fenótipos representam o conjunto de características observáveis que vão permitir montar coortes. Eles são criados e utilizados nos estudos preditivos, de estimativa e de caracterização.

Para criar fenótipos compostos, primeiro precisamos criar e validar os seus blocos constituintes, por exemplo, pneumonia é um termo usado em 29 fenótipos diferentes. Eles são construídos a partir de pequenos blocos e conjuntos de definições (*concept sets*).

Os fenótipos são direcionados pelo seu uso, por exemplo: Como descobrir casos de uma determinada doença, como a influenza?

Temos duas abordagens:

- Restrito: Procurar pelo diagnóstico ou resultado de teste;
- Abrangente: Muitos dos pacientes não chegam a receber um diagnóstico ou teste. Incluímos então, suspeitos, confirmados e uma lógica com sintomas: (febre E (tosse OU dispneia OU mal-estar OU fadiga OU mialgia)).

Existe um compromisso entre especificidade e sensibilidade sem resposta certa sendo a escolha guiada pelo objetivo definido.

A construção dos fenótipos requer o conhecimento e exploração dos dados subjacentes para detectar problemas e particularidades dos códigos escolhidos, como por exemplo, mudanças nas definições dos termos no decorrer do tempo (CID-9 - CID-10).

A ferramenta Atlas ajuda a explorar os registros disponíveis na rede OHDSI fornecendo a frequência dos conceitos nos diversos conjuntos de dados. Enxergamos assim, o que realmente existe nos dados e quais conceitos podem ser usados para criar conjuntos de conceitos abrangentes.

A geração dos fenótipos para os estudos da COVID-19 seguiu o seguinte processo:

- Pesquisa bibliográfica: Os 36 fenótipos candidatos passaram por uma pesquisa no PubMed, onde foram criadas consultas utilizando os termos como descritores, analisando a literatura mais recente de forma sistemática;
- Definição de Coortes: Foram geradas 355 coortes utilizando estes fenótipos que estão disponíveis em: atlas-covid19.ohdsi.org;
- Validação: Mais de 100 coortes passaram pelo processo de validação e revisão para estudos de predição, estimativa e caracterização.

Definimos “coorte” para significar um conjunto de pacientes que satisfazem um ou mais critérios de inclusão por um período de tempo; "observacional" para significar que não há intervenção ou atribuição de tratamento imposta pelo estudo; "retrospectivo” para significar que o estudo será conduzido usando dados já coletados antes do início do estudo (Abrahão et al. 2019). Os termos coortes e fenótipos são frequentemente usados como sinônimos.

Muitas vezes esta definição de coortes difere da adotada em outras literaturas, onde se assemelha mais com um conjunto de códigos. Enquanto o conjunto de códigos é uma parte importante da definição de uma coorte, ela precisa também da lógica que define como o conjunto de códigos será utilizado para o critério especificado. Uma coorte bem definida inclui como um paciente entra e sai da coorte.

No contexto das ferramentas OHDSI, são criados 3 tipos de coortes: coorte alvo, coorte de comparação e coorte de desfecho. Em estudos de PLE, utilizaremos duas coortes, a coorte alvo e a coorte de desfecho, para poder predizer o fator de risco. A coorte de desfecho inclui tanto os pacientes da coorte alvo quanto os fora dela. As ferramentas de análise fazem a intersecção entre elas, fornecendo os resultados adequados. Assim as coortes ficam independentes dos estudos e podem ser reutilizadas entre os mesmos.

3.1.5 O site <https://data.ohdsi.org>

Os resultados dos conjuntos de cortes definidos e analisados durante o evento do *Study-A-Thon* estão disponibilizados neste site como aplicações Shiny que permitem navegar entre os resultados.

Cada resultado, visualizado como uma página interativa, possui uma ajuda marcada com um (i) que explica a entrada ou gráfico, um conjunto de opções para

escolher a base de dados, a coorte alvo e de comparação. Isto facilita a navegação entre a vasta quantidade de resultados.

Em particular, os resultados da caracterização das coortes corresponde as seguintes entradas na página:

- Aferições Basais (*Baseline*): Define as características básicas dos pacientes hospitalizados comparando duas situações, COVID-19 e Influenza;
 - **Pergunta:** Populações com COVID-19 são comparáveis com populações com Influenza?
 - [Covid19CharacterizationHospitalization](#)⁶
 - Caracterização de adultos hospitalizados com: COVID-19, Influenza. Comparados através de um conjunto de covariáveis agrupadas em faixa etária, gênero, medicamentos e história clínica: geral, cardiovascular e neoplasmas.
 - **Resposta:** Pacientes com COVID-19 costumam ser preferentemente homens, mais jovens e mais saudáveis que os da Influenza.
 - **Publicação:**
 - <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.22.20074336v1>
- Validações de coortes: Para diferentes coortes, se apresentam os seguintes indicadores: Contagens (entradas nas coortes, quantidade de indivíduos, etc), taxa de incidência, distribuição temporal, estatística dos critérios de inclusão, esmiuçamento do evento indexador, sobreposição de coortes, etc.
 - Caracterizações
 - [Covid19CohortEvaluationCharacterizations](#)
 - Exposições a medicamentos: DMARDs e outros
 - [Covid19CohortEvaluationDmardsExposures](#)
 - [Covid19CohortEvaluationDmardsExposuresSubset](#)
 - [Covid19CohortEvaluationExposures](#)
 - Desfechos: Eficiência (internações em UTI, intubação) e Segurança (infarto, falha renal, etc)
 - [Covid19CohortEvaluationEfficacyOutcomes](#)
 - [Covid19CohortEvaluationSafetyOutcomes](#)

⁶ Covid19 caracterização <https://data.ohdsi.org/Covid19CharacterizationHospitalization/>

3.1.6 Ferramenta ATLAS

ATLAS⁷ é uma das ferramenta publicamente disponível para pesquisadores conduzir análises científicas em dados observacionais padronizados convertidos para o OMOP CDM V5⁸. Permite criar coortes definindo grupos de pessoas com base em uma exposição a um medicamento ou diagnóstico de uma condição específica usando dados de registros de assistência médica. Os perfis dos pacientes podem ser visualizados dentro de uma coorte específica e análises de estimativa de nível populacional permitem a comparação de duas coortes diferentes. Apresenta as seguintes funcionalidades:

- Fontes de dados: opção de seleção da base de dados a ser analisada. Disponibiliza os gráficos de análise da ferramenta Achilles;
- Vocabulário: seleção e importação dos vocabulários necessários para análise dos dados;
- Conjuntos de conceitos: permite definir um novo conceito e listar/exportar;
- Definição de coortes: preparação das coortes para estudo. Define o grupo de pessoas que satisfazem um ou mais critérios de inclusão por um período de tempo. Como consequência desta definição:
 - uma pessoa pode pertencer a múltiplas coortes,
 - pode pertencer a mesma coorte em diferentes períodos de tempo,
 - uma pessoa não pode pertencer mais de uma vez à mesma coorte durante o mesmo intervalo de tempo,
 - uma coorte pode ter zero ou mais membros;
- Caracterização de coortes: é definida como o processo de geração de estatísticas descritivas da coorte a partir de dados de covariáveis a nível de pessoa. As estatísticas resumidas dessas covariáveis podem ser contagem, média, sd, var, min, max, mediana, intervalo e quantis. Além disso, as covariáveis durante um período podem ser estratificadas em unidades de tempo para análises de séries temporais, como intervalos fixos de tempo relativos a data de início da coorte (por exemplo, a cada 7 dias, a cada 30 dias, etc.) ou em intervalos absolutos do calendário, como semana, mês, trimestre, ano;
- Caminho da coorte: é definido como o processo de gerar uma sequência agregada de transições entre as coortes de eventos e as pessoas nas coortes alvo;
 - Coortes Alvo: cada uma das coortes-alvo serão analisadas em relação às coortes de eventos;
 - Coortes de Eventos: cada coorte de eventos define o passo em um caminho que pode ocorrer para uma pessoa na coorte de tratamento;

⁷ ATLAS <http://www.ohdsi.org/web/atlas/#/home>

⁸ OMOP CDM v5 <http://www.ohdsi.org/web/wiki/doku.php?id=documentation:cdm:single-page>

- Taxas de incidência: as taxas de incidência podem ser geradas incluindo as coortes de meta e resultados. A taxa de incidência é reportada como uma proporção e uma taxa. São fornecidas as contagens brutas de pessoas, casos e tempo em risco;
 - Tempo em risco: define a janela de tempo relativa à data de início ou término da coorte com um deslocamento para considerar a pessoa 'em risco' do desfecho em análise;
 - Critérios de estratificação: fornecer critérios de estratificação opcionais para a análise que dividirá a população em grupos únicos em relação aos critérios definidos;
- Perfis: o Atlas fornece a capacidade de pesquisar e explorar perfis individuais de pacientes em um banco de dados. Essa funcionalidade pode ser acessada clicando no item de menu de perfis, selecionando o banco de dados de interesse e inserindo um número de identificação do paciente. Dentro do perfil apresentado, o menu à esquerda lista os registros individuais que podem ser condições, medicamentos, procedimentos, etc. A tabela no canto inferior direito lista os domínios individuais, IDs de conceitos, nomes de conceitos e dias de início e fim no registro de um determinado paciente. O gráfico pode ser redimensionado para aumentar o zoom em uma determinada janela de tempo, por exemplo, nos primeiros 100 dias. Alterando a janela de tempo de interesse, as tabelas a esquerda e inferior direita mudam para refletir a janela de tempo de interesse;
- Estimativa: o Atlas tem a capacidade de realizar estudos de estimativa usando o design de coorte comparativo. O procedimento de estimativa no Atlas usa a metodologia de escore de propensão⁹. Existem 3 principais modelos de resultados: regressão logística; regressão de poisson; e riscos proporcionais de COX;
- Predição: o Atlas incorporou a capacidade de gerar modelos de predição usando métodos de aprendizado de máquina para medicina de precisão e interceptação de doenças, incluindo:
 - *Regularized regression*
 - *Random forest*
 - *k-nearest neighbors*

Usa um conjunto de covariáveis, incluindo, por exemplo, todas as drogas, diagnósticos, procedimentos, bem como idade, índices de comorbidade, etc. Os modelos de resultados suportados são logísticos, Poisson e sobrevivência (tempo até o evento).

⁹ Um escore de propensão é a probabilidade de uma unidade (por exemplo, pessoa) ser designada para um tratamento particular, dado um conjunto de covariáveis observadas. Os escores de propensão são usados para reduzir o viés de seleção ao equacionar grupos com base nessas covariáveis.

3.1.7 Onde achar: principais referências

As informações a respeito dos componentes da OHDSI podem ser classificadas em:

- Informações gerais: <http://www.ohdsi.org> - É o site principal;
- Código e instalações: <https://github.com/OHDSI/> - Aqui está disponibilizado o código fonte de todas as ferramentas. Em particular destacamos: *Common Data Model* (<https://github.com/OHDSI/CommonDataModel>), com a definição completa do modelo e as implementações para os diversos bancos suportados; Broadsea (<https://github.com/OHDSI/Broadsea>), que disponibiliza uma versão em containers Docker do conjunto de ferramentas, ver também: repositório Docker com os componentes dockerizados (<https://hub.docker.com/u/ohdsi/>); OHDSI-In-a-Box(<https://github.com/OHDSI/OHDSI-in-a-Box>) que disponibiliza uma máquina virtual pronta para testes e demonstrações;
- Tutoriais e vídeos: Procure no Google por YouTube OHDSI (<https://www.google.com/search?q=youtube+ohdsi>), existe muita documentação e tutoriais em vídeo dos eventos anuais do grupo;
- Fórum: Para resolver dúvidas mais frequentes, consulte o fórum (<http://forums.ohdsi.org/>).

3.2 Estimativas no nível da população - PLE

Dados de saúde observacionais, como declarações administrativas e registros eletrônicos de saúde, oferecem oportunidades para gerar evidências reais sobre o efeito de tratamentos que podem melhorar significativamente a vida dos pacientes. Nesta seção, focalizaremos a estimativa do efeito no nível da população, que se refere à estimativa dos efeitos causais médios das exposições (por exemplo, intervenções médicas, como exposições a medicamentos ou procedimentos), sobre resultados específicos de saúde de interesse. A seguir, consideramos duas tarefas diferentes de estimativa:

- Estimativa de efeito direto: estimar o efeito de uma exposição (coorte alvo) no risco de um resultado (coorte desfecho), em comparação com nenhuma exposição;
- Estimativa do efeito comparativo: estimar o efeito de uma exposição (coorte alvo) no risco de um resultado (coorte desfecho), em comparação com outra exposição (coorte de comparação).

Nos dois casos, o efeito causal no nível do paciente contrasta um resultado factual, ou seja, o que aconteceu com o paciente exposto, com um resultado contrafactual, ou seja, o que teria acontecido se a exposição não tivesse ocorrido (direta) ou ocorresse uma exposição diferente (comparativo). Como qualquer paciente revela apenas o resultado factual (o problema fundamental da inferência causal), os vários

modelos de estimativa de efeitos empregam diferentes dispositivos analíticos para esclarecer os resultados contrafactuais.

Os casos de uso para estimativa de efeito no nível populacional incluem seleção de tratamento, vigilância de segurança e eficácia comparativa. Em todos os casos, o objetivo permanece o mesmo: produzir uma estimativa de alta qualidade do efeito causal.

A seguir, descrevemos vários desenhos de estudos de estimativa em nível populacional, todos implementados como pacotes R na Biblioteca de métodos OHDSI¹⁰.

3.2.1 Delineando o método de coorte

Os indivíduos observados para iniciar o tratamento alvo são comparados com aqueles que iniciam o tratamento comparador. Para ajustar as diferenças entre os dois grupos de tratamento, várias estratégias de ajuste podem ser usadas, como estratificação, correspondência ou ponderação pelo escore de propensão ou adicionando características de linha de base ao modelo de resultado. As características incluídas no modelo de propensão ou modelo de resultado são capturadas antes do início do tratamento.

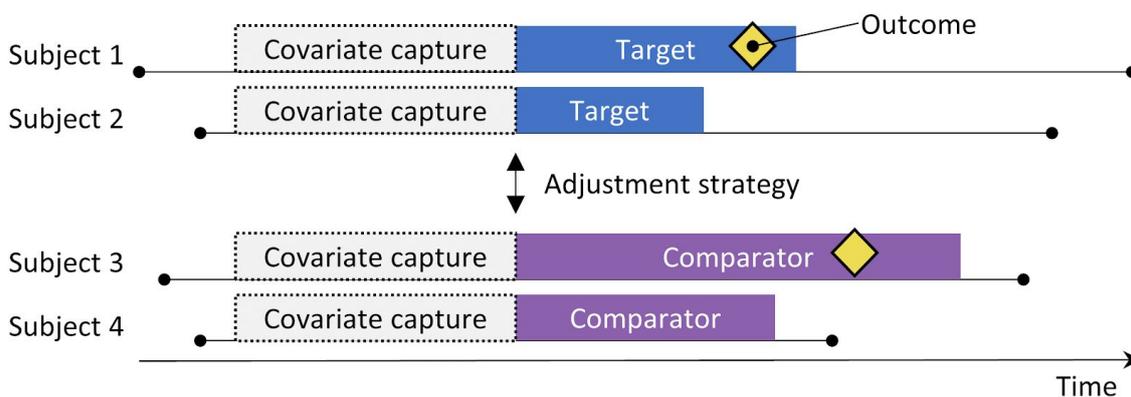


Figura 3.1. O desenho de coorte

O método de coorte tenta emular um ensaio clínico randomizado (Hernán and Robins 2016). Os indivíduos em observação que iniciam um tratamento (o alvo) são comparados aos indivíduos que iniciam outro tratamento (o comparador) e são seguidos por um período específico de tempo após o início do tratamento, por exemplo, o tempo em que permanecem no tratamento. Podemos especificar as perguntas que desejamos responder em um estudo de coorte, fazendo as cinco opções destacadas na Tabela 3.1.

A escolha do modelo especifica, entre outros, o tipo de modelo de desfecho. Por exemplo, poderíamos usar uma regressão logística, que avalia se o desfecho ocorreu ou não, e produz uma razão de chances (odds ratio). Uma regressão logística assume que o

¹⁰ Biblioteca de métodos OHDSI <https://ohdsi.github.io/MethodsLibrary/>

tempo em risco tem a mesma duração para o alvo e o comparador ou é irrelevante. Como alternativa, poderíamos escolher uma regressão de *Poisson* que estima a taxa de incidência, assumindo uma taxa de incidência constante. Frequentemente, é utilizada uma regressão de Cox, que considera o tempo até o primeiro resultado para estimar a taxa de risco, assumindo riscos proporcionais entre o alvo e o comparador.

Tabela 3.1 Principais opções em um projeto de coorte comparativo

Opções	Descrição
Coorte alvo	Uma coorte representando o tratamento alvo
Coorte comparadora	Uma coorte representando o tratamento comparador
Coorte de resultados	Uma coorte representando o resultado do interesse
Tempo em risco	Em que momento (geralmente em relação às datas de início e término da coorte-alvo e comparador) consideramos o risco do resultado?
Modelo	O modelo usado para estimar o efeito enquanto ajusta as diferenças entre o alvo e o comparador

O método de coorte de novos usuários é inerentemente um método para estimativa de efeito comparativo, comparando um tratamento com outro. É difícil usar esse método para comparar um tratamento contra nenhum tratamento, pois é difícil definir um grupo de pessoas não expostas comparável ao grupo exposto. Ao se usar esse desenho para estimativa direta do efeito, a maneira preferida é selecionar um tratamento comparador para a mesma indicação que a exposição de interesse, onde se acredita que o tratamento comparador não tenha efeito sobre o resultado. Infelizmente, esse comparador pode nem sempre estar disponível.

Uma preocupação importante é que os pacientes que recebem o tratamento alvo podem diferir sistematicamente daqueles que recebem o tratamento comparador. Por exemplo, suponha que a coorte alvo tenha em média 60 anos, enquanto a coorte comparadora tenha em média 40 anos. Comparar o alvo com o comparador em relação a qualquer resultado de saúde relacionado à idade (por exemplo, acidente vascular cerebral - AVC) pode mostrar diferenças substanciais entre as coortes. Um investigador desinformado pode chegar à conclusão de que existe uma associação causal entre o tratamento alvo e o AVC em comparação com o grupo de tratamento comparador. De maneira comum, o investigador pode concluir que existem pacientes-alvo que sofreram AVC que não o teriam feito se tivessem recebido o tratamento comparador. Essa conclusão pode estar incorreta. Talvez esses pacientes-alvo tenham sofrido um AVC simplesmente porque são mais velhos; talvez os pacientes-alvo que sofreram AVC pudessem ter feito isso mesmo se tivessem recebido o tratamento comparador. Nesse

contexto, a idade é um "fator de confusão". Um mecanismo para lidar com fatores de confusão em estudos observacionais é por meio de escores de propensão.

3.2.1.1 Escores de propensão

Em um estudo randomizado, um sorteio (virtual) atribui pacientes a seus respectivos grupos. Assim, a probabilidade de um paciente receber o tratamento alvo em relação ao tratamento comparador não se relaciona de forma alguma às características do paciente, como por exemplo, a idade. Não se tem conhecimento do paciente e sabemos com certeza a probabilidade exata de um paciente receber a exposição alvo. Como consequência, e com o aumento da confiança à medida que o número de pacientes no estudo aumenta, os dois grupos de pacientes não podem diferir sistematicamente em relação a qualquer característica do paciente. Esse equilíbrio garantido é válido para as características que o estudo mediu (como a idade), bem como para as características que o estudo não conseguiu medir, como os fatores genéticos do paciente.

Para um determinado paciente, o escore de propensão (*propensity score* - PS) é a probabilidade de que esse paciente tenha recebido o tratamento-alvo em relação ao comparador (Rosenbaum and Rubin 1983). Em um estudo randomizado equilibrado, com dois braços, o escore de propensão é de 0,5 para cada paciente. Em um estudo observacional ajustado ao escore de propensão, estimamos a probabilidade de um paciente receber o tratamento-alvo com base no que podemos observar nos dados antes e no momento do início do tratamento (independentemente do tratamento que eles realmente receberam). Este é uma aplicação simples de modelagem preditiva; ajustamos um modelo (por exemplo, uma regressão logística) que prevê se um sujeito recebe o tratamento-alvo e usamos esse modelo para gerar probabilidades previstas (escore de propensão) para cada sujeito. Ao contrário de um estudo randomizado padrão, pacientes diferentes terão probabilidades diferentes de receber o tratamento-alvo. O escore de propensão pode ser usado de várias maneiras, incluindo a correspondência de assuntos-alvo com assuntos comparadores com escore semelhante, estratificar a população do estudo com base no escore de propensão ou ponderar indivíduos usando a Probabilidade Inversa de Ponderação de Tratamento (*Inverse Probability of Treatment Weighting* - IPTW) derivada do escore de propensão. Ao fazer a correspondência, podemos selecionar apenas um assunto de comparação para cada assunto de destino, ou podemos permitir mais de um assunto comparador por assunto de destino, uma técnica conhecida como correspondência de proporção variável (*variable-ratio matching*) (Rassen et al. 2012).

3.2.1.2 Seleção de variáveis

No passado, os escores de propensão eram calculados com base nas características selecionadas manualmente e, embora as ferramentas OHDSI possam suportar tais

práticas, preferimos usar uma grande quantidade de características genéricas (ou seja, características que não são selecionadas com base nas exposições e resultados específicos do estudo) (Tian et al. 2018). Essas características incluem dados demográficos, bem como todos os diagnósticos, exposições a medicamentos, medições e procedimentos médicos observados antes e no dia do início do tratamento. Um modelo normalmente envolve 10.000 a 100.000 características únicas, as quais ajustamos usando regressão regularizada em larga escala (Suchard et al. 2013) implementada no pacote R Cyclops¹¹. Em essência, deixamos os dados decidirem quais características são preditivas da atribuição do tratamento e devem ser incluídas no modelo.

Normalmente, incluímos o dia do início do tratamento como covariável, porque muitos dados relevantes, como o diagnóstico que leva ao tratamento, são registrados nesta data. Neste dia, o tratamento alvo e o comparador também são registrados, mas eles não devem ser incluídos no modelo de propensão, porque são exatamente isso que estamos tentando prever. Portanto, devemos excluir explicitamente o tratamento alvo e comparador do conjunto de covariáveis

Alguns argumentaram que uma abordagem orientada a dados para a seleção covariável que não depende da experiência clínica para especificar a estrutura causal "correta" corre o risco de incluir erroneamente as chamadas variáveis instrumentais e colisores, aumentando assim a variação e potencialmente introduzindo viés (Hernán et al. 2002). No entanto, é pouco provável que essas preocupações tenham um grande impacto nos cenários do mundo real (Schneeweiss 2018). Além disso, na medicina, a verdadeira estrutura causal é raramente conhecida e, quando se pede a diferentes pesquisadores que identifiquem as covariáveis 'certas' a serem incluídas em uma questão de pesquisa específica, cada pesquisador invariavelmente cria uma lista diferente, tornando o processo irreproduzível. Mais importante, nossos diagnósticos, como inspeção do modelo de propensão, avaliação do equilíbrio de todas as covariáveis e inclusão de controles negativos, identificariam a maioria dos problemas relacionados a colisores e variáveis instrumentais.

3.2.1.3 Calibre

Como o escore de propensão tem valores num continuum de 0 a 1, a correspondência exata raramente é possível. Em vez disso, o processo de correspondência procura pacientes que correspondem à pontuação de propensão de um (s) paciente (s) alvo (s) dentro de alguma tolerância conhecida como "calibre". Seguindo Austin (Austin 2011), usamos um calibre padrão de 0,2 desvios padrão na escala de *logit*¹².

¹¹ Cyclops <https://ohdsi.github.io/Cyclops/>

¹² Logit <https://en.wikipedia.org/wiki/Logit>

3.2.1.4 Overlap: Preference Scores

O método de propensão precisa da existência de pacientes compatíveis. Para isso, um diagnóstico importante mostra a distribuição dos escores de propensão nos dois grupos. Para facilitar a interpretação, as ferramentas OHDSI traçam uma transformação do escore de propensão denominado “escore de preferência”. (Walker et al. 2013). O escore de preferência se ajusta à “participação de mercado” dos dois tratamentos. Por exemplo, se 10% dos pacientes recebem o tratamento alvo (e 90% recebem o tratamento comparador), os pacientes com uma pontuação de preferência de 0,5 têm uma probabilidade de 10% de receber o tratamento alvo. Matematicamente, a pontuação de preferência é:

$$\ln\left(\frac{F}{1-F}\right) = \ln\left(\frac{S}{1-S}\right) - \ln\left(\frac{P}{1-P}\right)$$

Onde F é o *preference score*, S é o *propensity score*, e P é a proporção de pacientes que recebem o tratamento alvo.

Walker et al. (Walker et al. 2013) discutem o conceito de "equilíbrio empírico". Eles aceitam pares de exposição como emergentes de equilíbrio empírico se pelo menos metade das exposições for para pacientes com uma pontuação de preferência entre 0,3 e 0,7.

3.2.2 Coorte auto controlada

A taxa de desfechos durante a exposição à intervenção é comparada com a taxa de desfechos no período pré-exposição. A Figura 3.2 apresenta este desenho.

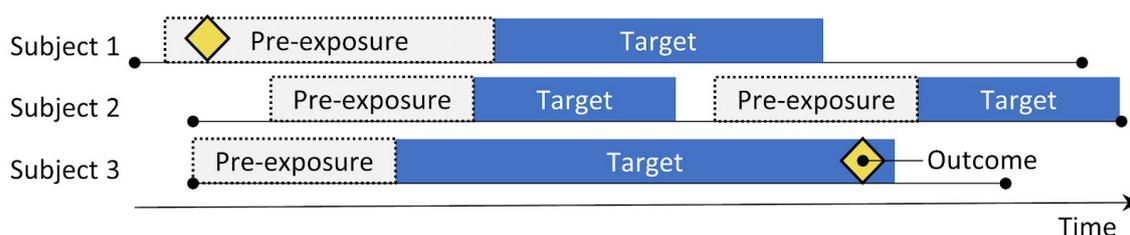


Figura 3.2 Desenho de coorte auto controlado

O desenho de coorte auto controlado (Ryan et al. 2013) compara a taxa de desfecho durante a exposição à taxa de desfecho no período imediatamente anterior à exposição. As quatro opções mostradas na Tabela 3.2 definem uma pergunta de coorte auto controlada.

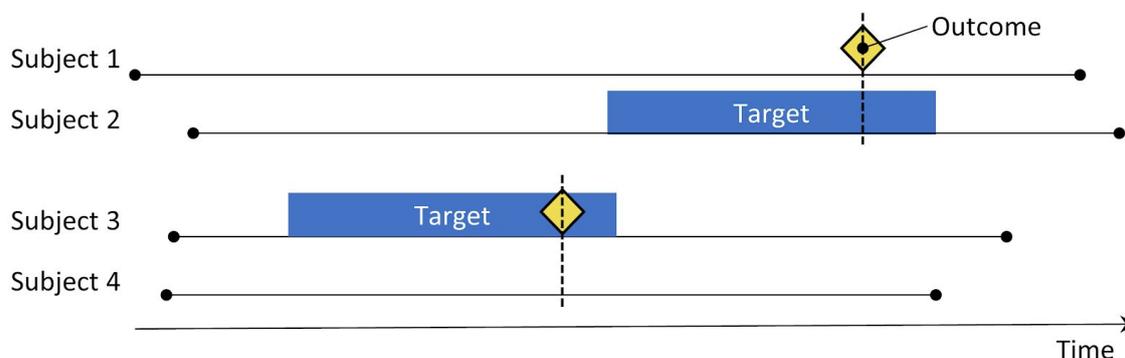
Tabela 3.2 Principais opções em um projeto de coorte autocontrolado

Opções	Descrição
Coorte alvo	Uma coorte representando o tratamento
Coorte de desfecho	Uma coorte representando o desfecho de interesse
Tempo em risco	Em que momento (geralmente em relação às datas de início e término da coorte alvo) consideramos o risco do resultado?
Tempo de controle	O período usado como o tempo de controle

Como o mesmo sujeito que compõe o grupo exposto também faz parte do grupo de controle, não é necessário fazer ajustes nas diferenças entre as pessoas. No entanto, o método é vulnerável a outras diferenças, como diferenças no risco de linha de base do desfecho entre diferentes períodos de tempo.

3.2.3 Caso-controle

Os indivíduos com o desfecho ('casos') são comparados com indivíduos sem o desfecho ('controles') em termos de status de exposição. Frequentemente, casos e controles são compatíveis com várias características, como idade e gênero. A Figura 3.3 apresenta este desenho.

**Figura 3.3 Desenho caso-controle**

Estudos caso-controle consideram a pergunta "as pessoas com um desfecho específico da doença são expostas com mais frequência a um agente específico do que aquelas sem a doença?" A idéia central é comparar "casos", ou seja, sujeitos que experimentam o resultado de interesse, com "controles", sujeitos que não experimentaram o resultado de interesse. As opções na Tabela 3.3 definem uma questão de caso-controle.

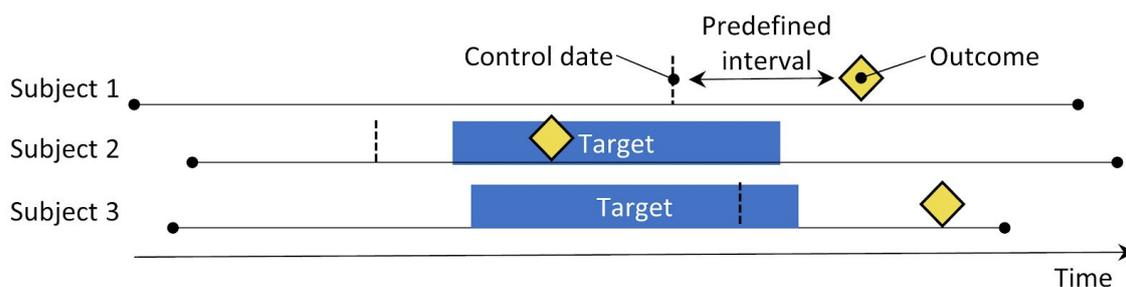
Tabela 3.3 Principais opções em um projeto de caso-controlado

Opções	Descrição
Coorte de resultados	Uma coorte representando os casos (o resultado do interesse)
Coorte de controle	Uma coorte representando os controles. Normalmente, a coorte de controle é automaticamente derivada da coorte de resultados usando alguma lógica de seleção
Coorte alvo	Uma coorte representando o tratamento
Coorte aninhada	Opcionalmente, uma coorte que define a subpopulação a partir da qual casos e controles são extraídos
Tempo em risco	A que horas (geralmente em relação à data de indexação) consideramos o status da exposição?

Frequentemente, seleciona-se controles para combinar casos com base em características como idade e gênero, para torná-los mais comparáveis. Outra prática generalizada é aninhar a análise em um subgrupo específico de pessoas, por exemplo, pessoas que foram diagnosticadas com uma das indicações da exposição de interesse.

3.2.4 Caso-cruzado

O tempo em torno do resultado é comparado a uma data de controle definida em um intervalo pré-definido anterior à data do resultado. A Figura 3.4 apresenta este desenho.

**Figura 3.4 Desenho caso-cruzado**

O desenho de caso-cruzado avalia se a taxa de exposição é diferente no momento do resultado do que em um número pré-definido de dias antes do resultado. Tenta determinar se há algo de especial no dia em que o resultado ocorreu. A Tabela 3.4 mostra as opções que definem uma pergunta de caso-cruzado.

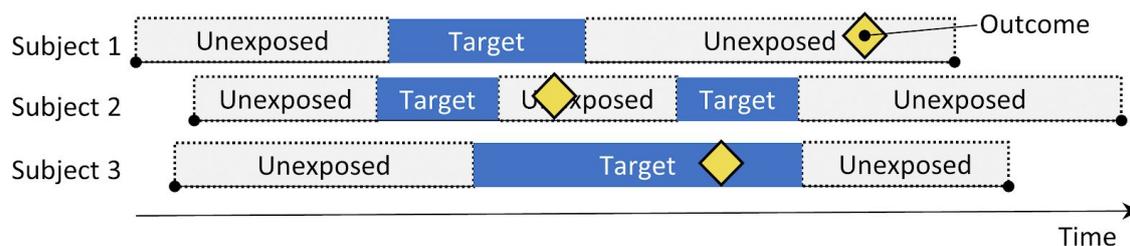
Tabela 3.4 Principais opções em um desenho caso-cruzado

Opções	Descrição
Coorte de resultados	Uma coorte representando os casos (o resultado do interesse)
Coorte alvo	Uma coorte representando o tratamento
Tempo em risco	A que horas (geralmente em relação à data de indexação) consideramos o status da exposição?
Tempo de controle	O período usado como o tempo de controle

Os casos servem como seus próprios controles. Como projetos autocontrolados, eles devem ser robustos e confusos devido às diferenças entre as pessoas. Uma preocupação é que, como a data do resultado é sempre posterior à data de controle, o método será enviesado positivamente se a frequência geral de exposição aumentar ao longo do tempo (ou enviesado negativamente se houver uma diminuição). Para resolver isso, foi desenvolvido o desenho caso-controle de tempo (Suissa 1995), que adiciona controles, correspondentes por exemplo em idade e gênero, ao desenho caso-cruzado para ajustar as tendências de exposição.

3.2.5 Série de casos auto controlados

A taxa de resultados durante a exposição é comparada à taxa de resultados quando não exposta. A Figura 3.5 apresenta este desenho.

**Figura 3.5 O desenho série de casos auto controlados**

O desenho Série de Casos Auto controlados (SCA) (Whitaker et al. 2006) compara a taxa de resultados durante a exposição à taxa de resultados durante todo o tempo não exposto, incluindo antes, entre e depois das exposições. É uma regressão de *Poisson* condicionada à pessoa. Assim, ele procura responder à pergunta: “Dado que um paciente tem o resultado, o resultado é mais provável durante o tempo exposto comparado ao tempo não exposto?”. As opções na Tabela 3.5 definem uma pergunta.

Tabela 3.5 Principais opções em um desenho série de casos auto controlado

Opções	Descrição
Coorte alvo	Uma coorte representando o tratamento
Coorte de resultados	Uma coorte representando o resultado do interesse
Tempo em risco	Em que momento (geralmente em relação às datas de início e término da coorte alvo) consideramos o risco do resultado?
Modelo	O modelo para estimar o efeito, incluindo quaisquer ajustes para fatores de confusão que variam no tempo

Como outros desenhos autocontrolados, o SCA é robusto para confundir devido a diferenças entre as pessoas, mas vulnerável a confundir devido a efeitos variáveis no tempo. Vários ajustes são possíveis para tentar contabilizá-los, por exemplo, incluindo idade e tempo. Uma variante especial do SCA inclui não apenas a exposição de interesse, mas todas as outras exposições a medicamentos registrados no banco de dados, potencialmente adicionando milhares de variáveis adicionais ao modelo. A regularização-L1 (*L1-regularization*) usando a validação cruzada para selecionar o hiperparâmetro de regularização é aplicada aos coeficientes de todas as exposições, exceto a exposição de interesse.

Uma suposição importante subjacente ao SCA é que o final do período de observação é independente da data do resultado. Para alguns resultados, especialmente aqueles que podem ser fatais, como derrame, essa suposição pode ser violada. Foi desenvolvida uma extensão para o SCA que corrige qualquer dependência desse tipo (Farrington et al. 2011).

3.2.6 *Study-a-thon*: Estimativas a nível populacional

Os estudos de estimativa de efeitos em nível populacional examinam os efeitos dos seguintes medicamentos: hidroxicloroquina (HCQ), inibidores da IL6 e JAK, inibidores da protease do HIV e inibidores da protease da hepatite C. Embora as análises de eficácia iniciais sejam feitas usando a influenza como modelo viral, as análises subsequentes usarão os dados dos pacientes COVID-19 quando disponíveis.

Um desses estudos de estimativa de efeitos também se concentrou na segurança do HCQ nos dados dos pacientes com artrite reumatóide, pois o HCQ é um tratamento aprovado para a artrite reumatóide.

3.2.7 Estimativa a nível populacional do uso da Hidroxicloroquina

Risco da hidroxicloroquina, isoladamente e em combinação com azitromicina: um estudo multinacional (Lane et al. 2020).

Introdução: A hidroxicloroquina (HCQ) recebeu recentemente a Autorização de Uso de Emergência pelo FDA e atualmente é prescrita em combinação com azitromicina para pneumonia por COVID-19. Estudamos a segurança da hidroxicloroquina, isoladamente e em combinação com a azitromicina.

Métodos: estudos de coorte de pacientes com artrite reumatóide com idade acima de 18 anos e que iniciaram a hidroxicloroquina foram comparados aos que iniciaram a sulfassalazina e foram acompanhados por mais de 30 dias. As séries de casos autocontroladas (SCCS) foram realizadas para estabelecer ainda mais a segurança em populações mais amplas. A coorte foram incluídos 16 eventos adversos graves (SAEs). Separadamente, foram estudados os SAEs associados à hidroxicloroquina-azitromicina (em comparação com a hidroxicloroquina-amoxicilina). Os dados incluíram 14 fontes de dados de registros médicos eletrônicos da Alemanha, Japão, Holanda, Espanha, Reino Unido e EUA.

Conclusões: foram incluídos 956.374 usuários de hidroxicloroquina e 310.350 de sulfassalazina e 323.122 usuários de hidroxicloroquina-azitromicina e 351.956 de hidroxicloroquina-amoxicilina. Nenhum risco excessivo de SAEs foi identificado quando o uso de hidroxicloroquina e sulfassalazina por 30 dias. O SCCS confirmou esses achados. No entanto, quando a azitromicina foi adicionada à hidroxicloroquina, observamos um risco aumentado de mortalidade cardiovascular em 30 dias, dor no peito / angina e insuficiência cardíaca. A mortalidade cardiovascular também foi aumentada nas análises de tratamento em longo prazo de hidroxicloroquina versus sulfassalazina.

Interpretação: O tratamento com hidroxicloroquina parece seguro durante os 30 dias após o início da artrite reumatóide, mas o uso combinado de hidroxicloroquina e azitromicina pode induzir insuficiência cardíaca e mortalidade cardiovascular. O uso prolongado de hidroxicloroquina pode aumentar o risco de mortalidade na AR. Dado que a hidroxicloroquina, sozinha e em combinação com a azitromicina, está sendo ativamente considerada para o tratamento no COVID-19, pedimos cautela e consideração cuidadosa sobre a relação risco-benefício da eficácia incerta e risco identificado ao gerenciar pacientes com COVID -19.

Até onde sabemos, este é o maior estudo até o momento que analisa a segurança do HCQ. Os resultados preliminares de riscos podem ser vistos em data.ohdsi.org¹³ e os pacotes de estudo podem ser encontrados no OHDSI GitHub¹⁴. A estimativa da eficácia antiviral está aguardando dados dos pacientes COVID-19.

¹³ [data.ohdsi.org https://data.ohdsi.org/Covid19EstimationHydroxychloroquine/](https://data.ohdsi.org/Covid19EstimationHydroxychloroquine/)

¹⁴ OHDSI GitHub <https://github.com/ohdsi-studies/Covid19EstimationHydroxychloroquine>

O estudo foi registrado na Rede Europeia de Centros de Farmacoepidemiologia e Farmacovigilância (*European Network of Centres for Pharmacoepidemiology and Pharmacovigilance* - ENCePP), EU PAS Register number EUPAS34497¹⁵; O protocolo do estudo pode ser avaliado em¹⁶; e o código fonte do estudo em¹⁷.

3.3 Predição ao nível do paciente - PLP

A tomada de decisão clínica é uma tarefa complicada na qual o clínico deve inferir um caminho para diagnóstico ou tratamento com base no histórico médico disponível do paciente e nas diretrizes clínicas atuais. Modelos de predição clínica foram desenvolvidos para apoiar esse processo de tomada de decisão e são utilizados na prática clínica em um amplo espectro de especialidades. Esses modelos preveem um resultado diagnóstico ou prognóstico com base em uma combinação de características do paciente, por exemplo, informações demográficas, histórico da doença e do tratamento.

O número de publicações que descrevem modelos de predição clínica aumentou fortemente nos últimos 10 anos. A maioria dos modelos usados atualmente é estimada usando pequenos conjuntos de dados e considera apenas um pequeno conjunto de características do paciente. Esse baixo tamanho de amostra e, portanto, baixo poder estatístico, força o analista de dados a fazer fortes suposições de modelagem. A seleção do conjunto limitado de características do paciente é fortemente orientada pelo conhecimento especializado disponível. Isso contrasta fortemente com a realidade da medicina moderna, na qual os pacientes geram uma trilha digital rica, que está muito além do poder de qualquer médico para assimilar completamente. Atualmente, os cuidados de saúde estão gerando uma quantidade enorme de informações específicas do paciente armazenadas nos Registros Eletrônicos de Saúde (RES). Isso inclui dados estruturados na forma de diagnóstico, medicação, resultados de testes de laboratório e dados não estruturados contidos nas narrativas clínicas. Não se sabe quanta precisão preditiva pode ser obtida, aproveitando a grande quantidade de dados originários do RES completo de um paciente.

Os avanços no aprendizado de máquina para análises de grandes conjuntos de dados levaram a um interesse crescente em aplicar a predição no nível do paciente a esse tipo de dados. No entanto, muitos esforços publicados na predição no nível do paciente não seguem as diretrizes de desenvolvimento do modelo, não realizam uma validação externa extensa ou fornecem detalhes insuficientes do modelo, o que limita a

¹⁵ ENCePP <http://www.encepp.eu/encepp/viewResource.htm?id=34498>

¹⁶ Protocolo do estudo

<https://github.com/ohdsi-studies/Covid19EstimationHydroxychloroquine/tree/master/documents>

¹⁷ Código fonte <https://github.com/ohdsi-studies/Covid19EstimationHydroxychloroquine>

capacidade de pesquisadores independentes reproduzirem os modelos e realizarem a validação externa. Isso dificulta a avaliação justa do desempenho preditivo dos modelos e reduz a probabilidade de o modelo ser usado adequadamente na prática clínica. Para melhorar os padrões, vários artigos foram escritos detalhando diretrizes para as melhores práticas no desenvolvimento e relatório de modelos de predição. Por exemplo, a rede EQUATOR (*Enhancing the QUALity and Transparency Of health Research*)¹⁸, fornece recomendações claras para relatar o desenvolvimento e validação do modelo de predição e aborda algumas das preocupações relacionadas à transparência.

A modelagem preditiva a nível de paciente em grande escala, tornou-se realidade devido ao OHDSI, onde o modelo de dados comum (*Common Data Model - CDM-OMOP*) permite análises uniformes e transparentes em uma escala sem precedentes. A crescente rede de bancos de dados padronizados para o CDM permite a validação externa de modelos em diferentes configurações de assistência médica em escala global. Acreditamos que isso fornece uma oportunidade imediata para atender grandes comunidades de pacientes que precisam de uma melhor qualidade de atendimento. Tais modelos podem informar cuidados médicos verdadeiramente personalizados, levando a resultados significativamente melhores para os pacientes.

A continuação, descrevemos a estrutura padronizada do OHDSI para predição em nível de paciente (Reps et al. 2018), que com base nas melhores práticas existentes, propõe cinco etapas para: (1) definição transparente do problema; (2) seleção dos conjuntos de dados adequados; (3) construção de variáveis a partir dos dados observacionais; (4) aprendizado do modelo preditivo; e (5) validação do desempenho do modelo. Essa estrutura foi implementada como software de código aberto, utilizando o CDM OMOP, para permitir o compartilhamento e reprodução da avaliação de modelos em vários conjuntos de dados observacionais. Apresentamos na sequência, o pacote R *PatientLevelPrediction*¹⁹ que implementa as melhores práticas estabelecidas para desenvolvimento e validação.

Utilizamos como exemplo o estudo: "*Seek COVER: Development and validation of a personalized risk calculator for COVID-19 outcomes in an international network*" (Williams et al. 2020). Este estudo tem como objetivo desenvolver e validar externamente as pontuações das covariáveis para cálculo do risco estimado para COVID-19 (COVER - COVID-19 *Estimated Risk*) que quantificam o risco de um paciente ter internação hospitalar (COVER-H), precisar de serviços intensivos (COVER-I) ou sofrer uma fatalidade (COVER-F) nos 30 dias seguintes ao diagnóstico de COVID -19. Os resultados do estudo, a calculadora de risco, o link para o protocolo e os pacotes do estudo, estão disponíveis como uma aplicação shiny²⁰.

¹⁸ EQUATOR: Transparent reporting of a multivariable prediction model for individual prognosis or diagnosis (TRIPOD) <https://www.equator-network.org/reporting-guidelines/tripod-statement/>

¹⁹ PatientLevelPrediction <https://ohdsi.github.io/PatientLevelPrediction/>

²⁰ Estudo COVER <https://data.ohdsi.org/Covid19CoverPrediction/>

Na página principal, temos a descrição do estudo implementado, como mostra a Figura 3.6.

Multiple PLP Viewer

Description

Seek COVER: Development and validation of a personalized risk calculator for COVID-19 outcomes in an international network

Development Status: Under Development

This shiny application contains the results of the internal and external validations of the models developed to predict risk of hospitalisation within 30 days of initial presentation to a healthcare professional with symptoms.

During manuscript development and the subsequent review period, these results are considered under embargo and should not be disclosed without explicit permission and consent from the authors.

Abstract Importance COVID-19 is causing high mortality worldwide. Developing models to quantify the risk of poor outcomes in infected patients could help develop strategies to shield the most vulnerable during de-confinement.

Objective To develop and externally validate COVID-19 Estimated Risk (COVER) scores that quantify a patient's risk of hospital admission (COVER-H), requiring intensive services (COVER-I), or fatality (COVER-F) in the 30-days following COVID-19 diagnosis.

Design Multinational, distributed network cohorts.

Setting We analyzed a federated network of electronic medical records and administrative claims data from 14 data sources and 6 countries, mapped to a common data model.

Participants Model development used a patient population consisting of >2 million patients with a general practice (GP), emergency room (ER), or outpatient (OP) visit with diagnosed influenza or flu-like symptoms any time prior to 2020. The model was validated on patients with a GP, ER, or OP visit in 2020 with a confirmed or suspected COVID-19 diagnosis across five databases from South Korea, Spain and the United States.

Outcomes Age, sex, historical conditions, and drug use prior to index date were considered as candidate predictors. Outcomes included i) hospitalization with pneumonia, ii) hospitalization with pneumonia requiring intensive services or death, and iii) death in the 30 days after index date.

Results Overall, 44,507 COVID-19 patients were included for model validation, after initial model development and validation using 6,869,127 patients with influenza or flu-like symptoms. We identified 7 predictors (history of cancer, chronic obstructive pulmonary disease, diabetes, heart disease, hypertension, hyperlipidemia, and kidney disease) which combined with age and sex could discriminate which patients would experience any of our three outcomes. The models achieved high performance in influenza. When transported to COVID-19 cohorts, the AUC ranges were, COVER-H: 0.69-0.81, COVER-I: 0.73-0.91, and COVER-F: 0.72-0.90. Calibration was overall acceptable, with overestimated risk in the most elderly and highest risk strata.,

Conclusions and relevance A 9-predictor model performs well for COVID-19 patients for predicting hospitalization, intensive services and fatality. The models could aid in providing reassurance for low risk patients and shield high risk patients from COVID-19 during de-confinement to reduce the virus' impact on morbidity and mortality.

Figura 3.6 Página principal da aplicação shiny do estudo COVER

Clicando na aba Cálculo de Risco (*Risk Calculator*), Figura 3.7, temos a possibilidade de executar um cálculo definindo os valores das variáveis do paciente.

Multiple PLP Viewer

Use this tool to calculate the risk of COVID outcomes:

Age: 18 26 34 42 50 58 62 70 78 86 94

Sex: Male

History of Cancer

History of COPD

History of Diabetes

History of Heart disease

History of Hyperlipidemia

History of Hypertension

History of Kidney Disease

Calculate Risk

Predicted Risk (%)

Outcome	Predicted Risk (%)
COVER-H	6.9%
COVER-I	2.4%
COVER-F	1.6%

Description

This calculator presents the results of a prediction study that developed 3 prediction models.

The three models predicted COVID-19 hospital admissions (COVER-H), requiring intensive services (COVER-I), or fatality (COVER-F).

Figura 3.7 Calculadora de Risco do estudo COVER

3.3.1 O problema de predição

Entre uma população em risco, nosso objetivo é prever quais pacientes, a partir de um momento definido ($t = 0$), terão algum desfecho durante um período de risco. A predição é feita usando apenas informações sobre os pacientes em uma janela de observação antes desse momento.

A Figura 3.8 ilustra o problema de predição que abordamos. Ela mostra que para definir um problema de predição, precisamos definir $t = 0$ para uma coorte alvo, o desfecho que gostaríamos de prever e o tempo em risco.

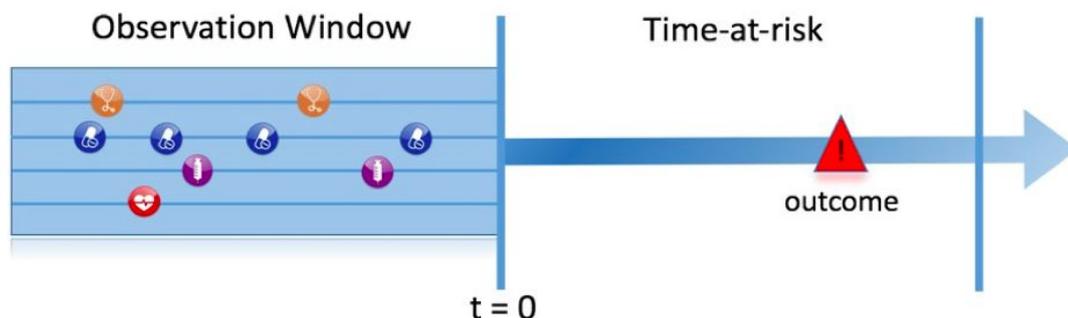


Figura 3.8 O problema da predição

Definimos a pergunta de predição padrão como:

Entre os pacientes [definição da coorte alvo], quem sofrerá um desfecho de [definição da coorte de resultados] durante o próximo [período de tempo em risco]?

Além disso, temos que definir parâmetros para o delineamento do modelo que gostaríamos de desenvolver e determinar os conjuntos de dados observacionais para executar a validação interna e externa. A Tabela 3.6 apresenta as perguntas a serem respondidas a cada parâmetro.

Tabela 3.6 Principais parâmetros de delineamento do projeto de predição

Parâmetros	Descrição
Coorte alvo	Como definimos a coorte de pessoas para quem desejamos prever?
Coorte de desfecho	Como definimos o resultado que queremos prever?
Tempo em risco	Em qual janela de tempo relativa a $t = 0$ queremos fazer a predição?
Modelo	Quais algoritmos queremos usar e quais variáveis preditivas potenciais incluímos?

Resumindo o problema de predição:

- Defina a população-alvo, que são os pacientes aos quais você deseja aplicar o modelo. A população alvo é um conjunto de pacientes que atendem a um ou mais critérios de inclusão por um período de tempo. Por exemplo, uma

população-alvo pode ser pacientes que iniciam o tratamento de depressão observado desde o início do tratamento até a interrupção do tratamento.

- Defina o desfecho para o qual você deseja prever o risco. O desfecho também é uma população definida como um conjunto de pacientes que atendem a um ou mais critérios de inclusão por um período de tempo. Por exemplo, uma população de desfecho podem ser pacientes com AVC observado no momento do primeiro diagnóstico. Se o desfecho ocorrer dentro do período de tempo em risco, o *status do desfecho* será definido como "positivo";
- Defina o período de tempo em risco; este é o intervalo de tempo dentro do qual você deseja prever o desfecho ocorrido. Por exemplo, pacientes com tratamento para depressão podem estar em risco de derrame, desde o dia seguinte ao início do tratamento até 1 ano após o início do tratamento.

Essa estrutura conceitual funciona para todos os tipos de problemas de predição, por exemplo:

- Início e progressão da doença
 - **Estrutura:** Entre os pacientes que foram diagnosticados recentemente com *[uma doença]*, quem passará a ter *[outra doença ou complicação]* dentro de *[horizonte temporal do diagnóstico]*?
 - **Exemplo:** Entre os pacientes com fibrilação atrial recentemente diagnosticados, quem passará a sofrer um AVC isquêmico nos próximos três anos?
- Opções de tratamentos
 - **Estrutura:** Entre os pacientes com *[doença indicada]* que são tratados com *[tratamento 1]* ou *[tratamento 2]*, quais pacientes foram tratados com *[tratamento 1]*?
 - **Exemplo:** Entre os pacientes com fibrilação atrial que tomaram varfarina ou rivaroxaban, quais pacientes recebem varfarina? (por exemplo, para um modelo de propensão)
- Resposta ao tratamento
 - **Estrutura:** Entre os novos usuários de *[um tratamento]*, quem experimentará *[algum efeito]* em *[janela do tempo]*?
 - **Exemplo:** quais pacientes com diabetes que começam com metformina permanecem em uso de metformina por três anos?
- Segurança do tratamento
 - **Estrutura:** Entre os novos usuários de *[um tratamento]*, quem experimentará *[evento adverso]* em *[janela do tempo]*?
 - **Exemplo:** Entre os novos usuários de varfarina, quem terá um sangramento gastrointestinal em um ano?
- Adesão ao tratamento

- **Estrutura:** Entre os novos usuários de [um tratamento], quem alcançará [métrica de adesão] na [janela do tempo]?
- **Exemplo:** quais pacientes com diabetes que começam com metformina atingem $\geq 80\%$ de proporção de dias cobertos em um ano?

3.3.2 Extração dos dados: coortes, covariáveis e valores ausentes

Ao criar um modelo preditivo, usamos um processo conhecido como aprendizado supervisionado - uma forma de aprendizado de máquina - que infere a associação entre as covariáveis e o *status de desfecho* com base em um conjunto rotulado de exemplos.

Um conjunto rotulado de exemplos é construído determinando previamente para cada exemplo qual é o status de desfecho correspondente. Normalmente isto é feito por um grupo de especialistas ou através de revisão bibliográfica. Portanto, precisamos de métodos para extrair as covariáveis do CDM para as pessoas na coorte alvo e precisamos obter seus desfechos rotulados.

As covariáveis (também denominadas "preditores", "características" (*features*) ou "variáveis independentes") descrevem os pacientes. As covariáveis podem incluir idade, gênero, presença de condições específicas, procedimentos, etc. As covariáveis geralmente são construídas usando o pacote *FeatureExtraction*²¹, descrito em mais detalhes no "*The Book of OHDSI*"²². Para predição, só podemos usar dados antes (e na data em que a pessoa entra no grupo alvo (data de indexação).

Também precisamos obter o *status do desfecho* (também conhecido como "*labels*" ou "*classes*") de todos os pacientes durante o período de risco.

Resumindo:

Selecione o conjunto de dados que será usado para desenvolver o modelo:

- Verifique se a população alvo tem tamanho suficiente para o desenvolvimento do modelo;
- Verifique se há um número suficiente de desfechos na população-alvo durante o período de risco.

Selecione entre um conjunto de variáveis preditivas padronizadas (recomendamos selecionar todas as variáveis padronizadas):

- Pode escolher períodos de tempo diferentes para construir variáveis antes da data de início do período de risco;
- Pode escolher entre conceitos demográficos, condições, medicamentos, medições, procedimentos e observações;
- Pode agrupar conceitos com base em uma hierarquia no vocabulário.

²¹ *FeatureExtraction* <https://ohdsi.github.io/FeatureExtraction/>

²² *The book OHDSI*, capítulo 11 <https://ohdsi.github.io/TheBookOfOhdsi/PatientLevelPrediction.html>

No exemplo do COVER, observando o protocolo do estudo²³, temos no item 5 - Métodos, o delineamento do estudo (5.1 - *Study Design*), a descrição das fontes de dados (5.2 - *DataSources*), a definição das populações (5.3 - *Study Populations*) onde definimos: coortes alvo (5.3.1 - *Target Cohort(s)*), coortes de validação (5.3.2 - *Validation cohorts*) e coortes de desfecho (5.3.3 - *Outcome Cohorts*) junto com a definição do período de risco (5.3.4 *Time at Risk*).

Durante o *Study-A-Thon*, foi utilizado o Atlas²⁴ para armazenar as definições das coortes²⁵ e dos estudos²⁶ de predição como referência dos estudos desenvolvidos durante o evento. Como exemplo, temos o estudo do risco de internação²⁷.

3.3.2.1 Exemplo de extração de dados

A Tabela 3.7 mostra um exemplo da tabela COHORT (do modelo CDM). Nela identificamos duas coortes: o COHORT_DEFINITION_ID = 1, é a coorte alvo (por exemplo, “pessoas diagnosticadas com fibrilação atrial”) e o COHORT_DEFINITION_ID = 2, define a coorte de desfecho (por exemplo, "acidente vascular cerebral").

Temos assim pacientes, identificados pelo seu SUBJECT_ID, que pertencem apenas a uma das coortes (exemplo, o paciente com SUBJECT_ID=1) ou as duas (exemplo, o paciente com SUBJECT_ID=2).

Tabela 3.7 Exemplo de tabela COHORT

COHORT_DEFINITION_ID	SUBJECT_ID	COHORT_START_DATE
1	1	2000-06-01
1	2	2001-06-01
2	2	2001-07-01

A Tabela 3.8 fornece um exemplo da tabela CONDITION_OCCURRENCE (CDM). O ID de conceito 320128 refere-se ao diagnóstico de "Hipertensão essencial".

²³ Protocolo do COVER:

https://github.com/ohdsi-studies/Covid19PredictionStudies/blob/master/HospitalizationInSentHomePatients/docs/PLP_protocol_Q1%2BQ2_20200329.docx

²⁴ Atlas <https://atlas.ohdsi.org/#/home>

²⁵ Definição das coortes <https://atlas.ohdsi.org/#/cohortdefinitions>

²⁶ Parâmetros do estudo <https://atlas.ohdsi.org/#/prediction>

²⁷ Estudo do Risco de internação <https://atlas.ohdsi.org/#/prediction/3>

Tabela 3.8 Exemplo da tabela CONDITION_OCCURRENCE

PERSON_ID	CONDITION_CONCEPT_ID	CONDITION_START_DATE
1	320128	2000-10-01
2	320128	2001-05-01

Com base neste exemplo de dados, e assumindo que o período de risco é o ano seguinte à data de indexação (a data de início da coorte alvo), podemos construir as covariáveis e o status do desfecho. Uma covariável indicando “Hipertensão essencial no ano anterior” terá o valor 0 (não presente) para o paciente com ID = 1 (o diagnóstico ocorreu (2000-10-01) após a data de indexação (2000-06-01)) e o valor 1 (presente) para o paciente com ID = 2 (o diagnóstico ocorreu (2001-05-01) antes da data de indexação (2001-06-01)). Da mesma forma, o status do desfecho será 0 para o paciente com ID = 1 (essa pessoa não teve entrada na coorte de desfechos) e 1 para o paciente com ID = 2 (o desfecho ocorreu dentro de um ano após a data de indexação).

3.3.2.2 Negativo vs ausente

Os dados de saúde observacional raramente refletem se um valor é negativo ou ausente. No exemplo anterior, simplesmente observamos que a pessoa com ID 1 não apresentava hipertensão essencial antes da data de indexação. Isso pode ocorrer porque a condição não estava presente (negativa) naquele momento ou porque não estava registrada (ausente). É importante perceber que o algoritmo de aprendizado de máquina não pode distinguir entre o negativo e o ausente, e simplesmente avaliará o valor preditivo nos dados disponíveis.

3.3.3 Ajustando o modelo

Ao ajustar um modelo de predição, estamos tentando descobrir a associação entre as covariáveis e o status do desfecho observado a partir de exemplos rotulados. Suponha que tenhamos apenas duas covariáveis, pressão arterial sistólica (PAS) e diastólica (PAD), para que possamos representar cada paciente como um gráfico no espaço bidimensional, como mostra a Figura 3.9. Por exemplo, para um paciente específico com determinados valores de PAS e PAD, a forma (x ou o) do ponto de dados corresponde ao status do desfecho do mesmo (por exemplo, acidente vascular cerebral presente (x) ou ausente (o)).

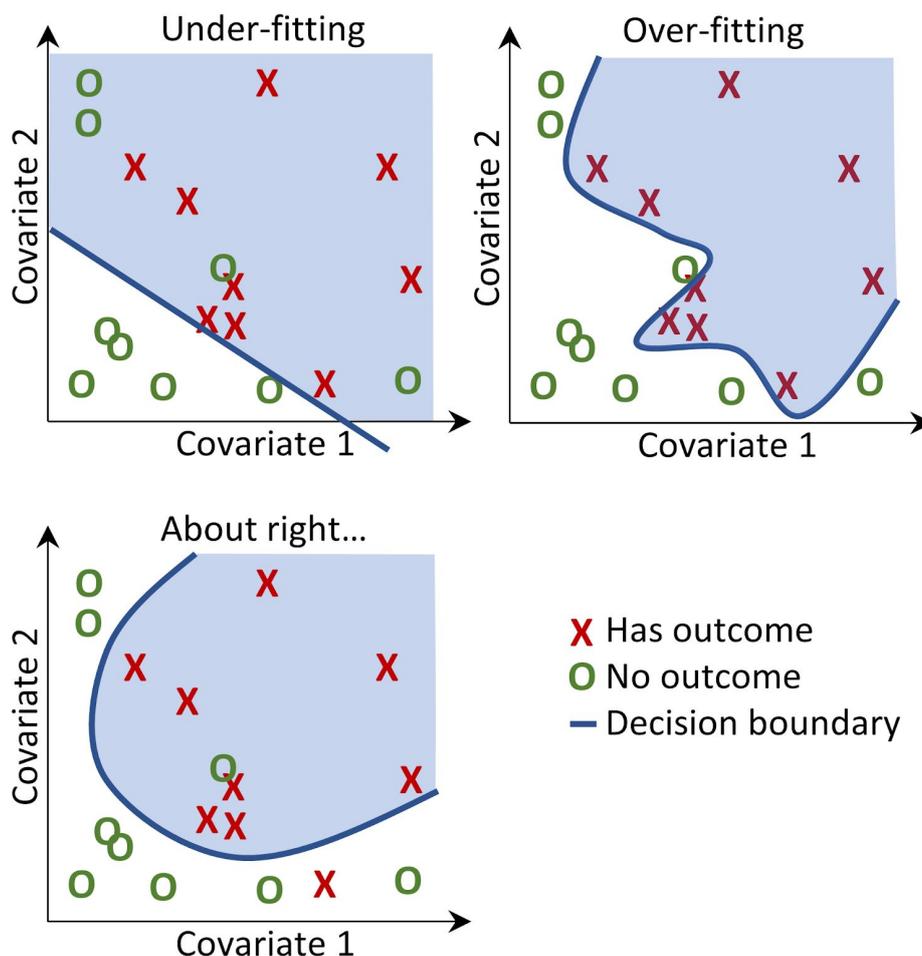


Figura 3.9 Limite de decisão

Na Figura 3.9 podemos ver três limites de decisão diferentes. Os limites são usados para inferir o status do desfecho de qualquer novo ponto de dados. Se um novo ponto de dados cair na área sombreada, o modelo irá prever “desfecho presente”, caso contrário, ele irá prever “desfecho ausente”. Idealmente, um limite de decisão deve particionar perfeitamente as duas classes. No entanto, existe o risco de modelos muito complexos se super ajustarem aos dados. Isso pode afetar negativamente a generalização do modelo para dados não vistos. Por exemplo, se os dados contiverem ruído, com pontos de dados incorretamente rotulados ou posicionados, não desejaríamos ajustar nosso modelo a esse ruído. Portanto, podemos preferir definir um limite de decisão que não discrimine perfeitamente nossos dados de treinamento, mas capture a complexidade "real".

Um modelo de aprendizado supervisionado tentará encontrar um limite de decisão que otimamente separe as duas classes de desfechos. Diferentes técnicas de aprendizado supervisionado levam a diferentes limites de decisão e geralmente existem hiperparâmetros que podem afetar a complexidade do limite de decisão.

Cada algoritmo de aprendizado supervisionado tem uma maneira diferente de aprender o limite de decisão e não é simples descobrir qual algoritmo funcionará melhor em seus dados. Como o teorema *No Free Lunch*²⁸ afirma, nenhum algoritmo sempre superará os outros em todos os problemas de predição. Portanto, recomendamos tentar vários algoritmos de aprendizado supervisionado com várias configurações de hiperparâmetros ao desenvolver modelos de predição no nível do paciente.

Os seguintes algoritmos estão disponíveis no pacote `PatientLevelPrediction`²⁹.

3.3.3.1 Regularized Logistic Regression

A regressão logística LASSO³⁰ (*least absolute shrinkage and selection operator*) pertence à família de modelos lineares generalizados, onde uma combinação linear das variáveis é aprendida e, finalmente, uma função logística mapeia a combinação linear para um valor entre 0 e 1. A regularização do LASSO acrescenta um custo baseado na complexidade do modelo para a função de ganho durante o treinamento do modelo. Esse custo é a soma dos valores absolutos da combinação linear dos coeficientes. O modelo executa automaticamente a seleção de recursos, minimizando esse custo. Utilizamos o pacote `Cyclops`³¹ (*Cyclic coordinate descent for logistic, Poisson and survival analysis*) para realizar regressão logística regularizada em larga escala. A Tabela 3.9 apresenta os hiperparâmetros para a regressão logística.

Tabela 3.9 Hiperparâmetros para Regularized Logistic Regression

<i>Parameter</i>	<i>Description</i>	<i>Typical values</i>
<i>Starting variance</i>	<i>The starting variance of the prior distribution.</i>	0.1

Observe que a variação é otimizada maximizando a probabilidade fora da amostra em uma validação cruzada; portanto, a variação inicial tem pouco impacto no desempenho do modelo resultante. No entanto, escolher uma variação inicial muito distante do valor ideal pode levar a um longo tempo de ajuste.

No exemplo do COVER, podemos ver no Atlas³² os parâmetros definidos para este tipo de modelo para o estudo de risco de hospitalização.

Neste estudo foram analisadas e selecionadas mais de 30.000 covariáveis.

²⁸ *No free lunch theorem* https://en.wikipedia.org/wiki/No_free_lunch_theorem

²⁹ *PatientLevelPrediction* <https://ohdsi.github.io/PatientLevelPrediction/>

³⁰ Lasso [https://en.wikipedia.org/wiki/Lasso_\(statistics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Lasso_(statistics))

³¹ Cyclops <https://ohdsi.github.io/Cyclops/>

³² Parâmetros do LASSO <https://atlas.ohdsi.org/#/prediction/3>

3.3.3.2 Gradient Boosting Machines

O *gradient boosting*³³ é uma técnica de aprendizado de máquina para problemas de regressão e classificação, que produz um modelo de predição na forma de um arranjo de modelos de predição fracos, geralmente árvores de decisão. Ela constrói o modelo em etapas, como outros métodos de *boosting*, e os generaliza, permitindo a otimização de uma função de perda diferenciável arbitrária. O *boosting* funciona adicionando iterativamente árvores de decisão, mas adiciona mais peso aos pontos de dados que são classificados incorretamente por árvores de decisão anteriores na função de custo ao treinar a próxima árvore. Usamos o *Extreme Gradient Boosting*, que é uma implementação eficiente da estrutura de *gradient boosting* implementada no pacote *xgboost* R³⁴ disponível no CRAN. A Tabela 3.10 apresenta os hiperparâmetros para *Gradient Boosting Machines*.

Tabela 3.10 Hiperparâmetros para Gradient Boosting Machines

<i>Parameter</i>	<i>Description</i>	<i>Typical values</i>
<i>earlyStopRound</i>	<i>Stopping after rounds without improvement</i>	25
<i>learningRate</i>	<i>The boosting learn rate</i>	0.005,0.01,0.1
<i>maxDepth</i>	<i>Max levels in a tree</i>	4,6,17
<i>minRows</i>	<i>Min data points in a node</i>	2
<i>ntrees</i>	<i>Number of trees</i>	100,1000

3.3.3.3 Random Forest

*Random forest*³⁵ é uma técnica para combinar múltiplas árvores de decisão em um arranjo que corrige o hábito de as árvores de decisão se ajustarem ao seu conjunto de treinamento. A idéia é reduzir a probabilidade de excesso de ajuste (*overfitting*) usando classificadores fracos e combinando-os em um classificador forte. A *Random forest* realiza isso treinando várias árvores de decisão, mas apenas usando um subconjunto das variáveis em cada árvore e o subconjunto de variáveis diferem entre as árvores. Utilizamos a implementação *sklearn* do pacote Random Forest em Python. A Tabela 3.11 apresenta os hiperparâmetros para *random forest*.

³³ *Gradient Boosting* https://en.wikipedia.org/wiki/Gradient_boosting

³⁴ *xgboost* R <https://cran.r-project.org/web/packages/xgboost/xgboost.pdf>

³⁵ *Random Forest* https://en.wikipedia.org/wiki/Random_forest

Tabela 3.11 Hiperparâmetros para *random forest*

<i>Parameter</i>	<i>Description</i>	<i>Typical values</i>
<i>maxDepth</i>	<i>Max levels in a tree</i>	4,10,17
<i>mtries</i>	<i>Number of features in each tree</i>	-1 = square root of total features,5,20
<i>ntrees</i>	<i>Number of trees</i>	500

3.3.3.4 *K-Nearest Neighbors*

*K-nearest neighbors*³⁶ (KNN) é um algoritmo que usa alguma métrica de distância para encontrar os K-pontos de dados mais próximos de um novo ponto de dados não rotulado. A predição dos novos pontos de dados é a classe mais prevalente dos pontos de dados rotulados K-mais próximos. Há uma limitação de compartilhamento do KNN, pois o modelo requer dados rotulados para realizar a predição de novos dados, e muitas vezes não é possível compartilhar esses dados entre sites de dados. Incluímos o pacote *BigKnn*³⁷ desenvolvido no OHDSI, que é um classificador KNN em larga escala. A Tabela 3.12 apresenta os hiperparâmetros para *K-nearest neighbors*.

Tabela 3.12 Hiperparâmetros para *K-nearest neighbors*

<i>Parameter</i>	<i>Description</i>	<i>Typical values</i>
k	<i>Number of neighbors</i>	1000

3.3.3.5 *Naive Bayes*

O algoritmo *Naive Bayes*³⁸ aplica o teorema de *Bayes* com a suposição simplista de independência condicional entre todos os pares de características, dado o valor da variável de classe. Com base na probabilidade de os dados pertencerem a uma classe e na distribuição anterior da classe, é obtida uma distribuição posterior. *Naive Bayes* não possui hiper-parâmetros.

3.3.3.6 *AdaBoost*

*AdaBoost*³⁹ é uma técnica de realimentação de impulso. O impulso funciona adicionando classificadores iterativamente, mas adiciona mais peso aos pontos de dados

³⁶ *K-nearest neighbors* https://en.wikipedia.org/wiki/K-nearest_neighbors_algorithm

³⁷ *An R package implementing a large scale k-nearest neighbor classifier using the Lucene search engine* <http://ohdsi.github.io/BigKnn/>

³⁸ *Naive Bayes* https://en.wikipedia.org/wiki/Naive_Bayes_classifier

³⁹ *AdaBoost* <https://en.wikipedia.org/wiki/AdaBoost>

que são classificados incorretamente por classificadores anteriores na função *cost* ao treinar o próximo classificador. Usamos a implementação *sklearn* do pacote *AdaBoostClassifier* em Python. A Tabela 3.13 apresenta os hiperparâmetros para *AdaBoost*.

Tabela 3.13 Hiperparâmetros para AdaBoost

<i>Parameter</i>	<i>Description</i>	<i>Typical values</i>
<i>nEstimators</i>	<i>The maximum number of estimators at which boosting is terminated</i>	4
<i>learningRate</i>	<i>Learning rate shrinks the contribution of each classifier by learning_rate. There is a trade-off between learningRate and nEstimators</i>	1

3.3.3.7 Decision Tree

*Decision Tree*⁴⁰ é um classificador que particiona o espaço variável usando testes individuais selecionados usando uma abordagem gananciosa. O objetivo é encontrar partições que tenham o maior ganho de informações para separar as classes. A árvore de decisão pode cair facilmente no excesso de ajuste (*overfitting*) ao permitir um grande número de partições (profundidade da árvore) e geralmente precisa de alguma regularização (por exemplo, poda ou especificação de hiperparâmetros que limitem a complexidade do modelo). Usamos a implementação *sklearn* do pacote *DecisionTreeClassifier* em Python.

3.3.3.8 Multilayer Perceptron

*Multilayer perceptrons*⁴¹ são redes neurais que contêm várias camadas de nós que pesam suas entradas usando uma função não linear. A primeira camada é a camada de entrada, a última camada é a camada de saída e, no meio, estão as camadas ocultas. As redes neurais geralmente são treinadas usando retropropagação, o que significa que a entrada de treinamento é propagada para frente através da rede para produzir uma saída, o erro entre a saída e o status do resultado é calculado e esse erro é propagado para trás através da rede para atualizar os pesos da função linear. A Tabela 3.14 apresenta os hiperparâmetros para *multilayer perceptrons*.

⁴⁰ *Decision Tree* https://en.wikipedia.org/wiki/Decision_tree

⁴¹ *Multilayer perceptrons* https://en.wikipedia.org/wiki/Multilayer_perceptron

Tabela 3.14 Hiperparâmetros para *multilayer perceptrons*

<i>Parameter</i>	<i>Description</i>	<i>Typical values</i>
<i>alpha</i>	<i>The l2 regularization</i>	0.00001
<i>size</i>	<i>The number of hidden nodes</i>	4

3.3.3.9 Deep Learning

*Deep Learning*⁴² é um ramo de aprendizado de máquina (*Machine Learning*) baseado em um conjunto de algoritmos que tentam modelar abstrações de alto nível de dados usando um grafo profundo com várias camadas de processamento, compostas de várias transformações lineares e não lineares. É semelhante ao *Multilayer perceptrons*, mas possui várias camadas ocultas que visam aprender representações latentes úteis para a predição. Em *BuildingPredictiveModels*⁴³ no pacote *PatientLevelPrediction*, descrevemos esses modelos e hiperparâmetros com mais detalhes.

3.3.3.10 Outros algoritmos

Outros algoritmos podem ser adicionados à estrutura do pacote *PatientLevelPrediction*. Os detalhes podem ser encontrados em “*Adding Custom Patient-Level Prediction Algorithms*”⁴⁴ no pacote *PatientLevelPrediction*⁴⁵.

3.3.4 Validação e métricas dos modelos preditivos

3.3.4.1 Tipos de avaliação

Podemos avaliar um modelo de predição medindo a concordância entre a predição do modelo e o status do desfecho observado, o que significa que precisamos de dados nos quais o status do desfecho é conhecido.

Para avaliação, devemos usar um conjunto de dados diferente do usado para desenvolver o modelo; caso contrário, corremos o risco de favorecer modelos com excesso de ajuste (*overfitting*) e que podem não ter um bom desempenho para novos pacientes.

⁴² *Deep Learning* https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_learning

⁴³ *BuildingPredictiveModels* <https://ohdsi.github.io/PatientLevelPrediction/articles/BuildingDeepLearningModels.html>

⁴⁴ <https://ohdsi.github.io/PatientLevelPrediction/articles/AddingCustomAlgorithms.html>

⁴⁵ *PatientLevelPrediction* <https://ohdsi.github.io/PatientLevelPrediction/>

Distinguimos entre:

- **Validação interna:** usando diferentes conjuntos de dados extraídos do mesmo banco de dados para desenvolver e avaliar o modelo;
- **Validação externa:** desenvolvendo o modelo em um banco de dados e avaliando em outro banco de dados.

Existem duas maneiras de executar a validação interna:

- Uma abordagem de **conjunto de validação** divide os dados rotulados em dois conjuntos independentes: um conjunto de treinamento e um conjunto de testes (o conjunto de análises). O conjunto de treinamento é usado para treinar o modelo e o conjunto de testes é usado para avaliá-lo. Podemos simplesmente dividir nossos pacientes aleatoriamente em um conjunto de treinamento e teste, ou podemos optar por:
 - Divida os dados com base no tempo (validação temporal), por exemplo, treinamento em dados antes de uma data específica e avaliação nos dados após essa data. Isso pode nos informar se nosso modelo se generaliza para diferentes períodos de tempo;
 - Divida os dados com base na localização geográfica (validação espacial).
- A **validação cruzada** é útil quando os dados são limitados. Os dados são divididos em **n** conjuntos de tamanhos iguais, onde **n** precisa ser pré-especificado (por exemplo, **n=10**). Para cada um desses conjuntos, um modelo é treinado em todos os dados, exceto os dados desse conjunto, e é usado para gerar previsões para o conjunto de espera. Dessa forma, todos os dados são usados uma vez para avaliar o algoritmo de construção do modelo. Na estrutura de predição no nível do paciente, usamos a validação cruzada para selecionar os hiperparâmetros ideais.

A validação externa visa avaliar o desempenho do modelo nos dados de outro banco de dados, ou seja, fora das configurações em que foi desenvolvido. Essa medida de transportabilidade do modelo é importante porque queremos aplicar nossos modelos não apenas no banco de dados em que ele foi treinado. Diferentes bancos de dados podem representar diferentes populações de pacientes, diferentes sistemas de saúde e diferentes processos de captura de dados. Acreditamos que a validação externa de modelos de predição em um grande conjunto de bancos de dados é uma etapa crucial na aceitação e implementação de modelos na prática clínica.

3.3.4.2 Métricas de desempenho

Limiar de predição:

Um modelo de predição atribui um valor entre 0 e 1 para cada paciente correspondendo ao risco do paciente ter o desfecho durante o período de risco. Um valor de 0 significa risco de 0%, um valor de 0,5 significa risco de 50% e um valor de 1 significa risco de 100%. Métricas comuns, como precisão, sensibilidade, especificidade e valor preditivo positivo, podem ser calculadas especificando primeiro um limiar que é usado para classificar os pacientes como tendo o desfecho ou não durante o período de risco. Por exemplo, dada a Tabela 3.15, se definirmos o limiar como 0,5. Os pacientes 1, 3, 7 e 10 tiveram um risco previsto maior ou igual ao limiar de 0,5, de modo que a previsão será de ter o desfecho. Todos os outros pacientes tiveram um risco previsto menor que 0,5, portanto, a previsão para eles será de não ter o desfecho.

Tabela 3.15 Exemplo de uso de um limite na probabilidade prevista

<i>Patient ID</i>	<i>Predicted risk</i>	<i>Predicted class at 0.5 threshold</i>	<i>Has outcome during time-at-risk</i>	<i>Type</i>
1	0.8	1	1	TP
2	0.1	0	0	TN
3	0.7	1	0	FP
4	0	0	0	TN
5	0.05	0	0	TN
6	0.1	0	0	TN
7	0.9	1	1	TP
8	0.2	0	1	FN
9	0.3	0	0	TN
10	0.5	1	0	FP

Se é previsto que um paciente tenha o desfecho, e isso acontece durante o período de risco, será definido como verdadeiro positivo (*true positive* - TP). Se se prevê que um paciente tenha o desfecho mas isso não acontece, é definido como falso positivo (*false positive* - PF). Se se prevê que um paciente não tenha o desfecho e isso acontece, é definido como verdadeiro negativo (*true negative* - TN). Finalmente, se se prevê que um paciente não vai ter o desfecho mas o desfecho acontece, será chamado de falso negativo (*false negative* - NF).

As seguintes métricas baseadas em limite podem ser calculadas:

- precisão: $(TP + TN) / (TP + TN + FP + FN)$
- sensibilidade: $TP / (TP + FN)$
- especificidade: $TN / (TN + FP)$
- valor preditivo positivo: $TP / (TP + FP)$

Observe que esses valores podem diminuir ou aumentar se o limiar for reduzido. A redução do limiar de um classificador pode aumentar o denominador, aumentando o número de resultados retornados. Se o limiar foi definido anteriormente muito alto, os novos resultados podem ser todos verdadeiros positivos, o que aumentará o valor preditivo positivo. Se o limiar anterior for quase certo ou muito baixo, abaixar ainda mais o limiar introduzirá falsos positivos, diminuindo o valor preditivo positivo. Para sensibilidade, o denominador não depende do limiar do classificador ($TP + FN$ é uma constante). Isso significa que a redução do limiar do classificador pode aumentar a sensibilidade, aumentando o número de resultados positivos verdadeiros. Também é possível que a redução do limiar mantenha a sensibilidade inalterada, enquanto o valor preditivo positivo flutua.

Discriminação:

É a capacidade de atribuir um risco maior aos pacientes que experimentaram o desfecho durante o período de risco. A curva ROC (*Receiver Operating Characteristics*) é criada plotando no eixo **x**, o valor $x = 1 - \text{especificidade}$, e no eixo **y**, o valor $y = \text{sensibilidade}$, para todos os limiares possíveis. Um exemplo de gráfico ROC é apresentado na Figura 3.8.

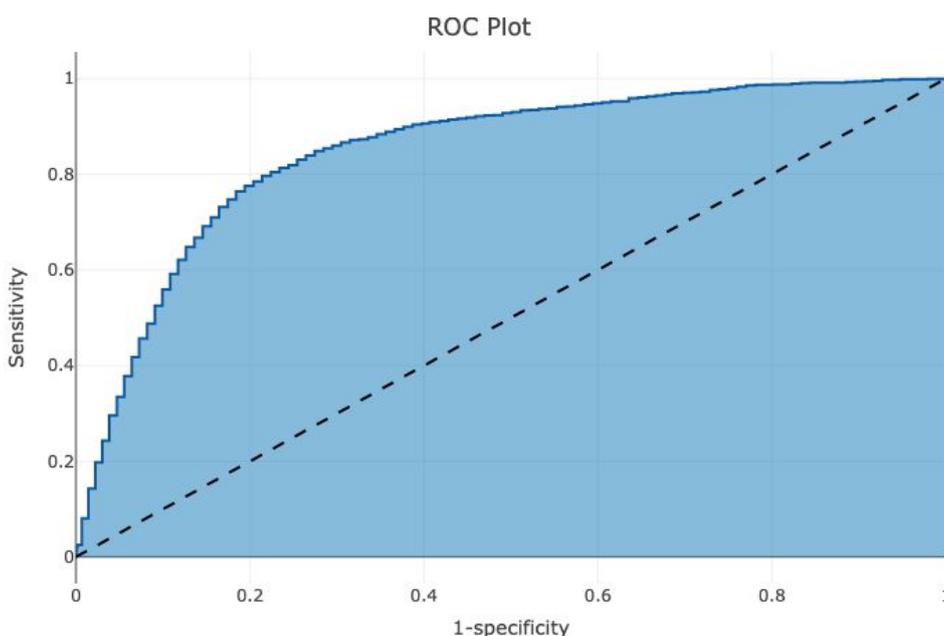


Figura 3.8 Curva ROC

A área sob a curva de característica operacional do receptor (AUC) fornece uma medida geral de discriminação em que um valor de 0,5 corresponde à atribuição aleatória do risco e um valor de 1 significa discriminação perfeita. A maioria dos modelos de predição publicados obtém AUCs entre 0,6-0,8.

A AUC fornece uma maneira de determinar quão diferentes são as distribuições de risco previstas entre os pacientes que experimentam o resultado durante o período de risco e aqueles que não. Se a AUC for alta, as distribuições serão bem separadas, enquanto que quando houver muita sobreposição, a AUC estará mais próxima de 0,5, como mostra a Figura 3.9. Se as duas classes tiverem distribuições semelhantes de risco previsto, o ROC estará próximo da diagonal, com a AUC próxima a 0,5.

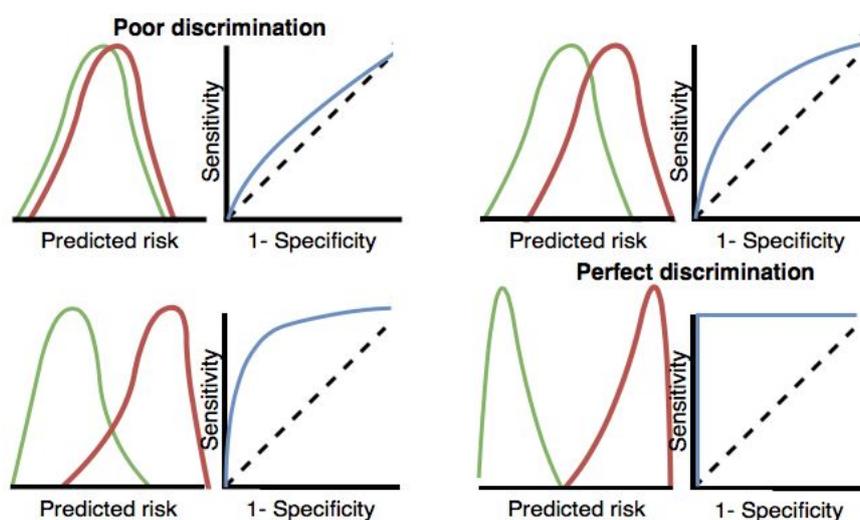


Figura 3.9 Como os gráficos ROC estão relacionados à discriminação

Para desfechos pouco frequentes (casos raros), mesmo um modelo com uma AUC alta pode não ser prático, porque para cada positivo acima de um dado limiar também pode haver muitos negativos (ou seja, o valor preditivo positivo será baixo). Dependendo da gravidade do desfecho e do custo (risco à saúde e/ou monetário) de alguma intervenção, uma alta taxa de falsos positivos pode ser indesejada. Para casos raros, recomenda-se outra medida conhecida como a área sob a curva de precisão-sensibilidade (AUPRC - *area under precision-recall curve*). O AUPRC é a área abaixo da linha gerada, plotando a sensibilidade no eixo x (também conhecida como recall) e o valor preditivo positivo (também conhecido como precisão) no eixo y .

Calibração:

Calibração é a capacidade do modelo de atribuir o risco correto. Por exemplo, se o modelo atribuiu a 100 pacientes um risco de 10%, 10 deles deveriam experimentar o resultado durante o período de risco. Se o modelo designou 100 pacientes com um risco

de 80%, então 80 dos pacientes deveriam experimentar o resultado durante o período de risco. A calibração é geralmente calculada dividindo os pacientes em decis (divisão em 10 partes iguais) do risco previsto e em cada grupo calculando o risco médio previsto e a fração dos pacientes que experimentaram o desfecho durante o período de risco. Em seguida, plotamos esses dez pontos (risco previsto no eixo y e risco observado no eixo x) e verificamos se eles caem na linha $x = y$, indicando que o modelo está bem calibrado. Um exemplo de gráfico de calibração é apresentado mais adiante na Figura 3.10. Também ajustamos um modelo linear usando os pontos para calcular a interceptação (que deve ser próxima de zero) e o gradiente (que deve ser próximo de 1). Se o gradiente for maior que 1, o modelo está atribuindo um risco maior que o risco real e se o gradiente for menor que 1, o modelo está atribuindo um risco menor que o risco real. Observe que implementamos *Smooth Calibration Curves*⁴⁶ no pacote R para capturar melhor a relação não linear entre o risco previsto e o observado.

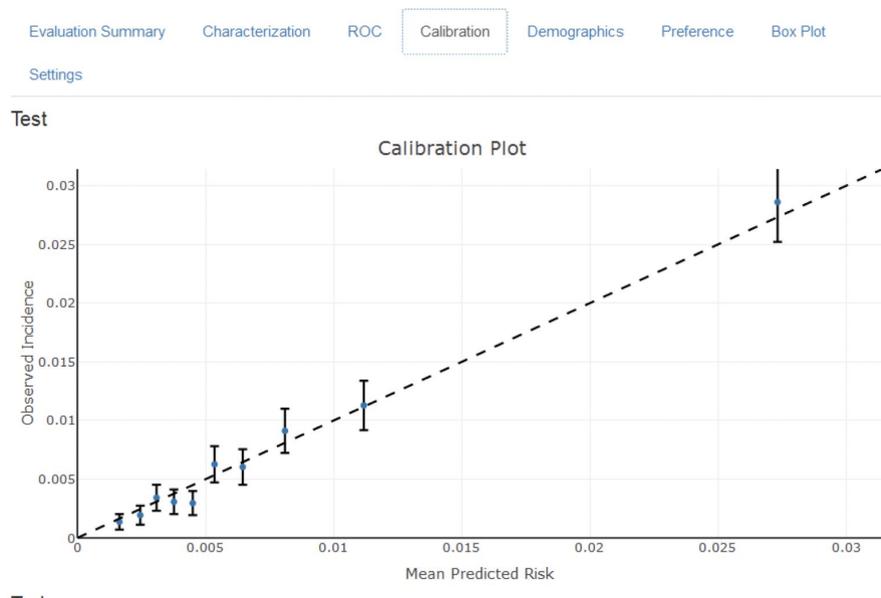


Figura 3.10 Gráfico de calibração

3.3.5 Study-A-Thon PLP - Resultados do COVER

No exemplo do COVER⁴⁷, a aplicação shiny nos permite visualizar os diversos gráficos previamente comentados. Para isso, clicamos no item do menu: *Performance* e visualizamos três abas: Sumário (*Summary*), Discriminação (*Discrimination*) e Calibração (*Calibration*) como mostra a Figura 3.11.

⁴⁶ <https://ohdsi.github.io/PatientLevelPrediction/reference/plotSmoothCalibration.html>

⁴⁷ Visualizando os resultados do estudo COVER <http://evidence.ohdsi.org:3838/Covid19CoverPrediction/>

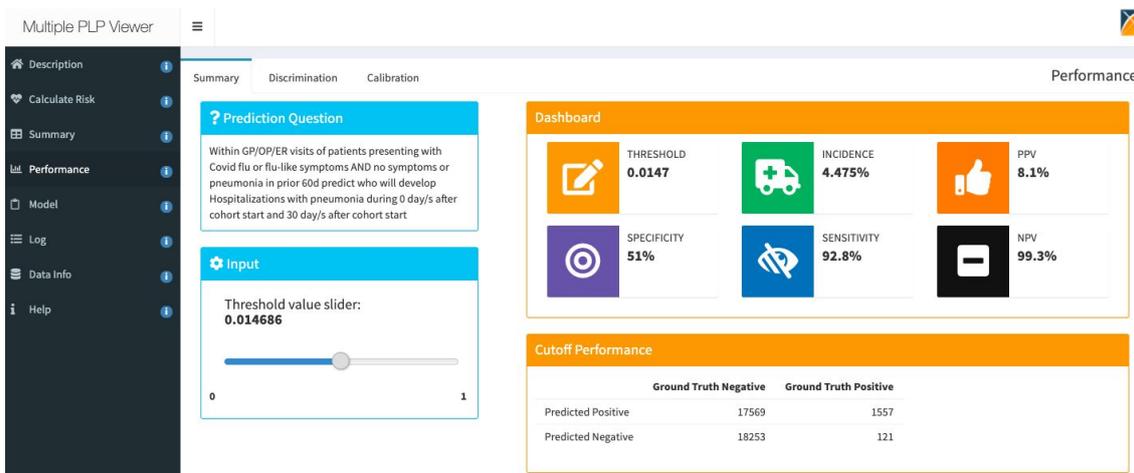


Figura 3.11 Visualização dos resultados do estudo COVER: Performance

Na aba de Sumário, podemos ver os valores principais: Limiar (*threshold*), Incidência, Valor Preditivo Positivo (PPV), Especificidade, Sensibilidade e Valor Preditivo Negativo (NPV) e um controle horizontal que nos permite controlar o valor do limiar e verificar as alterações dos valores principais.

Em particular, no canto inferior direito, temos o quadro do Desempenho do Limiar (*Cutoff Performance*). Nele estão representados como colunas, os valores dos negativos (*Ground Truth Negative*), que são a soma dos valores previstos positivos e negativos (Falsos Positivos + Verdadeiros Negativos), e dos positivos (*Ground Truth Positive*) que são a soma dos Verdadeiros Positivos e dos Falsos Positivos.

Ao alterar o valor do limiar, podemos observar como muda o desempenho e os valores principais.

Na aba de Discriminação (*Discrimination*), apresentada nas Figura 3.12 e Figura 3.13, podemos ver os diversos gráficos de Curva ROC, Precisão-Sensibilidade (PR *Precision-Recall*), Distribuição de Score de Predição e de Preferência e outros.

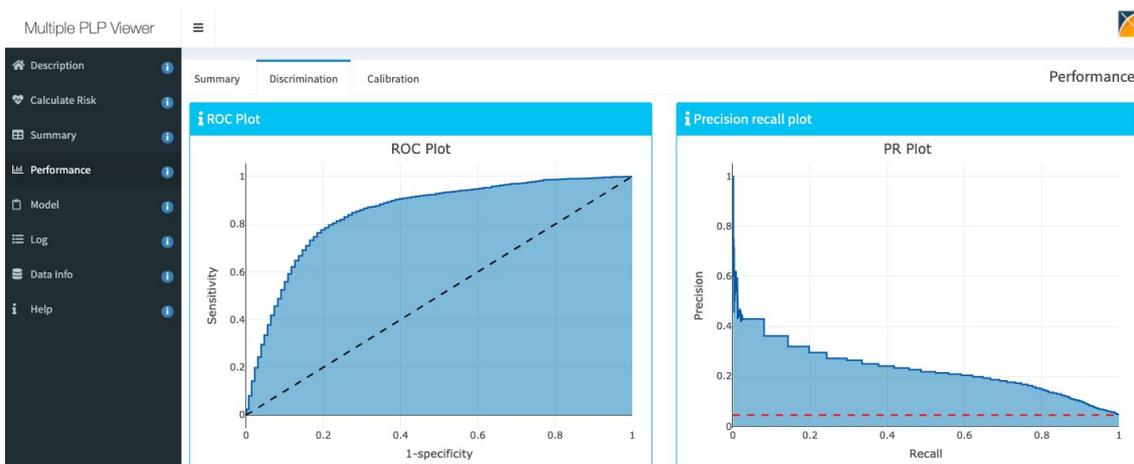


Figura 3.12 Gráficos de Curva ROC, Precisão-Sensibilidade (PR *Precision-Recall*)

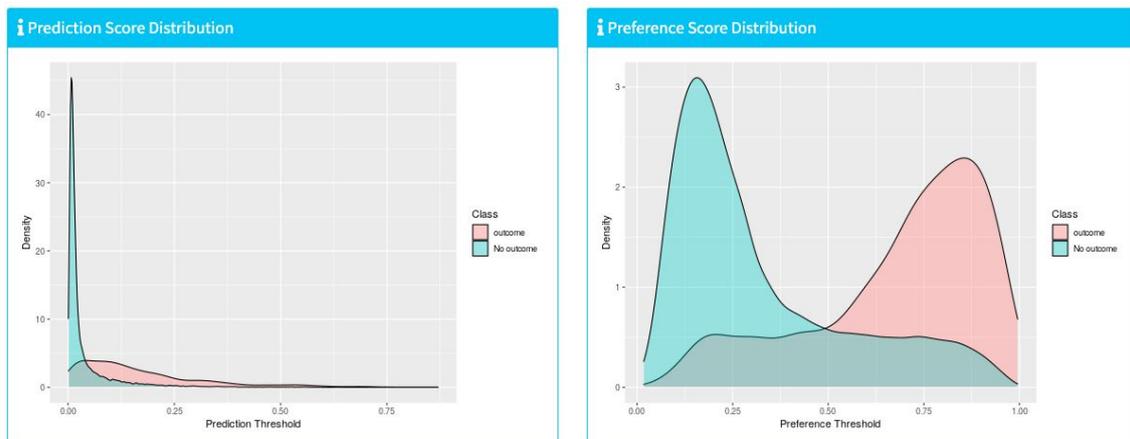


Figura 3.13 Gráficos de Curva ROC, Distribuição de Score de Predição e Preferência

Por último, na aba Calibração, Figura 3.14, podemos ver as curvas de calibração.

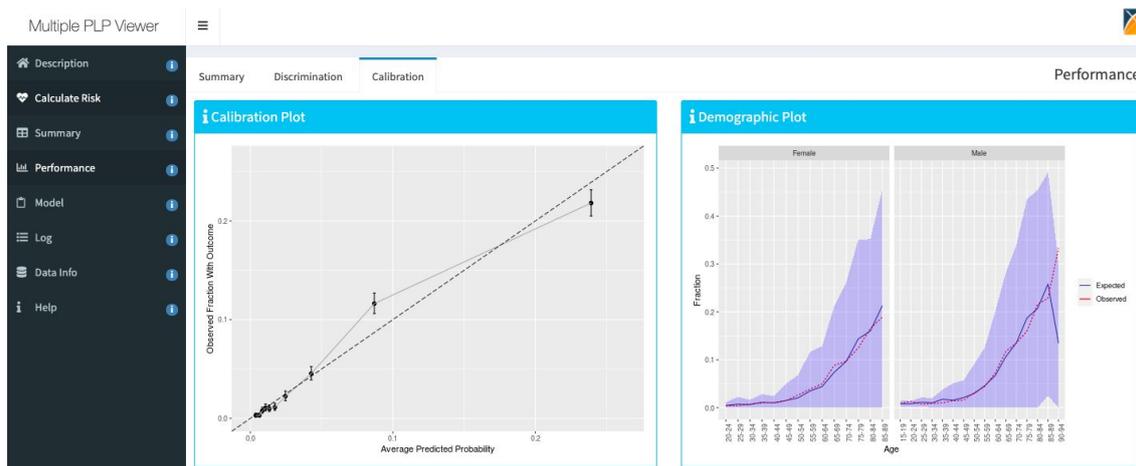


Figura 3.14 Gráficos de Curva ROC, curvas de calibração

3.4. Considerações finais e conclusões

A iniciativa OHDSI é um marco na definição e implementação de estudos observacionais trazendo o conceito de ciência aberta para a realidade da prática clínica através da padronização de um modelo de dados, na definição de fenótipos, coortes, estudos, algoritmos e métodos.

O evento do *Study-A-Thon* a respeito da COVID-19, mostrou esta efetividade numa hora crítica em que foi necessária uma resposta rápida para uma pandemia, mostrando de forma prática os novos caminhos da pesquisa observacional e produzindo evidência clínica relevante numa agilidade antes impensável.

As ferramentas OHDSI ajudam a melhor compreender as nuances dos estudos de efeitos populacionais e dos estudos preditivos além de compilar e deixar disponíveis todas os dados e processos que resultaram nos estudos publicados, desenhando um caminho de aprendizado que auxiliará as próximas gerações de epidemiologistas.

3.5. Referências bibliográfica

- Abrahão MTF, Nobre MRC, Madril PJ. O estado da arte em pesquisa observacional de dados de saúde: A iniciativa OHDSI. *Soc Bras Comput* [Internet]. 2019 Jun 11 [cited 2020 Jun 3]; Available from: <https://sol.sbc.org.br/livros/index.php/sbc/catalog/view/29/98/248-1>
- Austin PC. Optimal caliper widths for propensity-score matching when estimating differences in means and differences in proportions in observational studies. *Pharm Stat* [Internet]. 2011 Mar [cited 2020 Jun 8];10(2):150–61. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3120982/>
- Burn E, You SC, Sena A, Kostka K, Abedtash H, Abrahao MTF, et al. An international characterisation of patients hospitalised with COVID-19 and a comparison with those previously hospitalised with influenza. *medRxiv* [Internet]. 2020 Apr 25 [cited 2020 May 29];2020.04.22.20074336. Available from: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.22.20074336v1>
- Collins H, Calvo S, Greenberg K, Forman Neall L, Morrison S. Information Needs in the Precision Medicine Era: How Genetics Home Reference Can Help. *Interact J Med Res* [Internet]. 2016 Apr 27 [cited 2020 Jun 3];5(2). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4917728/>
- Farrington CP, Anaya-Izquierdo K, Whitaker HJ, Hocine MN, Douglas I, Smeeth L. Self-Controlled Case Series Analysis With Event-Dependent Observation Periods. *J Am Stat Assoc* [Internet]. 2011 Jun 1 [cited 2020 Jun 4];106(494):417–26. Available from: <https://doi.org/10.1198/jasa.2011.ap10108>
- Guan W, Ni Z, Hu Y, Liang W, Ou C, He J, et al. Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China. *N Engl J Med* [Internet]. 2020 Apr 30 [cited 2020 Jun 3];382(18):1708–20. Available from: <http://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMoa2002032>
- Hernán MA, Hernández-Díaz S, Werler MM, Mitchell AA. Causal knowledge as a

- prerequisite for confounding evaluation: an application to birth defects epidemiology. *Am J Epidemiol*. 2002 Jan 15;155(2):176–84.
- Hernán MA, Robins JM. Using Big Data to Emulate a Target Trial When a Randomized Trial Is Not Available. *Am J Epidemiol* [Internet]. 2016 Apr 15 [cited 2020 Jun 3];183(8):758–64. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4832051/>
- Justina LAD, Caluzi JJ, Meghioratti FA. A herança genotípica proposta por Wilhelm Ludwig Johannsen. 2010;5(1):17.
- Lane JCE, Weaver J, Kostka K, Duarte-Salles T, Abrahao MTF, Alghoul H, et al. Safety of hydroxychloroquine, alone and in combination with azithromycin, in light of rapid wide-spread use for COVID-19: a multinational, network cohort and self-controlled case series study. *medRxiv* [Internet]. 2020 Apr 10 [cited 2020 May 29];2020.04.08.20054551. Available from: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.08.20054551v1>
- Li Q, Guan X, Wu P, Wang X, Zhou L, Tong Y, et al. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus–Infected Pneumonia. *N Engl J Med* [Internet]. 2020 Mar 26 [cited 2020 Jun 3];382(13):1199–207. Available from: <http://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMoa2001316>
- Rassen JA, Shelat AA, Myers J, Glynn RJ, Rothman KJ, Schneeweiss S. One-to-many propensity score matching in cohort studies. *Pharmacoepidemiol Drug Saf*. 2012 May;21 Suppl 2:69–80.
- Reps JM, Schuemie MJ, Suchard MA, Ryan PB, Rijnbeek PR. Design and implementation of a standardized framework to generate and evaluate patient-level prediction models using observational healthcare data. *J Am Med Inform Assoc* [Internet]. 2018 Aug 1 [cited 2020 Jun 5];25(8):969–75. Available from: <https://academic.oup.com/jamia/article/25/8/969/4989437>
- Rosenbaum PR, Rubin DB. The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. 1983;15.
- Ryan PB, Schuemie MJ, Madigan D. Empirical performance of a self-controlled cohort method: lessons for developing a risk identification and analysis system. *Drug Saf*. 2013 Oct;36 Suppl 1:S95-106.

Schneeweiss S. Automated data-adaptive analytics for electronic healthcare data to study causal treatment effects. *Clin Epidemiol* [Internet]. 2018 Jul 6 [cited 2020 Jun 4];10:771–88. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6039060/>

Suchard MA, Simpson SE, Zorych I, Ryan P, Madigan D. Massive Parallelization of Serial Inference Algorithms for a Complex Generalized Linear Model. *ACM Trans Model Comput Simul* [Internet]. 2013 Jan 1 [cited 2020 Jun 4];23(1):10:1–10:17. Available from: <https://doi.org/10.1145/2414416.2414791>

Suissa S. The case-time-control design. *Epidemiol Camb Mass*. 1995 May;6(3):248–53.

Tian Y, Schuemie MJ, Suchard MA. Evaluating large-scale propensity score performance through real-world and synthetic data experiments. *Int J Epidemiol*. 2018 01;47(6):2005–14.

Walker AM, Patrick AR, Lauer MS, Hornbrook MC, Marin MG, Platt R, et al. A tool for assessing the feasibility of comparative effectiveness research. In 2013.

Whitaker HJ, Farrington CP, Spiessens B, Musonda P. Tutorial in biostatistics: the self-controlled case series method. *Stat Med*. 2006 May 30;25(10):1768–97.

Williams RD, Markus AF, Yang C, Salles TD, Falconer T, Jonnagaddala J, et al. Seek COVER: Development and validation of a personalized risk calculator for COVID-19 outcomes in an international network. *medRxiv* [Internet]. 2020 May 27 [cited 2020 May 29];2020.05.26.20112649. Available from: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.05.26.20112649v1>

Zhou P, Yang X-L, Wang X-G, Hu B, Zhang L, Zhang W, et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature* [Internet]. 2020 Mar [cited 2020 Jun 3];579(7798):270–3. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2012-7>

OHDSI. *The book of OHDSI* <https://github.com/OHDSI/TheBookOfOhdsi> Este livro está licenciado sob a licença *Creative Commons Zero v1.0 Universal*.

Capítulo

4

Aplicações em Redes de Sensores na Área da Saúde e Gerenciamento de Dados Médicos: Tecnologias em Ascensão

Allan C. N. dos Santos, Ricardo M. Firmino, Julio C. H. Soto, Dianne S. V. de Medeiros, Diogo M. F. Mattos, Célio V. N. de Albuquerque, Flávio Seixas, Débora C. Muchaluat-Saade e Natalia C. Fernandes (UFF)

Abstract

Sensor networks have become increasingly popular in healthcare due to the widespread use of cell phones and accessories capable of capturing medical data and the growth of remote patient monitoring initiatives. Medical data captured by sensors are sensitive and require the guarantee of authenticity, confidentiality, and privacy in the context of the Brazilian regulations, according to “Lei Geral de Proteção de Dados” (LGPD). Besides, the management and guarantee of medical data interoperability depend on the use of syntax and semantics following international standards. Therefore, the cloud computing and the Internet of Things are enabling tools for digital technologies to improve patient care. In this chapter, we present and discuss sensor networks’ main concepts and the collection, processing, and protection of data from sensitive medical data.

Resumo

As redes de sensores têm se tornado cada vez mais populares na área de saúde devido à ampla disseminação dos celulares e acessórios aptos a captar dados médicos e ao crescimento de iniciativas de monitoramento remoto de pacientes. Dados médicos são considerados dados sensíveis e como tal requerem a garantia de autenticidade, confidencialidade e privacidade no contexto da Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD). Paralelamente, a gerência e garantia de interoperabilidade de dados médicos dependem do uso de sintaxe e semânticas de acordo com padronizações internacionais. Assim, a utilização da computação em nuvem e a Internet das Coisas são facilitadores para o desenvolvimento de tecnologias digitais para melhorar o atendimento ao paciente. Considerando esse cenário, este capítulo apresenta e discute os principais conceitos relacionados às redes de sensores e à coleta, tratamento e proteção de dados de médicos sensíveis.

4.1. Introdução

A recente pandemia de COVID-19 mudou a forma como o mundo vê as relações interpessoais e o provimento de atendimento em saúde. Dada a necessidade de distanciamento social, atividades de telessaúde foram repensadas, mudando a perspectiva da comunidade médica e da sociedade como um todo sobre o tema. Nesse sentido, ganha cada vez mais importância a capacidade de se monitorar pacientes à distância e também acessar e gerenciar dados médicos.

As redes inteligentes de sensores fornecem uma tecnologia de monitoramento da saúde de forma ininterrupta. Com o advento das redes móveis e um acesso mais amplo da sociedade a redes de banda larga, tornou-se possível fornecer meios de comunicação de alta disponibilidade e alta taxa de transferência. Dentro desse cenário, o número de dispositivos conectados à Internet vem crescendo aceleradamente em função da popularização de celulares inteligentes (*smartphones*) e da diversidade de dispositivos de Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT). Estima-se que, ao final de 2020, o número de objetos conectados à Internet ultrapasse 50 bilhões [Mattos et al., 2018] e os dispositivos portáteis de saúde estão entre os de crescimento mais rápido nesse mercado.

O uso de redes de sensores para o monitoramento de pacientes e transferência de dados médicos já é uma realidade [Matthew Pike e Brusica, 2019]. As aplicações de redes de sensores na área da saúde são cada vez mais amplas, como no monitoramento de sinais vitais, na atenção a acidentes, como quedas de idosos em suas residências, e ainda em aplicações médicas específicas para acompanhamento de doenças. De fato, hoje em dia, até mesmo a posição geográfica é vista como um dado de saúde, em iniciativas que visam, por exemplo, detectar as probabilidades de contágio em diferentes regiões, de acordo com os locais onde pessoas infectadas transitaram.

Este capítulo tem como objetivo discutir aplicações de destaque utilizando redes de sensores na área da saúde e o gerenciamento dos dados coletados. Através da descrição das novas tecnologias em redes e gerenciamento de dados médicos, são discutidos aspectos técnicos e sociais relacionados ao uso da tecnologia no monitoramento diário e no acompanhamento de doenças.

Entre as redes de sensores utilizadas para monitorar a saúde humana, observa-se um uso mais amplo das redes de sensores sem fio (*Wireless Sensor Networks* - WSN). Essas redes são caracterizadas como um conjunto de sensores especializados distribuídos espacialmente que simultaneamente são capazes de monitorar, registrar e comunicar dados representando medições de variáveis ambientais ou de um determinado sistema. Nesse sentido, cabe destaque às redes corporais sem fio (*Wireless Body Area Networks* - WBAN), que permitem a comunicação entre diversos sensores e atuadores corporais. Este capítulo tem como objetivo apresentar o panorama atual dessas tecnologias, bem como os seus desafios.

Entre esses desafios, a segurança das redes de comunicação e da informação ganha grande destaque. Para manipular qualquer tipo de dado médico, há que se garantir a autenticidade, confidencialidade e privacidade na gestão do acesso à informação. Esse é um tema de bastante importância, em especial devido à Lei Geral de Proteção de Dados

(LGPD)¹. De fato, qualquer tipo de dado de saúde é considerado como sensível, por expor o indivíduo em sua privacidade.

Ainda com relação ao tratamento da informação, outra questão relevante na gerência e garantia de interoperabilidade de dados médicos é o uso de sintaxe e semânticas de acordo com padronizações internacionais. A coleta de dados de saúde pode se dar de inúmeras formas, mas o armazenamento necessita seguir padrões comuns, para que os dados possam ser aproveitados e trocados entre diferentes sistemas. Sem esse tipo de padronização, há até mesmo o risco de interpretação incorreta de dados coletados.

Outra questão importante, também discutida neste capítulo, diz respeito à utilização da computação em nuvem para armazenar o alto volume de dados que podem ser coletados [Badidi e Moumane, 2019]. Essa grande massa de dados, se devidamente processada, pode ser aproveitada para melhorar o atendimento ao paciente, otimizar processos e ajudar as partes interessadas e os aplicativos do setor de saúde a tomar decisões mais rápidas e precisas.

Este capítulo está organizado como descrito a seguir. Primeiramente, na Seção 4.2, são apresentados os principais conceitos relacionados às redes de sensores. Na Seção 4.3, são apresentadas algumas utilizações das redes de sensores para monitoramento de dados de saúde. São apresentados exemplos relacionados ao monitoramento de quedas, do ambiente, de dados gerados por *smart devices*, de grandes massas na disseminação de doenças, entre outros. Na Seção 4.4, são apresentados os principais desafios de segurança no tratamento de dados coletados, considerando questões como a transmissão e gerência de dados, além dos impactos advindos da LGPD. Na Seção 4.5, são discutidas as aplicações para armazenamento de dados em nuvem. São apresentados conceitos básicos sobre a tecnologia de computação em nuvem, além da utilização de objetos inteligentes no contexto da saúde. Na sequência, na Seção 4.6, são discutidas questões relacionadas à interoperabilidade entre sistemas e ao processamento em fluxo. São apresentados também os principais padrões para dados médicos internacionais. Por fim, o minicurso é concluído na Seção 4.7, aonde são apresentados alguns comentários finais sobre o tema.

4.2. Redes de Sensores na Área da Saúde

A transmissão frequente de informações sensoriais ocorre utilizando dispositivos de baixo custo e cada vez menores, capazes de detectar o mundo físico e comunicar esses dados através de redes sem fio. Torna-se cada vez mais evidente que as redes de sensores, em breve, fecharão a lacuna entre o mundo virtual e o real [Gama e Gaber, 2007]. Com redes de sensores e atuadores, pode-se expandir o monitoramento ambiental, aumentar a segurança de edifícios, melhorar a precisão de operações militares, fornecer melhores cuidados de saúde e oferecer ajuda bem direcionada, entre muitas outras aplicações. De muitas maneiras, as redes de sensores são significativamente diferentes das redes sem fio clássicas e redes móveis. A diferença reside no fato de que o desenho de uma rede de sensores é fortemente orientado por sua aplicação específica. Uma outra diferença é que os nós sensores são altamente limitados em termos de consumo de energia, complexidade e custo de produção. Além disso, o objetivo comum dos nós leva a reunir e transmitir in-

¹Lei nº 13.709/2018, acessível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13709.htm.

formação onde a cooperação pode ser utilizada como fonte de eficiência. Estas particularidades das redes de sensores levam a solução de problemas de pesquisa muito relevantes e desafiadores.

4.2.1. Conceito de Redes de Sensores sem Fio

Uma rede de sensores, em uma visão mais ampla, consiste na interligação de estações, usualmente muito pequenas, capazes de monitorar um ou mais tipos de dados e transmiti-los. Essas estações são chamadas de nós sensores. A principal função dos nós sensores é monitorar, registrar e notificar uma condição específica em vários locais para outras estações através de uma infraestrutura de comunicação. A condição específica de um local se traduz em parâmetros, tais como temperatura, umidade, pressão, direção do vento, velocidade, intensidade da iluminação, localização, funções vitais do corpo, como respiração, frequência cardíaca, arritmias, pressão sanguínea arterial, nível de açúcar no sangue, etc.

O avanço na área de microprocessadores, novos materiais de sensoriamento, micro-sistemas eletro-mecânicos e comunicação sem fio tem estimulado o desenvolvimento e uso de sensores inteligentes em áreas ligadas a processos físicos, químicos, biológicos, dentre outros. Normalmente, o termo *sensor inteligente* é aplicado ao chip que contém um ou mais sensores com capacidade de processamento de sinais e comunicação de dados. A tendência é produzir esses sensores em larga escala, diminuindo o seu custo, e investir ainda mais no desenvolvimento tecnológico desses dispositivos, levando a novas melhorias e capacidades.

Os aplicativos para redes de sensores sem fio podem ser variados, geralmente envolvendo algum tipo de parâmetro monitoramento [Montoya et al., 2010]. Nós sensores podem ser vistos como computadores pequenos, extremamente básicos em termos de suas interfaces e de seus componentes. Embora esses dispositivos possuam capacidade restrita, eles apresentam recursos substanciais de processamento quando estão em funcionamento. Cada nó em uma rede de sensores é normalmente equipado com um transceptor de rádio ou outro dispositivo de comunicação sem fio, um pequeno microcontrolador e uma fonte de energia, geralmente uma bateria. Assim, usualmente, as redes de sensores sem fio estão sujeitas a restrições de energia. Um nó sensor pode variar de tamanho de acordo com sua aplicação. Uma rede de sensores sem fio normalmente constitui uma rede ad-hoc sem fio, o que significa que cada sensor suporta um algoritmo de roteamento multi-salto. Normalmente, toda a rede é gerenciada por um controlador, também chamado de Nó Coordenador [Montoya et al., 2010].

Existem vários protótipos de redes de sensores diferentes disponíveis para uso. O estado da arte está bem representado por uma classe de nós sensores multiuso chamados *notes*, que foram originalmente desenvolvidos na Universidade de Califórnia, Berkeley, e estão sendo implantados e testados por vários grupos de pesquisa e empresas iniciantes. Sensores típicos, como MICA, MICAZ ou TELOS-B, consistem em de uma combinação de módulos diferentes, particularmente um cartão de aquisição de dados, um *note* processador (512 Kb), uma interface de rádio (300 - 2500 MHz) e bateria (similar a pilha AAA). Outro exemplo de nós sensores, ainda em estado de protótipo, foi desenvolvido pela Universidade Livre de Berlim, sendo chamados de *Embedded Sensor Board* (ESB). Esses

sensores são semelhantes aos MICA, mas oferecem um consumo de energia mais baixo. No modo inativo e no modo ativo, um ESB requer $8\mu A$ e cerca de $10mA$, com taxas de transmissão médias de 0.8 bytes por segundo, o que resulta em vida útil da rede de 5 a 17 anos. Na maioria das implementações atualmente disponíveis, os nós sensores são controlados por sistemas operacionais baseados em módulos, como o TinyOS e linguagens de programação como nesC ou TinyScript/Maté [Gama e Gaber, 2007]. Para gestão dos sistemas dos sensores, existem plataformas para Mica Motes², Tmote Sky³, BTnodes⁴, Waspnotes⁵, Sun Spots⁶, G-Nodes⁷, para motes da série TIP⁸, entre outras [Montoya et al., 2010].

No início do desenvolvimento da tecnologia, os principais desafios enfrentados pelas redes de sensores sem fio eram restrições de hardware e recursos energéticos limitados. Agora, os principais problemas estão relacionados à capacidade de capturar, processar, armazenar, sincronizar e gerenciar vários fluxos de dados de redes de sensores sem fio grandes e dinâmicas, além de poder responder em tempo real quando necessário. Segundo estimativas, a quantidade total de dados dobra a cada dois anos, ou até mais rapidamente [Pike et al., 2019]. Ou seja, os sistemas baseados em sensores geram enormes quantidades de dados, que estão crescendo exponencialmente. Enquanto a análise de dados tradicional emprega principalmente estatísticas, o volume de dados gerado pelas redes de sensores, que pode ser considerado em algumas aplicações como *Big Data*, geralmente requerem o uso de aprendizado de máquina, modelagem matemática e inteligência artificial. Nesse sentido, esses dados usualmente requerem um pré-processamento de dados em tempo real para reduzi-los a um tamanho viável, sincronização de diferentes fluxos de dados que permitem a extração de informações críticas, novos algoritmos para respostas em tempo real, e gestão do conhecimento e sua implantação em tempo real [Matthew Pike e Brusica, 2019].

Pesquisadores estão trabalhando para tornar possível a ampla visão da saúde inteligente. A importância de integrar tecnologias como radiofrequência (RFID), Bluetooth, ZigBee e sensores, juntamente com redes sem fio de grande escala para fornecer aplicativos sensíveis ao contexto é cada vez mais clara. Além de fornecer a difusão de tecnologias de rede sem fio existentes e relativamente mais maduras, o desenvolvimento de dispositivos pequenos e discretos permite não apenas coletar informações precisas, mas também a entrega confiável de dados. Além disso, é importante a combinação das tecnologias dos sensores, dos pacientes e das pessoas envolvidas para formar o ciclo geral de um sistema de saúde. Finalmente, há também um esforço significativo de pesquisa no desenvolvimento de sensores sem fio minúsculos, de preferência integrados a tecidos ou outras substâncias que possam ser implantados no corpo humano [Alemdar e Ersoy, 2010].

²<http://www.xbow.com>

³<http://www.moteiv.com>

⁴<http://www.btnode.ethz.ch>

⁵<http://www.libelium.com/products/waspnote>

⁶<http://www.sunspotworld.com/SPOTManager>

⁷<http://sownet.nl/index.php/en/products/gnode>

⁸<http://www.maxfor.co.kr>

4.2.1.1. Redes Corporais sem Fio

Uma rede corporal sem fio (WBAN - *Wireless Body Area Network*) consiste normalmente de uma coleção de dispositivos heterogêneos miniaturizados e invasivos, de baixo consumo de energia, ou dispositivos leves e não invasivos, com recursos de comunicação sem fio que operam nas proximidades do corpo humano. Esses dispositivos podem ser colocados dentro, sobre ou ao redor do corpo e geralmente são nós sensores sem fio que podem monitorar as funções e características do corpo humano a partir do ambiente a sua volta [Cavallari et al., 2014]. Cada sensor tem requisitos específicos e é usado para diferentes missões. Esses dispositivos são usados para medir alterações nos sinais vitais de um paciente e detectar emoções como medo, estresse, felicidade, etc. Eles se comunicam com um Nó Coordenador, que geralmente é menos restrito a energia e tem mais capacidade de processamento. O Nó Coordenador é responsável pelo envio de sinais biológicos do paciente ao sistema de saúde ou diretamente ao médico, a fim de permitir diagnóstico em tempo real e oferecer suporte à tomada de decisões médicas [Negra et al., 2016].

De fato, os aplicativos WBAN cobrem vários aspectos para melhorar a qualidade de vida dos usuários. Essas aplicações podem ser categorizadas principalmente de acordo com o uso na área médica ou não médica. As aplicações não médicas incluem detecção de movimento e gestos para aplicativos interativos de monitoramento de jogos, reconhecimento cognitivo e emocional para assistência ao motorista ou interações sociais, e assistência em eventos de desastre, como ataques terroristas, terremotos e incêndios. As aplicações médicas compreendem soluções de assistência médica para a população em geral. Exemplos típicos incluem a detecção precoce, prevenção e monitoramento de doenças, assistência a idosos em casa, reabilitação após cirurgias, aplicações de *biofeedback*⁹ que controlam estados emocionais e aplicações de vida assistida que melhoram a qualidade de vida de pessoas com deficiência [Negra et al., 2016]. As WBANs permitem novos mercados possíveis com relação a suas aplicações, porém seu planejamento é afetado por vários problemas que exigem novos padrões e protocolos. As WBANs criam um conjunto de desafios técnicos com uma grande variação em termos de métricas de desempenho esperadas, como taxa de transferência ou atraso. Assim, é necessário novas arquiteturas, protocolos flexíveis, recursos computacionais, etc [Cavallari et al., 2014].

A Figura 4.1 mostra a arquitetura comum da WBAN, que consiste em comunicações em três camadas: comunicações Intra-BAN, comunicações Inter-BAN e comunicações além da BAN. As comunicações Intra-BAN denotam as comunicações entre os sensores corporais sem fio e o nó coordenador da WBAN. As comunicações inter-BAN envolvem comunicações entre o nó coordenador e dispositivos pessoais, como *notebooks*, robôs de serviço doméstico e outras WBANs. A camada além da BAN conecta o dispositivo pessoal à Internet [Negra et al., 2016]. A comunicação entre diferentes partes é suportada por várias tecnologias, como IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.6 e *Bluetooth Low Energy*. Tais tecnologias são abordadas amplamente na Subseção 4.2.2 [Cavallari et al., 2014, Negra et al., 2016, Taha et al., 2018].

⁹O biofeedback envolve o monitoramento e o uso de informações fisiológicas através de aparelhos sensores eletrônicos para ensinar os pacientes a modificar funções fisiológicas específicas de forma voluntária [McKee, 2008]

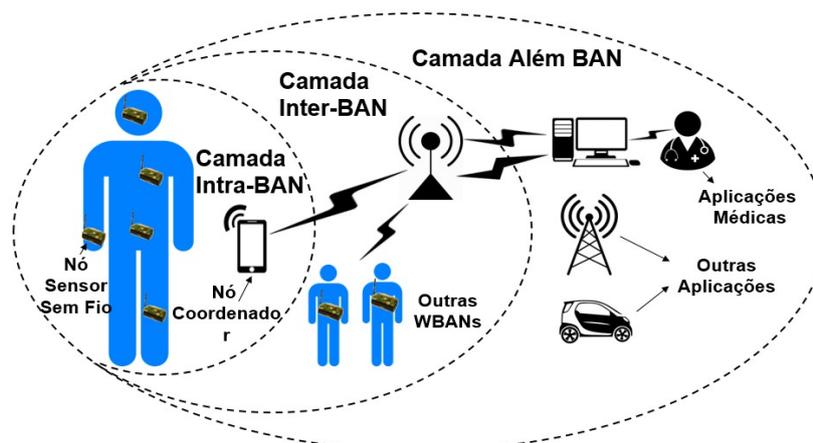


Figura 4.1. Arquitetura das WBANs (Comunicação intra, inter e além da BAN).

As WBANs precisam definir a melhor solução para sua comunicação, diante do grande número de padrões disponíveis, dependendo dos requisitos da aplicação. Com respeito aos principais problemas a serem considerados no desenho de uma WBAN, o impacto do meio sem fio, a vida útil da bateria e a coexistência com outras redes sem fio são de fundamental importância. A presença do corpo humano afeta a propagação das ondas de rádio, levando a um canal de rádio específico e peculiar que deve ser adequadamente considerado no desenvolvimento dos protocolos. A necessidade de vida útil e de longa duração da bateria deve ser atendida através de soluções eficientes em termos de energia, uma vez que as substituições frequentes da bateria devem ser evitadas, sendo uma tarefa muito difícil em algumas aplicações (por exemplo, aplicações médicas nas quais os nós são implantados). A terceira questão principal a ser levada em consideração é a ocorrência de interrupções devido à coexistência com outras redes sem fio operando na mesma faixa de frequência [Cavallari et al., 2014].

De acordo com [Taha et al., 2018], utilizando WBANs nos setores médicos, os custos com saúde podem ser significativamente reduzidos e o monitoramento regular do paciente no hospital pode ser evitado. De fato, o pensamento humano sobre a gestão da saúde pode se transformar consideravelmente devido ao uso de WBANs, de forma similar à maneira que a Internet transformou nossas visões em direção à comunicação de grande volume de informação rapidamente. As WBANs são eficazes para automatizar a interação humana com variedades de tecnologias da informação, onde as vantagens dos sensores inteligentes podem ser exploradas para amostrar, monitorar, processar e comunicar sinais de dados úteis entre várias partes do corpo de maneira rápida e confiável. Além disso, médicos e enfermeiros podem fornecer *feedback* em tempo real ao paciente. A WBAN pode examinar continuamente os parâmetros fisiológicos do paciente com mobilidade e flexibilidade extras. Além disso, gera uma quantidade de dados muito grande do ambiente e do paciente, o que auxilia os médicos a obterem uma visão mais ampla e compreensível da situação do paciente. No entanto, a aceitação prática de WBANs requer superar enormes desafios sociais, legais e técnicos. Tais desafios podem abrir muitos novos caminhos em termos de planejamento e implementação de sistemas. Os principais objetivos da WBAN são obter atraso mínimo, produtividade ideal, longa durabilidade da

rede e baixo uso de energia na comunicação. Alguns dos pré-requisitos significativos do usuário para WBANs incluem segurança, privacidade, compatibilidade, confiabilidade e baixo custo.

4.2.2. Infraestrutura de Redes de Sensores

Nos últimos anos, os pesquisadores fizeram progressos consideráveis na caracterização do ambiente de propagação da área corporal através de estudos baseados em medições e simulações, a fim de apoiar a previsão do desempenho do canal em configurações alternativas de implantação de sensores e o desenvolvimento de antenas mais eficazes. Esses trabalhos foram realizados em diferentes bandas de frequência. Em cada uma das faixas de frequência, foram estudados os canais para *intra-body*, *on-body* e externo. A Figura 4.2 mostra uma exemplificação das tecnologias utilizadas em uma WBAN.

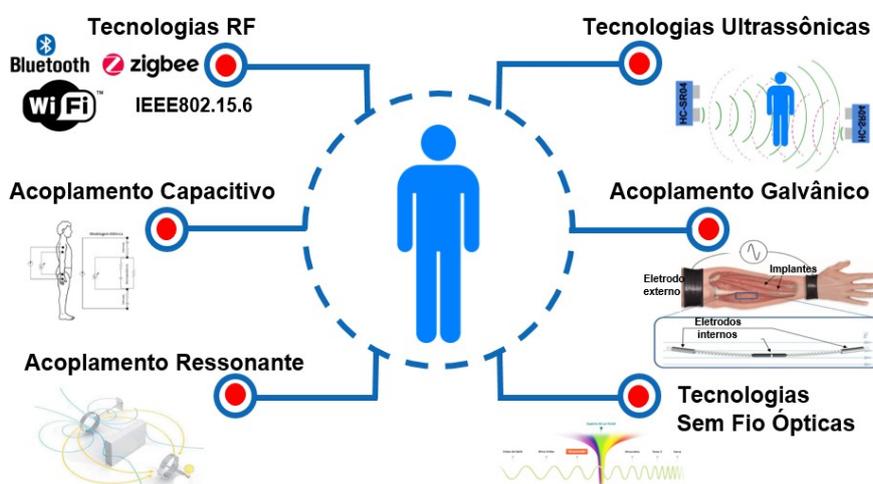


Figura 4.2. Tecnologias utilizadas em WBANs.

- **Tecnologias RF:** A maioria das comunicações atuais das redes sensores sem fio são baseadas nas tecnologias WPAN (*Wireless Personal Area Network*) IEEE 802.15, que operam na faixa ISM (*Industrial Scientific and Medical*) de 2.4 GHz. O *Bluetooth* é um sistema de comunicação de curto alcance, que em sua quarta versão conhecida como *Bluetooth Low Energy* (BLE), é projetado para suportar comunicações dispositivo para dispositivo com baixa complexidade, baixo custo e baixo consumo de energia, oferecendo taxas de dados de até 2 Mbps. A quinta versão do *Bluetooth* foi desenvolvida especialmente para conectividade de dispositivos IoT, possuindo diferentes classes de potência que podem atender a diferentes distâncias de 100, 10 e 1m, com uma potência máxima de transmissão de 100, 2, 5 e 1mW respectivamente [Haddad e Khalighi, 2019, Cavallari et al., 2014, Negra et al., 2016]. A topologia em estrela, que o *Bluetooth* fornece, oferece um melhor suporte à mobilidade para os nós em uma comunicação interna em redes corporais sem fio. As comunicações inter-redes corporais sem fio podem ser realizadas através de um segundo rádio ou usando um chip de modo duplo, no entanto, o custo é maior no consumo de energia [Cao et al., 2009].

Outra solução é o padrão ZigBee/IEEE 802.15.4, desenvolvido para conectividade sem fio de baixo custo para aplicativos com potência limitada e requisitos de produtividade relaxados. Com um protocolo simples e flexível, oferece taxas de dados de 20 a 250 Kbps dentro de um intervalo típico de 10 m e uma potência de transmissão limitada a 10 mW. O Zigbee é uma tecnologia de baixo custo e baixo consumo de energia, construída na parte superior do padrão IEEE 802.15.4 [Haddad e Khalighi, 2019, Cavallari et al., 2014]. O perfil de aplicativo público do *ZigBee Health Care* recentemente concluído fornece uma estrutura flexível para atender aos requisitos da *Continua Health Alliance* para monitoramento remoto da saúde e do condicionamento físico. O *ZigBee Health Care* possui as características de alcance, energia e dispositivos conectados simultaneamente para suportar dispositivos dos domínios de telessaúde e telecuidado em uma única tecnologia sem fio. Além disso, adotando o padrão ZigBee, permite controlar dispositivos sem fio médicos como sensores corporais. Essas soluções se adequam melhor aos cenários de implantação de uma rede corporal sem fio em uma área limitada (por exemplo, um hospital ou uma casa) [Cao et al., 2009, Negra et al., 2016].

O IEEE 802.11 é um padrão que oferece conjunto de indicadores para uma WLAN (*Wireless Local Area Network*). Baseado no padrão IEEE 802.11 e 802.11ah (especifica o uso de frequências abaixo de 1 GHz), o Wi-Fi permite que os usuários naveguem pela Internet, mudem de banda e também estejam conectados a um ponto de acesso (AP) ou no modo ad hoc, no qual a rede se forma sob demanda, sem requisitos de infraestrutura prévia. É ideal para grandes transferências de dados ao permitir a conectividade confiável de alta velocidade. Essas vantagens podem ser adotadas pelos sensores sem fio, mas o alto consumo de energia é um inconveniente importante [Negra et al., 2016].

O padrão IEEE 802.15.6 de baixa potência e baixo alcance foi projetado especificamente para redes corporais sem fio, oferecendo taxa de dados de até 15 Mbps com uma potência de transmissão entre 0.1 e 1mW. O padrão define a transmissão em banda estreita nas bandas ISM, WMTS (*Wireless Medical Telemetry Service*) e MICS (*Medical Implant Communication Service*), bem como a banda UWB (*Ultra-Wideband*) e a comunicação HBC (*Human Body Communication*). As taxas de transmissão nas faixas variam de 57.5 até 971.4 Kbps para transmissão em banda estreita, 0.487 até 15.6 Mbps para UWB e 164 Kbps até 1.3 Mbps para HBC (operando a 21 MHz) [Haddad e Khalighi, 2019]. Como relatado, o padrão IEEE 802.15.6 provavelmente empregará UWB, de acordo com propostas recentes [Cao et al., 2009]. O padrão pretende dotar os sensores da próxima geração nas proximidades ou dentro do corpo humano [Cavallari et al., 2014, Negra et al., 2016, Ferreira et al., 2018].

De acordo com a *Federal Communications Commission* (FCC), o UWB refere-se a qualquer tecnologia de rádio com uma largura de banda de transmissão superior a 500 MHz ou 20% da frequência central. A FCC também regula o uso de UWB sem licença na faixa de 3.25 – 4.75GHz e 6.6 – 10.25GHz, para ter uma emissão de densidade espectral de potência relativamente baixa. Isso leva à adequação das aplicações UWB em ambientes internos e de curto alcance, além de ambientes sensíveis às emissões de RF (por exemplo, em um hospital). O UWB também oferece,

à tecnologia de rádio, aplicações como localização precisa que complementa o GPS no ambiente interno para rastreamento na rede corporal sem fio [Cao et al., 2009]. Um dispositivo compatível com a banda UWB deve suportar uma transmissão e recepção em pelo menos uma das seguintes bandas de frequência: 863 – 870MHz, 902 – 928MHz, 950 – 958MHz, 2360 – 2400MHz e 2400 – 2483.5MHz. Em particular, este último está na banda ISM e é extremamente interessante por causa de sua disponibilidade mundial, mas pode haver problemas de coexistência com outros padrões que trabalham na mesma banda [Cavallari et al., 2014].

- *Tecnologias Ultrassônicas*: As comunicações ultrassônicas são possibilitadas pela propagação de ondas acústicas no interior do corpo humano em frequências superiores a 20 KHz. Elas têm o potencial de complementar ou substituir as tecnologias de RF para comunicação por meio de implantes, graças à sua baixa atenuação nos tecidos humanos. Os transceptores usados para comunicações ultrassônicas são principalmente transdutores piezoelétricos [Haddad e Khalighi, 2019]. O ultrassom tem sido utilizado em aplicações médicas com baixa potência irradiada que permite uma melhor margem de segurança, fornecendo uma largura de banda necessária para a aplicação. Estudos em comunicação intra-corporal ultrassônica mostram que é possível alcançar taxas de dados de 90 kbps até 700 Kbps, com um consumo de energia de 36 mW até 40 mW [Santagati e Melodia, 2016, Demirors et al., 2016]. Além disso, mostraram que a atenuação é menor que as comunicações de RF. O ultrassom é um método de comunicação promissor para as redes de sensores sem fio, especialmente para aplicativos que requerem transmissão de alta taxa de dados [Tomlinson et al., 2018].
- *Acoplamento Capacitivo*: Os métodos de acoplamento geralmente são baseados na transferência de energia entre um conjunto de transmissores e receptores para gerar um sinal elétrico que se propaga através do corpo humano [Callejon et al., 2013]. O sinal elétrico gerado pelos métodos de acoplamento é de baixa frequência (abaixo de 200 MHz) e baixa potência (na ordem de μW), em comparação com os sinais eletromagnéticos tradicionais. O acoplamento capacitivo ocorre quando dois circuitos que compartilham o mesmo campo elétrico causam um fluxo de energia de um circuito para o outro. No caso de acoplamento capacitivo intra-corpo, o campo elétrico comum do corpo e seu ambiente causam um fluxo de corrente induzido por um transmissor para um receptor na forma de eletrodos. Um eletrodo transmissor e um receptor são conectados (ou permanecem próximos) ao corpo, enquanto outros dois estão flutuando, atuando como eletrodos de aterramento. O corpo atua como um condutor do potencial elétrico e o solo atua como um caminho de retorno para o sinal. Pesquisas recentes sobre acoplamento capacitivo tem alcançado taxas de dados de 2 até 60 Mbps em faixas de 1-200 MHz. Os métodos de acoplamento tornaram-se um componente popular das pesquisas em andamento sobre redes de sensores, uma vez que sua baixa potência e baixa frequência obedecem às considerações de segurança e diminuem o consumo de energia [Tomlinson et al., 2018].
- *Acoplamento Galvânico*: O acoplamento galvânico é um método que usa o corpo humano como um canal para propagar o sinal elétrico criado por um par de eletrodos acoplados. A diferença entre esse método e o acoplamento capacitivo é que a

corrente alternada é acoplada dentro do corpo, em vez de entre o corpo e o ambiente. No lado de transmissão e recepção, existem dois eletrodos, onde uma tensão é aplicada entre os dois eletrodos de transmissão e o fluxo de corrente alternada passa através do corpo para ser medido diferencialmente nos eletrodos receptores. A corrente se propaga devido ao conteúdo de íons do corpo humano. As duas propriedades do corpo que permitem a propagação dos sinais são a permissividade relativa e a condutividade elétrica. As taxas de transmissão de dados parecem ser inferiores às do acoplamento capacitivo, em frequências do sinal que variam de 10 kHz a 100 MHz. O acoplamento galvânico pode ser usado para comunicação entre pele, músculo e tecido adiposo, onde suas propriedades são afetadas pela camada de tecido usada como meio, assim como também pela localização dos eletrodos no corpo. O acoplamento galvânico é um método seguro e eficiente, mas é relativamente novo [Tomlinson et al., 2018].

- *Acoplamento Ressonante*: O acoplamento ressonante utiliza as propriedades da ressonância eletromagnética para gerar um campo magnético em todo o corpo. Cria um campo de transmissão sem fio de energia elétrica entre duas bobinas colocadas ao redor do corpo, impulsionando a propagação do campo. Seus benefícios potenciais surgem de baixos requisitos de energia. A faixa de espectro mais comumente utilizada nesta tecnologia é 50 MHz, produzindo uma atenuação máxima de apenas 8.1 dB, para uma distância de 40 cm percorrida [Park e Mercier, 2015]. Ainda não se tem concluídas taxas de transmissão exatas. O funcionamento da tecnologia apresenta interferência com outros campos magnéticos, incluindo máquinas elétricas e, por esse motivo, ainda precisa de uma investigação mais profunda [Tomlinson et al., 2018].
- *Tecnologias Sem Fio Ópticas*: As comunicações ópticas sem fio acontecem nas faixas infravermelha, visível ou ultravioleta do espectro. São uma alternativa potencial ou complemento às tecnologias de RF para redes corporais sem fio médicas, graças à sua alta imunidade a interferências externas. Além disso, a potência de transmissão nos sistemas de comunicação óptica sem fio não é restringida pelos regulamentos como para os homólogos de RF. O interesse das tecnologias ópticas sem fio foi investigado em vários trabalhos para aplicações médicas corporais e extra-corporais. Esses estudos mostraram um consumo de energia de 17mW para uma taxa de dados de 10 Kbps, que é muito menor à máxima potência emitida para comunicações infravermelhas [Haddad e Khalighi, 2019]. Alguns estudos são apresentados em [Trevlakis et al., 2019, Parmentier et al., 2008, Liu et al., 2012].

4.3. Sensoriamento de Eventos na Assistência em Saúde e Bem-Estar

As redes de sensores fornecem uma tecnologia para monitoramento da saúde de forma ininterrupta. Com o advento das redes móveis 5G de baixa potência, se tornou possível fornecer meios de comunicação de alta disponibilidade e alta taxa de transferência, viabilizando muitas aplicações de monitoramento. Esta seção tem como objetivo descrever aplicações de rede de sensores na área da saúde.

O surgimento da tecnologia IoT (*Internet of Things*) vem afetando profundamente o ecossistema da saúde. Essa tecnologia tem o potencial de mudar a maneira como as

instalações e os prestadores de assistência médica coletam e usam dados para os serviços oferecidos aos pacientes. Nos serviços de saúde mais modernos, existe uma grande quantidade de dados oriundos dos sensores de dispositivos IoT que monitoram em tempo real as operações dos vários sistemas.

É importante mencionar que os dados gerados pelas redes de sensores são diferentes daqueles gerados por registradores de dados, porque os sensores individuais geram dados cooperativamente e esses dados são frequentemente processados e filtrados na fonte [Matthew Pike e Brusica, 2019]. Pode-se citar, como exemplo de redes de sensores, aqueles incorporados em *smartphones* e *smartwatches*, *health bands*, casas inteligentes, sistemas de segurança, veículos como carros, ônibus e aviões. Há um tempo atrás, os dados coletados pelos dispositivos eram tipicamente coletados e analisados *offline* para futuras decisões. Alguns casos especiais eram aplicações críticas em tempo real, por exemplo, gerenciamento de rede elétrica, terapia intensiva, sistemas de monitoramento ou piloto automático. Essas aplicações antigas não eram adaptativas. Elas foram projetadas para responder a partir de um conjunto de condições. As redes de sensores contemporâneas são sistemas multi-agentes que podem medir variáveis e perceber o estado e comportamento do ambiente. A partir dessas medições, o sistema pode responder de acordo com o contexto [D. Ovalle e Montoya, 2010].

Outras questões estão relacionadas à tecnologia e à técnica de acesso, aos tipos e quantidade de sensores distribuídos ou à possibilidade de utilização de diferentes faixas de frequência. O tipo de aplicação, seja ele de natureza individual ou de saúde coletiva, e a área de abrangência da rede modificam os tipos de dados coletados, a frequência de coleta, o volume coletado, e até mesmo o tipo de comunicação utilizado. As redes de sensores demandam que os fluxos de dados sejam combinados e sincronizados para interpretá-los adequadamente de maneira contínua [Matthew Pike e Brusica, 2019].

Um objetivo comum das pesquisas em redes de sensores é permitir um comportamento inteligente [D. Ovalle e Montoya, 2010], isto é, compreender, interpretar, aprender com os dados e fornecer respostas ou ações adequadas. Isso requer a aplicação de técnicas de aprendizado de máquina [Matthew Pike e Brusica, 2019]. É importante notar que entender esses novos tipos de dados gerados pela rede de sensores é fundamental para a sua análise de requisitos. Entre os diferentes domínios de dados, os dados biomédicos podem estar entre os mais complexos de gerenciar e usar. Os dados gerados pelos sensores biomédicos são abrangentes, diversificados, heterogêneos e devem ser isolados para proteger a privacidade dos indivíduos.

4.3.1. Monitoramento de Ambientes

Considerando todas essas questões, as aplicações de monitoramento ambiental relacionadas à saúde buscam uma variedade de fins, como o monitoramento de quedas, monitoramento do ambiente hospitalar, monitoramento da qualidade do ar dentro e fora de *smart homes*, monitoramento de hábitos e humor para detecção de situações de risco e potenciais enfermidades, entre diversos outros.

4.3.1.1. Monitoramento de Quedas

Uma queda é definida como um evento no qual uma pessoa se move rapidamente de uma posição mais alta para uma mais baixa de nível sem controle. As quedas são um problema sério de saúde pública e as pessoas com mais de 65 anos de idade estão entre as mais vulneráveis às lesões sérias decorrente de uma queda. De acordo com a Organização Mundial da Saúde, quase 40% das mortes relacionadas a lesões são devido a quedas de pessoas idosas na maioria dos países [Todd e Skelton, 2004]. Portanto, as quedas são a segunda principal causa de morte, estando logo após os acidentes de trânsito. As quedas resultam em 90% das fissuras no quadril e no pulso, além de 60% dos ferimentos na cabeça das pessoas idosas [G. Fortino, 2015]. Ainda acrescenta-se o fato de que as quedas podem afetar negativamente a mentalidade de um indivíduo idoso, resultando em uma péssima autoestima, por se tornar dependente de uma pessoa constantemente o monitorando, além do desgosto de constantes idas para o hospital. Uma abordagem natural e prática para os idosos ou para as pessoas com dificuldade de locomoção exige um sistema eficaz para verificar remotamente o seu bem-estar aonde eles estiverem.

Assim, uma das principais aplicações de monitoramento ambiental em *smart homes* é o monitoramento de quedas, especialmente em ambientes com idosos. Detectar e responder às quedas rapidamente, em especial quando o idoso está sozinho, é de primordial importância para reduzir os impactos do problema [Sposaro e Tyson, 2009, Mano et al., 2016a].

O primeiro sistema para detecção de quedas foi desenvolvido no início da década de 1970 e enviava mensagens de alerta quando um botão de emergência era pressionado [Pannurat et al., 2014]. Os sistemas atuais são bem mais sofisticados e capazes de atuar sem a necessidade de ações por parte de pessoa que caiu. Muitos sistemas para detecção de quedas de idosos são baseados na premissa de que o idoso estará portando o seu telefone. Nesse sentido, os sensores do telefone, tais como acelerômetros, giroscópios e magnetômetros [Sposaro e Tyson, 2009, Mao et al., 2017] são usados em algoritmos que detectam quando a queda aconteceu. Outras abordagens usam *wearable notes*, utilizando lógicas semelhantes à do uso do celular para detectar e notificar a queda [Paoli et al., 2012]. Uma crítica comum aos sistemas baseados em celular e/ou *wearable notes* é que não é verdade que os idosos estarão sempre portando os dispositivos necessários para detectar a queda. Assim, outros sistemas usam o monitoramento efetivo do ambiente para detectar as quedas, não dependendo que o idoso porte nenhum dispositivo. Tais tipos de sistema utilizam câmeras, câmeras infravermelhas, sensores de videogames, como o *Microsoft Kinect*, sensores de pressão e de vibração no piso, *arrays* de microfones, sensores de presença, entre outros [Pannurat et al., 2014, Noury et al., 2000].

A Figura 4.3 mostra a arquitetura típica de sistemas de monitoramento de queda em tempo real. Dados de movimentação capturado por sensores são enviados para uma unidade de processamento. Quando a queda é detectada, uma ação ou um alarme é disparado, tal como: alertas sonoros, que notificam outras pessoas no mesmo prédio; intervenção imediata, pelo acionamento da atuação de *airbags* infláveis, por exemplo; e envio de mensagens para parentes ou cuidadores, informando dados como local e hora do acidente e estado do idoso, por exemplo, se está consciente, se levantou ou se está incapacitado de se mover após a queda [Pannurat et al., 2014].



Figura 4.3. Exemplo de arquitetura típica de sistemas de detecção de quedas. Adaptado de [Pannurat et al., 2014].

4.3.1.2. Monitoramento de Hábitos e Emoções em *Health Smart Homes*

Um ambiente inteligente é aquele com capacidade de adaptar o ambiente aos habitantes e cumprir as metas de conforto e eficiência. Para atingir esses objetivos, as pesquisas em *Health Smart Homes* são usualmente focadas em sistemas que percebem o estado do ambiente usando sensores e que atuam, conseqüentemente, com os controladores de dispositivos.

Em [Medjahed et al., 2011], os autores exemplificam um sistema que integra sensores (infravermelho, sensores de mudança de estado, áudio, fisiológicos) conectados a um PC. O sistema multimodal para detecção de situações de problemas a saúde e angústia foi chamado de EMUTEM (Ambiente Multimodal para Televigilância *Médicale*), sendo aplicado em casas de repouso para idosos. A arquitetura desenvolvida consiste em: um conjunto de microfones colocados em todos os cômodos da casa dos idosos, que permitem o monitoramento remoto do sistema acústico; um dispositivo vestível, chamado RFpat, que pode medir dados fisiológicos como frequência cardíaca de pulso ambulatorial, detectar se a pessoa está em pé, sentada ou deitada, queda da pessoa equipada e sua taxa de atividade; um conjunto de sensores infravermelhos que detectam a presença da pessoa em uma determinada parte da casa, sua postura e também seu movimento; e um conjunto de sensores domóticos, como sensores de contato, sensores de temperatura e vários outros sensores domésticos, para monitoramento das condições do ambiente. Os dados são coletados para tratamento com algoritmos de lógica *fuzzy* visando detectar situações anormais.

O telemonitoramento automático de situações de perigo à saúde ou de angústia em um ambiente é de grande importância, e o telemonitoramento médico em casa pode ser uma solução interessante, pois oferece vigilância médica em um ambiente familiar para o paciente. Nesse sentido, pesquisas recentes estão desenvolvendo tecnologias para melhorar a segurança de um residente e monitorar as condições de saúde usando sensores

e outros dispositivos. Destacam-se, por exemplo, algumas referências [Medjahed et al., 2011] que se propõem a definir uma arquitetura genérica para sistemas de telemonitoramento, realizar experimentos de um sistema de monitoramento remoto em uma categoria específica de pacientes (com problemas cardíacos, asma, diabéticos, pacientes com doença de Alzheimer ou cognitiva, etc.) ou construir apartamentos interligados ambientados a rede de sensores e sistemas de alarme adaptados aos requisitos de telemonitoramento da saúde.

Outras iniciativas de monitoramento ambiental visam levantar hábitos e sentimentos humanos, com o fim de prever atividades potencialmente prejudiciais, ou ainda, que indiquem a presença de alguma doença, como a de [Mshali et al., 2018]. Nesse trabalho, os autores promovem o monitoramento de atividades diárias por meio de câmeras e usam um modelo de previsão para detectar modificações de comportamento que são potencialmente de risco. De forma similar, Yassine et al propõem um modelo baseado em *big data* e *smart homes* para descobrir e aprender padrões de atividades humanas para aplicações de cuidados em saúde [Yassine et al., 2017]. Nesse trabalho, os autores monitoram os padrões de uso de energia dentro das residências para inferir o comportamento dos moradores. Com base nesses padrões, são conhecidas as rotinas diárias, o que permite a identificação de atividades anômalas que podem indicar a dificuldade das pessoas de promover os seus próprios cuidados em saúde e bem-estar, como preparar a comida e tomar banho. Outros trabalhos em *smart homes* visam utilizar o aprendizado de máquina para detectar emoções humanas com câmeras em *smart homes* [Mano, 2018, Mano et al., 2016b].

4.3.1.3. Monitoramento da Qualidade do Ar em *Smart Homes* e *Smart Cities*

A qualidade do ambiente pode interferir tanto nos insumos armazenados quanto na saúde das pessoas que estão neste local. Cabra et al apresentam uma abordagem baseada em IoT e monitoramento ambiental para avaliar a temperatura e umidade relativa do ar em hospitais e farmácias, para garantir a qualidade dos produtos de saúde armazenados [Cabra et al., 2017]. De fato, um excesso de umidade ou uma temperatura elevada podem tornar nulo ou prejudicial o efeito de uma medicação, por exemplo.

A qualidade do ar também é abordada para outros fins relacionados à saúde. English et al descrevem as iniciativas da *Imperial County Community Air Monitoring Network*, que é um grupo colaborativo entre comunidades, pesquisadores, iniciativa privada e governo para o monitoramento da qualidade do ar e dos seus efeitos sobre a população. Essa iniciativa dos Estados Unidos utiliza processos de monitoramento do ar pelas comunidades utilizando sensores de baixo custo, cujos dados são repassados para a definição de planejamento social, direções de pesquisa e projetos de ação [English et al., 2017].

Outros trabalhos abordam o monitoramento da qualidade do ar em ambientes internos a *smart homes*. Patil et al [Patil et al., 2018] monitoram os níveis de oxigênio dentro da residência e emitem alarmes quando os níveis caem abaixo dos limites aceitáveis. Tal tipo de monitoramento é de especial importância em grandes centros urbanos com elevados graus de poluição.

4.3.2. Monitoramento Remoto para Detecção de Doenças

Esta seção tem como objetivo comentar sobre as possibilidades de uso dos dispositivos *smartwatches* e as tecnologias recentes para o sensoriamento da saúde. Dispositivos portáteis de saúde estão entre os de crescimento mais rápido no mercado da Internet das Coisas (IoT). Com o avanço da IoT, esses dispositivos móveis ganharam impulso no domínio das aplicações digitais biomédicas e de saúde.

A integração de sensores de saúde de baixo custo com *smartphones*, *health bands* e *smartwatches*, por exemplo, tem aumentado a capilaridade na assistência médica inteligente (*Smart Healthcare*). Essa integração permite que os prestadores de assistência médica possam fornecer um monitoramento remoto do paciente. Uma pesquisa realizada em 2015¹⁰ mostrou que quase 84% dos provedores de serviços usam dispositivos móveis para monitoramento de pacientes. O *Remote Patient Monitoring* (RPM) permite que os médicos possam monitorar remotamente doenças, como por exemplo, apneia do sono, arritmia e Insuficiência Cardíaca Congestiva (ICC). Nesse tipo de serviço remoto, os dados dos sensores são enviados em fluxo usando *Bluetooth* ou *Wi-Fi* para um dispositivo móvel. Nesse dispositivo, vários eventos são correlacionados usando a linguagem *Continuous Query Language* (CQL) [Shivnath Babu, 2001], com o objetivo de detectar a complexidade e a ordem dos eventos. Geralmente, um evento complexo (*Complex Event* - CE) corresponde à ocorrência de múltiplos eventos nos sensores a partir da medição atingir um limiar específico, por exemplo. Os sensores incorporados nos dispositivos *smartwatches* como um giroscópio, acelerômetro e posicionamento global (GPS) também podem ser adicionados aos sensores de saúde para enriquecimento de contexto.

Algumas aplicações podem ser utilizadas em conjunto com dispositivos móveis na detecção de doenças ou em diagnósticos. O *Cooking Hacks*¹¹ oferece um serviço barato e eficiente de sensores de saúde sem fio habilitados para *Bluetooth* e *Wi-Fi*. Nesse sistema, os sensores podem encaminhar sinais fisiológicos para um aplicativo Android ou *iOS* usando sua interface de programação de aplicativos (*Application Programming Interface*).

Outros dispositivos de monitoramento de saúde comercial incluem o *Zeo Sleep Monitor*¹², o qual monitora distúrbios do sono, como apneia do sono. O indivíduo começa usando a faixa para cabeça Zeo todas as noites. A faixa para a cabeça usa a tecnologia de sensor *SoftWave*, para medir com precisão e segurança seus padrões de sono através dos sinais elétricos produzidos naturalmente pelo cérebro. À medida que a pessoa passa por diferentes níveis de sono, mais leve a mais profundo ou vice-versa, o *Zeo Headband* rastreia a qualidade do sono.

O *ViSi Mobile*¹³ pode medir parâmetros vitais como pulso, taxa de respiração, saturação de oxigênio (SpO2) e temperatura da pele [Dhillon et al., 2018]. Foi desenvolvido para fornecer tecnologias inovadoras no monitoramento de vigilância e integrar os sensores, algoritmos e análises do paciente para reduzir custos e melhorar a flexibilidade do fluxo de trabalho. Desenvolvido pela *Sotera Wireless*, o sistema de monitoramento

¹⁰www.spyglass-consulting.com

¹¹www.my-signals.com

¹²<https://www.amazon.com/Zeo-Model-ZEOBP01-Personal-Sleep-Manager/dp/B002IY65V4>

¹³<https://www.soterawireless.com/>

de pacientes *ViSi Mobile* é um sistema projetado para aprimorar a segurança do paciente, permitindo a detecção de problemas críticos à saúde do paciente e conectando os médicos a seus pacientes em qualquer lugar e a qualquer momento. Ele é uma plataforma para monitoramento abrangente de sinais vitais que mantém os médicos conectados a seus pacientes. O sistema permite o monitoramento preciso e contínuo de todos os sinais vitais essenciais, com pressão arterial não invasiva, batimento a batimento, bem como atividade e postura do paciente. O sistema pode ser integrado através de um *middleware*, como o *Capsule*.

A maioria das metodologias atuais de monitoramento de pacientes remoto coletam os sinais de saúde usando um dispositivo móvel, como um *tablet*, *health bands* ou *smartwatches*, e encaminha os dados para um servidor hospitalar remoto para a detecção de eventos complexos. Portanto, essa técnica requer que o dispositivo móvel esteja sempre conectado à rede. Sendo assim, é importante realçar que esses tipos de sistemas podem levar a um grande uso da rede móvel. A indisponibilidade do serviço de rede ou uma rede limitada, como por exemplo, as de zonas rurais, pode gerar entregas de dados atrasados e fora de serviço, ocasionando quedas de desempenho no funcionamento da aplicação.

4.3.3. Monitoramento de Grandes Massas contra Disseminação de Pandemias

O uso de telemetria (sistema tecnológico de monitoramento, utilizado para comandar, medir ou rastrear alguma coisa à distância) tem sido feito com sucesso pelo mundo. Esse monitoramento é usado inclusive para observar grandes massas contra a disseminação de epidemias internacionais [Kim et al., 2016]. Por trás desse tipo de sistema, usualmente, existe uma complexa rede de algoritmos que usa inteligência artificial, aprendizado de máquina e análise comportamental para gerar os resultados. O monitoramento também é importante para enfrentar as epidemias sazonais, que ocorrem, em geral, no inverno com mais ou menos intensidade conforme uma série de fatores¹⁴. Por exemplo, tem-se o impacto do surto de COVID-19, que tornou-se motivo de grande preocupação para praticamente todos os países do mundo. A escassez de recursos para suportar o surto de COVID-19, combinada com o medo de sistemas de saúde sobrecarregados, forçou a maioria dos países ao estado de isolamento social. Pessoas infectadas têm sido submetidas a tratamentos com isolamento e monitoramento a fim de minimizar o risco de alastramento da doença. As autoridades iniciaram o uso de *scanners* de temperatura em aeroportos e estações de trem e ônibus. Pessoas com sinais de febre recebem máscaras, são registradas e encaminhadas a hospitais e clínicas. A transmissão de informações está sendo aliada no controle e isolamento, quanto também no desenvolvimento de pesquisas e tratamentos para as pessoas infectadas.

Em situações como essa, redes de sensores podem ajudar de diversas formas, como no monitoramento remoto do paciente sem oferecer risco de contaminação para os profissionais. Um exemplo é o aplicativo móvel para assistência médica que processa dados de sensores de umidade e temperatura [Aileni, 2015]. Esse aplicativo é baseado em computação em nuvem - modelo de computação em nuvem SaaS (software como ser-

¹⁴<http://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2019-06/monitorar-mutacoes-do-virus-da-gripe-envolve-esforco-internacional>

viço). Esse aplicativo utiliza a infraestrutura *Sensor-Cloud*, que tornou-se popular porque pode fornecer uma estrutura aberta, flexível e reconfigurável para monitorar e controlar aplicativos. Ela é utilizada em aplicações de rede de sensores sem fio para serviços de saúde, mas também pode ser utilizada para fins militares, monitoramento de infraestrutura crítica, monitoramento de ambiente e área de fabricação. As informações de assistência médica armazenadas em uma nuvem podem ser compartilhadas facilmente. A infraestrutura de computação em nuvem para os sensores pode ser usada para implantar aplicativos que fornecem monitoramento aos pacientes (umidade, temperatura ou pressão sanguínea). Os dados são enviados e armazenados em servidor para serem analisados posteriormente por médicos ou profissionais de saúde.

Outro uso interessante das redes de sensores contra epidemias como a de COVID-19 é a detecção da propagação da doença. É impressionante como, em boa parte do tempo, as pessoas estão próximas de seus dispositivos móveis, onde o dispositivo está ao alcance dos braços. Com isso, os *smartphones* se tornam uma ótima ferramenta para realizar o rastreamento de contatos.

Em [Altuwaiyan et al., 2018], o objetivo é usar *smartphones* para coletar os dados necessários de cada usuário, executando a varredura sem fio adaptável de tempos em tempos. Com os dados, pode-se identificar se houve a aproximação de determinados usuários da rede, servindo como base para o estudo de casos de transmissão de doenças. O sistema utiliza *smartphones*, dispositivos sem fio de curto alcance, como pontos de acesso e dispositivos *Bluetooth*, e um servidor. O *smartphone* coleta os dados brutos necessários sobre os sinais sem fio nas proximidades de *Wi-Fi* e *Bluetooth* e criptografa esses dados antes de enviá-los ao servidor. O *smartphone* coleta os seguintes dados em cada verificação de rede: identificador exclusivo de dispositivo sem fio (BSSID - *Basic Service Set Identifier*), indicação de intensidade do sinal recebido sem fio (RSSI - *Received signal strength indication*), e o tipo de sinal sem fio (*Wi-Fi*, *Bluetooth*). O RSSI é uma função que, usando a potência de transmissão, ajuda a determinar a distância ao receptor. O *smartphone*, então, carrega os dados criptografados, juntamente com o registro de data e hora de cada escaneamento de rede, para o servidor. Todas as informações são criptografadas pelo *smartphone* do usuário antes de enviá-las ao servidor. Além disso, o sistema utiliza um método de correspondência que preserva a privacidade, que usa criptografia homomórfica para combinar dispositivos sem fio comuns entre o usuário infectado e o usuário comum. Todas as operações acontecem sem a necessidade do usuário divulgar outras informações confidenciais. Nesse sistema, a distância entre os usuários é um fator importante. O alcance médio da cobertura do *Wi-Fi* é de cerca de 80 metros ao ar livre e 50 metros no interior, ou seja, a maior distância entre dois usuários diferentes conectados ao mesmo ponto de acesso *Wi-Fi* é de cerca de 160 metros ou 100 metros no caso de cobertura interna. Suponha que o dispositivo tenha reconhecido um usuário infectado. O dispositivo deve divulgar todas as informações ao servidor para que o servidor possa usá-las posteriormente para calcular as pontuações correspondentes. Para aumentar a precisão correspondente, é preciso coletar o máximo de informações possível sobre o ambiente sem fio ao redor do usuário. Assim, foi desenvolvido um método de pontuação correspondente baseado em peso, que usa recursos diferentes, como os valores de RSSI e o número de dispositivos sem fio comuns. As informações médicas e laudos clínicos de cada paciente são carregado no servidor, assim o sistema irá identificar monitorar o

contato com pacientes infectados. Todos os outros usuários regulares são notificados para verificar suas pontuações correspondentes, que indicam se um usuário esteve em contato com a interface que estava conectada ao dispositivo do usuário infectado no passado.

Outra iniciativa para detectar o contágio utilizando *smartphones* é proposta por Zhang et al [Zhang et al., 2013b]. Os autores propõem uma integração de redes corporais sem fio (WBANs) para a coleta de sinais vitais corporais com telefones celulares visando à detecção de interação social para ajudar no controle de epidemias e localização de focos. Esse estudo exige que os usuários utilizem sensores em seus corpos, o que torna o sistema mais difícil e caro de implementar.

Sareen et al. [Sareen et al., 2018] propõem uma nova arquitetura baseada no dispositivo de identificação por radiofrequência (RFID), tecnologia de sensor vestível e infraestrutura de computação em nuvem. O objetivo do trabalho foi impedir a propagação da infecção pelo Ebola na fase inicial do surto, por volta de fevereiro de 2014. O surto do vírus Ebola na África Ocidental causou grandes perdas de vidas e desequilíbrios econômicos e sociais na região, principalmente na Guiné, Libéria e Serra Leoa. Ela foi a epidemia que mais disseminou a doença pelo vírus Ebola na história. Os primeiros casos foram registrados na Guiné em dezembro de 2013. Essa arquitetura de computação em nuvem usa RFID e sensores para a detecção e o monitoramento de pacientes infectados pelo Ebola. A árvore de decisão J48 é usada para avaliar o nível de infecção em um usuário, dependendo de seus sintomas. O RFID é usado para detectar automaticamente as interações de proximidade entre os usuários. A análise de rede temporal é aplicada para descrever e monitorar o estado atual do surto usando os dados das interações de proximidade.

Zhang et al. [Zhang et al., 2013a] propõem protocolos para dispositivos móveis baseados em proximidade e rede social (PMSN - *Proximity-based mobile social networking*) para permitir que dois usuários realizem a correspondência de perfis sem divulgar nenhuma informação sobre seus perfis. Esses protocolos permitem uma diferenciação mais precisa entre os usuários do PMSN e podem suportar uma ampla variedade de métricas correspondentes em diferentes níveis de privacidade. Esse é um exemplo de trabalho sobre como coletar e armazenar os dados de um usuário de maneira a preservar a privacidade. Esse artigo aborda esse desafio ao projetar novos protocolos de correspondência privada. Esses protocolos permitem que dois usuários realizem a correspondência de perfis sem divulgar nenhuma informação sobre seus perfis além do resultado da comparação, o que permite uma diferenciação mais precisa entre os usuários do PMSN e podem suportar uma ampla variedade de métricas de correspondência em diferentes níveis de privacidade.

Al Qathrady et al. [Qathrady et al., 2016] introduzem uma estrutura sistemática de detecção de infecções utilizando tecnologias de comunicação móvel, incluindo dispositivos móveis, redes e estatísticas de encontros durante a infecção. Os autores usaram a rede WLAN no campus da universidade da Flórida em *Gainesville*, de seis edifícios e mais de 34 mil usuários, para realizar o experimento. Os métodos de rastreamento e filtragem são propostos usando técnicas probabilísticas de busca direta e reversa. Primeiro, o problema de rastreamento da infecção da doença é definido. Em seguida, é desenvolvida uma estrutura prática detalhada usando nós sem fio para facilitar o rastreamento da origem da infecção e identificar a população em risco, os nós que provavelmente estão infectados.

Assim, essa estrutura de detecção de infecções sistemática usa as redes móveis e estatísticas de encontro durante surtos de infecção. O projeto visa fornecer práticas e algoritmos e sistemas eficientes, para rastrear epidemias com alta precisão, baixa sobrecarga e com preservação da privacidade a partir de dispositivos sensores, da coleta e processamento de informações de encontros.

Além da detecção do contágio, outras formas de uso dos sensores podem ser feitas no combate à disseminação de doenças. Por exemplo, a vacinação é uma maneira muito eficiente de proteger as pessoas de terem suas saúdes comprometidas por doenças infecciosas. No entanto, algumas vezes não é possível vacinar todas as pessoas em uma comunidade devido a várias restrições de recursos ou distância. Sun et al fornecem uma alternativa para obter um melhor desempenho na vacinação direcionada [Sun et al., 2015]. Com base em sensores sem fio transportados por alunos, foram coletados os rastros de contato interpessoal em uma escola secundária. Com o sistema de sensores sem fio, foi possível registrar os contatos dos alunos dentro da distância de propagação da doença para construir um grafo de propagação da doença, modelando o contágio. Com base neste grafo, os autores propõem uma métrica de centralidade e conectividade para medir a importância de um nó durante a propagação da doença e projetar algoritmos baseados em centralidade para a vacinação direcionada. Os resultados das simulações de rastreamento mostram que os algoritmos podem ajudar a conter efetivamente doenças infecciosas. Através dos dados armazenados é possível realizar o monitoramento das vacinações até mesmo com aplicativos de *smartphones*. Também é possível utilizar as informações para auxiliar na assistência médica, em pesquisas ou nas etapas da produção de uma vacina.

4.4. Segurança e Gerenciamento de Dados Médicos

Conforme apresentado na seção anterior, as aplicações existentes para assistência médica remota podem ser disponibilizadas em diferentes tipos de redes. Além disso, os dados médicos podem ser processados e armazenados remotamente. Isso quer dizer que milhões de informações de pacientes trafegam por redes e dispositivos heterogêneos. Por isso, a segurança dos dados é uma das preocupações mais importantes nas redes que utilizam tecnologia sem fio e computação em nuvem. Atualmente, os aplicativos multimídia incluem redes móveis, sensores integrados e serviços de Internet das Coisas (IoT) [Sureshkumar et al., 2019]. Os dados médicos precisam de uma atenção especial, pois incluem informações sensíveis da vida privada dos indivíduos. Os desafios das redes de sensores incluem a garantia da segurança, privacidade, integridade dos dados e confidencialidade dos registros dos usuários durante todo o tempo. Alguns mecanismos são geralmente adotados para tentar garantir uma comunicação segura entre os dispositivos, como protocolos com criptografia, autenticação e atualização dos dados [Al-Janabi et al., 2017]. Entretanto, as redes de sensores sem fio têm vulnerabilidades, com ataques e mecanismos de segurança diferentes daqueles das redes tradicionais – devido às suas características peculiares como energia, memória e armazenamento limitados [Ramos e Filho, 2015].

Outro ponto de interesse no que tange à segurança é que os dados médicos costumam ficar armazenados em bancos de dados para consulta dos interessados autorizados. Por isso, também são necessárias ferramentas para controle de acesso, autenticação de usuários e garantia da integridade e da confidencialidade.

4.4.1. Transmissão dos Dados

Qualquer rede de comunicação de dados está propensa a sofrer tentativas de ataques e/ou invasões. Por isso, geralmente são utilizados mecanismos de segurança para manter os dados trafegando de maneira protegida. No caso das redes sem fio, um fator extra é acrescentado ao aspecto de segurança. A utilização do ar como meio de transmissão torna a rede susceptível a diversos ataques que vão desde uma simples escuta clandestina (espionagem) passiva das mensagens até interferências ativas com a criação, modificação e destruição das mensagens [Fernandes et al., 2006]. No caso das redes de sensores sem fio, outro aspecto importante a ser considerado é a ausência de centralização e de infraestrutura. Apesar de a descentralização ter como vantagem a robustez, devido à inexistência de pontos únicos de falha, a ausência de infraestrutura dificulta a aplicação das técnicas convencionais de autorização de acesso e de distribuição de chaves. Isto torna mais difícil a tarefa de distinguir os nós confiáveis dos nós não-confiáveis, pois nenhuma associação segura prévia pode ser assumida [Fernandes et al., 2006]. Dessa forma, alguns tipos de ataques são mais propensos a ocorrerem em redes de sensores sem fio. Os mais conhecidos são:

- **Espionagem:** É um ataque passivo, onde um receptor indesejado consegue capturar e analisar os dados que trafegam na rede. É um ataque de difícil detecção e fácil de ser realizado, pois basta que um receptor adequado fique em modo de escuta capturando dados. A intenção do invasor pode ser o conhecimento de informações confidenciais ou o conhecimento dos nós principais da rede, analisando as informações de roteamento, para preparar um ataque ativo [Al Ameen et al., 2012]. Nas aplicações de saúde, o invasor seria capaz de coletar os dados de um paciente, informações sobre o caminho de transmissão desses dados, e informações da rede, como por exemplo, endereços dos nós principais. Para evitar este tipo de ataque, uma das soluções adotadas é a criptografia dos dados. Assim, mesmo que o invasor consiga capturar os dados, precisaria de uma chave para descriptografar as informações.
- **Injeção de novo nó:** Neste ataque, um nó malicioso é introduzido na rede. A intenção do ataque pode ser o de roubar informações úteis, ou de injetar dados falsos para comprometer o funcionamento da rede (Negação de Serviço). Uma das maneiras de realizar este ataque é assumir a identidade de um ou mais nós da rede de forma ilegítima. Uma variação é o Ataque do Homem no Meio (*Man-in-the-Middle*). Nesse caso, o nó malicioso intercepta uma comunicação entre dois nós legítimos e se passa por cada um deles, ficando no meio da comunicação. A autenticação de nós pode ser utilizada para evitar esse tipo de ataque [Bangash et al., 2017].
- **Ataques do tipo Negação de Serviço (DoS – *Denial of Service*):** consiste em atacar a disponibilidade da rede visando interromper, subverter, destruir a rede ou diminuir a capacidade da rede de fornecer os serviços necessários [Al-Janabi et al., 2017]. Alguns exemplos desse tipo de ataque estão apresentados a seguir:
 - **Interferência (*Jamming*):** é um tipo de ataque que consiste no uso de equipamentos que transmitem sinais com alta potência na mesma frequência de

rádio da rede, com o intuito de causar interferência ou interromper a comunicação legítima entre fonte e destino [Luong et al., 2017]. Uma fonte de interferência pode ser poderosa o suficiente para interromper toda a rede. Em aplicações WBAN, se esse ataque fosse feito para interromper a comunicação com o nó coordenador, os dados coletados pelos sensores não iriam chegar até seu destino final. Assim, os dados registrados na aplicação estariam desatualizados. As defesas típicas contra este ataque envolvem o uso de técnicas de espalhamento de sinal (*Spread Spectrum*), como a de Saltos em Frequência (*Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS*) [Sen e Jaydip, 2009]. Na técnica FHSS, a transmissão é realizada com alteração da frequência numa sequência pseudo-aleatória. Contudo, esses mecanismos exigem mais potência dos dispositivos, e em uma rede com limitação de potência, o custo dessas soluções deve ser levado em consideração [Luong et al., 2017]. Existem também soluções em que os nós identificam uma interferência e entram no modo suspensão por um período para economizar seus recursos [Raymond e Midkiff, 2008].

- **Colisão:** é uma variação do ataque de Interferência. Uma colisão ocorre quando dois ou mais nós tentam transmitir na mesma frequência e no mesmo instante de tempo. Quando os pacotes colidem, eles são descartados e precisam ser retransmitidos. As redes sem fio basicamente evitam a colisão escutando o canal antes de transmitir e durante sua transmissão. Nesse ataque, o invasor envia pacotes contínuos em todas as direções para colidir com os pacotes legítimos que estão sendo transmitidos e, portanto, a retransmissão ocorrerá para outros pacotes. A retransmissão causa atraso e drena a energia dos nós [Bangash et al., 2017]. No caso das aplicações WBAN, os nós sensores esgotariam sua energia e precisariam ser substituídos. Uma defesa típica contra ataques de colisão é o uso de códigos de correção de erros. No entanto, esses códigos também adicionam processamento e sobrecarga de comunicação. Além disso, é razoável supor que um invasor pode danificar uma quantidade de dados maior do que aquilo que pode ser corrigido [Sen e Jaydip, 2009].
- **Buraco Negro (*Black Hole*):** esse ataque tenta destruir os serviços de rede, como roteamento ou encaminhamento de pacotes. Em um protocolo de roteamento típico, uma fonte transmite um pacote de solicitação de rota para todos os nós intermediários antes de enviar pacotes de dados para seu destino. Em seguida, os nós que estão na rota em direção ao destino respondem à origem com pacotes de resposta da rota. Pode existir um nó malicioso que afirma ter a rota mais curta para o destino e depois descarta pacotes recebidos em vez de encaminhá-los para o destino [Luong et al., 2017]. Nas aplicações de saúde, esse ataque pode causar atraso e desperdício de energia, pois os pacotes precisariam ser retransmitidos por outros caminhos. O gerenciamento adequado de chaves e a autenticação dos nós podem proteger o ataque do buraco negro, pois o nó do adversário não poderá se autenticar [Bangash et al., 2017]. Outro mecanismo de defesa é utilização de uma lista de observação que registra o mau comportamento dos sensores com o intuito de reconhecer

os sensores maliciosos e notificar os outros sensores para não se comunicarem com eles [Luong et al., 2017].

- **Ataque Sybil:** um nó que pode assumir várias identidades de maneira ilegítima é introduzido na rede. O invasor pode usar as identidades dos outros nós para participar de algoritmos distribuídos, como a eleição. Um nó com várias identidades em momentos diferentes pode interromper o roteamento ou levar a resultados falsos pela inserção de dados falsos. Em WBAN, o nó malicioso pode usar identidades falsas para enviar informações falsas para o nó coordenador [Javadi e Razzaque, 2013]. É difícil identificar o nó legítimo [Bangash et al., 2017] sem o uso de técnicas de autenticação e métodos de criptografia [Malik et al., 2018]. Há também mecanismos que detectam identidades falsas e isolam o nó malicioso [Sen e Jaydip, 2009].
- **Ataques de Inundação de HELLO:** Muitos protocolos de roteamento em redes sem fio utilizam pacotes HELLO para definir o alcance de rádio entre um nó e seus vizinhos. Um invasor, com alto poder de transmissão, pode transmitir pacotes HELLO falsificados para convencer uma grande quantidade de nós de que são vizinhos do nó transmissor. Dessa forma, os nós inserem o invasor em suas tabelas de roteamento, e tentam enviar pacotes para ele. No entanto, o invasor está fora do alcance dos nós, e a rota é inalcançável. Nas redes WBAN, esse ataque pode causar atraso e desperdício de energia. Esse ataque pode ser evitado pela verificação da birecionalidade do enlace [Fernandes et al., 2006]. A utilização de algoritmo de criptografia também é uma solução para esse tipo de ataque [Malik et al., 2018].
- **Ataques de Inundação (Flooding):** O ataque de inundação é usado para esgotar os recursos de memória enviando um grande número de solicitações de configuração de conexão. Os sensores corporais sofrem com pouco espaço de memória, portanto, são vulneráveis a ataques de inundação. Em WBANs, o nó coordenador é um alvo muito atraente para inundações, pois é o coração do sistema. Se um invasor puder tornar o nó coordenador indisponível para a rede, todo o sistema pode ser bloqueado. Em muitos casos, o nó coordenador está conectado à Internet, o que permite ataques remotos, enquanto os atacantes não podem ter conectividade direta com os sensores corporais. Dessa forma, é necessário fornecer ao nó coordenador boa capacidade de energia, espaço de memória suficiente e mecanismos de segurança fortes, como autenticação, firewalls, constante monitoramento, dentre outros [Javadi e Razzaque, 2013].

As informações de saúde são confidenciais e devem ser protegidas e mantidas sempre em sigilo contra pessoas não autorizadas que possam usar os dados de forma prejudicial ao indivíduo. Diversas soluções de segurança foram desenvolvidas para proteger as redes de sensores sem fio desses fenômenos indesejados. As WBANs herdam a maioria dos desafios conhecidos de segurança das redes de sensores sem fio (WSN). No entanto, características típicas de WBANs, como restrições severas de recursos e condições físicas adversas, apresentam desafios únicos adicionais para suporte de segurança e privacidade [Javadi e Razzaque, 2013]. Os desafios de pesquisa envolvem minimizar o

consumo de bateria, assim como a utilização de protocolos que sejam seguros e ao mesmo tempo não sobrecarreguem os dispositivos em termos de processamento e memória [Ma et al., 2018], [Liang et al., 2012], [Bhangwar et al., 2017], [Selimis et al., 2011].

4.4.2. Gerenciamento dos Dados

Na área de saúde, os dados disponibilizados pelos sensores podem ser utilizados para realização de um diagnóstico ou até mesmo de um tratamento médico. Esses dados são abrangentes, diversificados, heterogêneos e devem proteger a privacidade dos indivíduos. Além disso, é necessário garantir a integridade e a veracidade desses dados, uma vez que uma informação imprecisa ou incorreta pode acarretar erro de diagnóstico ou tratamento médico inadequado para um paciente. Devido a essas características, o domínio de dados médicos é extremamente complexo de gerenciar e usar. Políticas de controle de acesso aos dados também devem ser estabelecidas para proteger a privacidade do indivíduo [Al-Janabi et al., 2017].

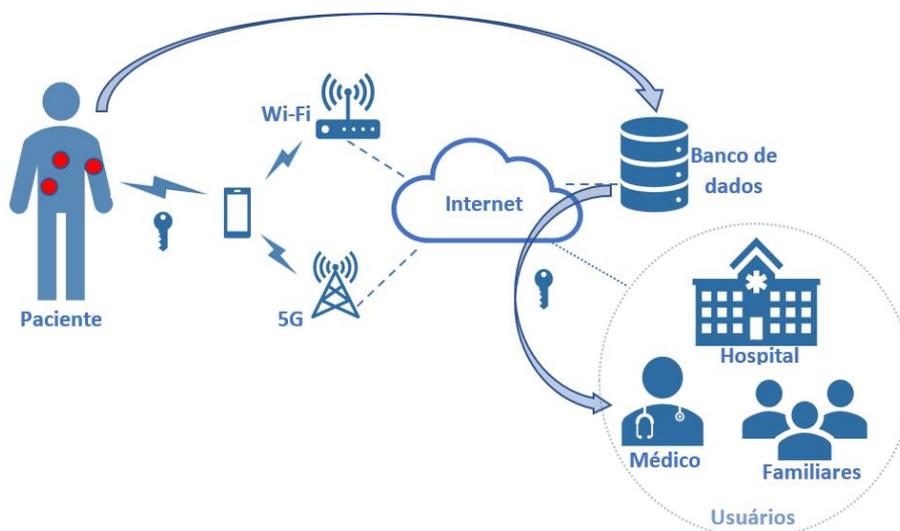


Figura 4.4. Transmissão e armazenamento seguro dos dados de WBAN na área de saúde.

A Figura 4.4 apresenta uma configuração típica de transmissão, armazenamento e coleta de dados em uma rede de sensores corporais sem fio aplicada à saúde. O paciente possui sensores que coletam e transmitem os dados por uma rede sem fio, e esses dados são, geralmente, armazenados em um banco de dados do fornecedor da aplicação do paciente. As informações são disponibilizadas para usuários do sistema de saúde, como médicos, e outros usuários autorizados pelo paciente. Para ter acesso aos dados, os usuários devem possuir uma chave. Nesse cenário, além da proteção dos dados durante a transmissão, é necessário garantir a segurança no armazenamento e na disponibilização da informação. Junto com o crescimento da utilização de ferramentas tecnológicas que facilitam o monitoramento e diagnóstico do paciente, cresce também a quantidade de registros de informações relacionadas à saúde e seu respectivo acesso. As informações médicas devem ser armazenadas com segurança em um prontuário eletrônico, para que as informações do paciente possam ser rastreadas quando transferidas de um médico para outro. Para garantir o armazenamento seguro e o gerenciamento de acesso, algumas

questões fundamentais de segurança devem ser resolvidas. Dentre elas estão a confidencialidade, o não-repúdio, o controle de acesso, a autenticação e a integridade dos dados.

A **confidencialidade** garante o sigilo das informações. Nas redes WBAN, os dados coletados pelos sensores são transmitidos por *smartphones* e podem passar por diversas redes antes de serem armazenadas. Além disso, os acessos aos dados que são feitos por médicos, pacientes e outros autorizados são realizados pelas mais diversas redes. A solução mais comum para garantia da confidencialidade é o uso de criptografia.

Não-repúdio é garantir que um usuário não negue o registro ou a alteração dele no sistema. Os dados médicos podem ser utilizados para tomada de decisões médicas ou em tratamentos, assim, esses dados precisam estar registrados, com a fonte autenticada e não deve ser possível apagar esses dados ou alterá-los.

A política de **controle de acesso** é tipicamente baseada no privilégio e direito de cada usuário autorizado. Em uma WBAN típica, diferentes médicos, equipe de assistência médica e agentes da companhia de seguros médicos são os principais usuários, mas o acesso a todas as informações médicas de um paciente específico pode não ser necessário para todos os tipos de usuários. Por exemplo, um médico em questão pode recuperar os dados de seu paciente, mas nenhuma outra informação do paciente [Chatterjee et al., 2014].

A **autenticação** é a verificação da identidade do usuário, o que é essencial antes de revelar qualquer tipo de informação sigilosa armazenada ou realizar alguma transação. Já a **integridade** é garantia de que a informação recebida não foi modificada. Um componente vital da integridade é garantir que os dados de assistência médica estejam totalmente protegidos contra ameaças ou perigos de segurança razoavelmente previstos e que todo o seu ciclo de vida seja totalmente auditável. Algumas soluções conhecidas têm sido utilizadas para controle de acesso e autenticação, sendo as mais comuns a validação por senha; a utilização de *token*; e o uso de chaves criptográficas. O uso de biometria como autenticação do usuário também vem sendo amplamente utilizado, pois os *smartphones* já possuem o sensor biométrico instalado. Em um sistema de saúde, as informações de saúde oferecidas pelos provedores e as identidades dos consumidores devem ser verificadas na entrada de cada acesso.

Em relação à garantia de integridade, a função resumo criptográfico (*hash*) é um dos mecanismos utilizados, e consiste em criar um resumo por meio de um algoritmo que faz o mapeamento dos dados. É considerada uma função unidirecional, ou seja, de difícil reversão, e por isso é bastante utilizada para assinaturas digitais, nas quais faz-se um resumo da mensagem antes da assinatura digital pela chave criptográfica. A assinatura digital, por sua vez, garante também a autenticidade da informação, ou seja, que ela foi produzida realmente por quem é de direito.

Uma tecnologia mais recente que pode ser empregada na segurança dos dados na área de saúde é a cadeia de blocos (*blockchain*). Essa tecnologia é bastante popular no setor de criptomoedas. A cadeia de blocos pode ser empregada para armazenar os dados do usuário da WBAN, evitando a violação dos dados devido às características intrínsecas da cadeia de blocos [Ren et al., 2019]. A cadeia de blocos é capaz de garantir as propriedades fundamentais da segurança da informação, como integridade, autenticidade e

não-repúdio, devido ao uso de resumos criptográficos (*hash*) encadeados entre os blocos da cadeia de blocos. Além disso, as estruturas de dados da cadeia de blocos também são adequadas para coletar dados de sensores e aplicativos móveis, aprimorando a análise dos riscos versus os benefícios dos tratamentos, bem como dos resultados relatados pelos pacientes. Portanto, essa tecnologia é vista como uma solução promissora para futuros serviços de saúde [de Oliveira et al., 2019] e sua integração com as últimas pesquisas sobre segurança é crucial para a implementação de uma arquitetura de saúde segura que suporte serviços médicos avançados [Mucchi et al., 2019].

4.4.3. Privacidade e a Lei Geral de Proteção de Dados

A palavra privacidade teve origem do latim, *privatus*, que significa “privado, particular, próprio”. O vocábulo *privacy*, do direito inglês, deu significado ao termo *right to privacy*, definido pelo *Cambridge Advanced Learner’s Dictionary* como “*direito de alguém manter seus assuntos e relacionamentos pessoais secretos*”. Na legislação dos EUA, o termo “*healthcare information privacy*” ou “privacidade das informações de saúde” é definido como: *o direito de um indivíduo controlar a aquisição, o uso ou a divulgação de seus dados de saúde identificáveis* [HIMSS, 2010]. No Brasil, a divulgação de informações da vida privada é considerada violação ao direito fundamental da privacidade, e isto inclui os dados médicos de uma pessoa. Visando proteger essas informações privadas de uma pessoa, inclusive por meios digitais, foi criada a LGPD - Lei Geral de Proteção de Dados.

O texto da LGPD foi sancionado pela Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018, e entraria em vigor após 24 meses da sua publicação, com exceção dos artigos referentes a criação da Autoridade Nacional de Proteção de Dados (ANPD), que estão em vigor desde 28 de dezembro de 2018. Contudo, o texto da Lei foi modificado em abril de 2020, e a LGPD entrará em vigor somente a partir de maio de 2021. Essa alteração foi realizada com a justificativa de que a pandemia do COVID-19 prejudicou a adequação das empresas à LGPD. Na Europa, existe legislação similar em vigor desde maio de 2018, a *General Data Protection Regulation* (GDPR), e de acordo com relatório da *GLA Piper* – escritório de advocacia multinacional –, já foram aplicadas pelas autoridades europeias multas que ultrapassam o valor 100 milhões de euros a empresas que descumpriram as regras da GDPR. Na legislação brasileira, as multas previstas podem atingir até 2% do faturamento da empresa, limitada a 50 milhões de reais por infração [Brasil., 2018].

O artigo primeiro da LGPD diz que seu objetivo é dispor sobre o tratamento de dados pessoais, inclusive nos meios digitais, por pessoa natural ou por pessoa jurídica de direito público ou privado, para proteger os direitos fundamentais de liberdade e de privacidade e o livre desenvolvimento da personalidade da pessoa natural. A privacidade é considerada um direito fundamental pela LGPD, e está de acordo com a Constituição Federal Brasileira de 1988, que prevê a inviolabilidade da privacidade por meio dos termos intimidade e vida privada, e ainda assegura direito a indenização em caso de violação.

Dessa forma, no Brasil, a divulgação de dados pessoais é considerada violação ao direito fundamental da privacidade. A LGPD traz algumas definições importantes sobre os dados pessoais: primeiro, dado pessoal é a informação relacionada a pessoa natural identificada ou identificável; segundo, dado pessoal sensível inclui dado referente à saúde

ou à vida sexual, dado genético ou biométrico, quando vinculado a uma pessoa natural; e, terceiro, dado anonimizado é dado relativo a titular que não possa ser identificado, considerando a utilização de meios técnicos razoáveis e disponíveis na ocasião de seu tratamento. Assim, está explícito que dado referente à saúde de uma pessoa é classificado como dado pessoal sensível, sendo o tratamento desse dado restrito a hipóteses específicas previstas no artigo onze. Sobre a definição de dado anonimizado, para a área de saúde, significa dizer que, se as informações médicas forem reveladas sem a possibilidade de identificação do paciente, essas podem ser classificadas como anonimizadas. Na prática, um médico poderia diagnosticar uma paciente sem conhecer sua identidade, apenas analisando seus dados médicos.

Portanto, em uma rede de sensores corporais sem fio, os dados privados dos pacientes devem ser protegidos desde a sua medição até o seu armazenamento e durante todo o tempo em que estiverem armazenados. Com o objetivo de minimizar ameaças à privacidade dos indivíduos, os detentores de dados têm realizado a supressão de dados de identificadores únicos no momento de sua apresentação. Dados como nome e número de documentos pessoais não são divulgados, e, assim, acreditam que o anonimato está garantido, pois os dados resultantes geram um olhar anônimo. Entretanto, este conjunto de dados teoricamente anonimizados pode ser combinado com outras bases de dados, ameaçando a privacidade do indivíduo [El Emam e Dankar, 2008]. Desse modo, é de suma importância que as informações relativas à saúde sejam preservadas, e para isso, algumas questões relacionadas à privacidade devem ser consideradas: (i) Quem pode ter permissão para possuir os dados; (ii) que tipo de dados médicos, quanto e onde os dados devem ser coletados; (iii) quem pode ter permissão para inspecionar os dados médicos; e (iv) a quem os dados médicos devem ser revelados sem o consentimento do paciente [Kumar e Lee, 2011].

4.5. Processamento em Nuvem para Dados de Sensores de Assistência Médica

A computação em nuvem representa um avanço técnico importante para o desenvolvimento de aplicativos que realizam o processamento de grandes volumes de dados com alto desempenho e facilitam o gerenciamento das diferentes ferramentas no ambiente médico [Pino e Salvo, 2013]. A computação em nuvem permite que os usuários usem infraestrutura, plataformas e software fornecidos pelos provedores de nuvem sob a forma de serviços. Consequentemente, a computação em nuvem reduz a necessidade do usuário final investir em infraestrutura física de computação, o que incorre em custos de capital para a instalação (CAPEX – *CAPital EXpenditure*) e custos operacionais para a manutenção do serviço funcional (OPEX - *Operational EXpenditure*). Assim, a computação em nuvem é amplamente apontada como a infraestrutura de computação da próxima geração. Outro ponto importante que diferencia a computação em nuvem de outras abordagens de computação paralela e distribuída, como as grades computacionais, é que os usuários utilizam elasticamente os recursos sob demanda. Como resultado, os aplicativos móveis podem ser rapidamente provisionados e liberados com o mínimo esforço de gerenciamento ou as iterações do provedor de serviços [Dinh et al., 2013].

O uso da tecnologia de computação em nuvem no ambiente de saúde tornou-se crucial para sustentar os requisitos das estruturas médicas e de saúde. Os requisitos se distinguem em dois aspectos principais dessa comunidade. O primeiro está relacionado

aos aspectos gerenciais e administrativos. O segundo está relacionado ao médico ou pesquisador que precisa da infraestrutura para processar, armazenar, gerenciar dados do paciente, realizar análises, diagnósticos e assim por diante. As estruturas modernas de saúde devem, portanto, ter arquiteturas que garantam a maior velocidade no gerenciamento de operações de TI, configuração, reconfiguração de infraestrutura, aplicativos e serviços, assim como a automação de tarefas específicas simples e repetitivas de saúde, reduzindo o número de erros e recursos, durante o uso de cada aplicativo de saúde específico.

As soluções existentes na nuvem para o ambiente de saúde envolvem diferentes aspectos. Uma categorização sobre soluções que usam a computação em nuvem no ambiente de saúde pode ser feita definindo quais os requisitos cada aplicação deve prover. As infraestruturas de computação e aplicações de saúde devem garantir a prestação de serviços que atendam a requisitos específicos [Elhoseny et al., 2017]:

- autoatendimento, em que o usuário, por exemplo, um médico, deve ser capaz de solicitar os serviços de computação, como aumento da largura de banda, poder de computação, disponibilização de aplicativos, por conta própria, sem a intervenção dos gerentes de infraestrutura;
- acessibilidade global; em que os serviços devem estar acessíveis a partir de vários dispositivos, de forma ubíqua, e garantir a privacidade e a criptografia de dados sensíveis;
- elasticidade, em que os recursos devem poder ser ajustados para cima ou para baixo rapidamente e, em alguns casos, automaticamente.

Essas são características típicas da computação em nuvem e, por isso, na área da saúde, o uso da computação em nuvem tem sido proposto como um meio para manter registros de saúde, monitorar pacientes, gerenciar doenças e cuidar de maneira mais eficiente e eficaz, ou colaborar com colegas e realizar a análise de dados. Algumas dessas propostas relacionam-se a diagnóstico de doenças e à privacidade dos dados dos pacientes. Alguns exemplos de aplicativos de assistência médica baseados na computação em nuvem são a integração de dispositivos de Internet das Coisas (IoT) e a nuvem para o monitoramento de doenças; o uso da computação em nuvem como infraestrutura de base para sistemas de suporte à decisão para rastrear o câncer e outras doenças; métodos para melhorar o autocuidado e o controle glicêmico de pacientes; métodos para melhorar o diagnóstico de doenças de pele usando redes neurais; diagnóstico de diabetes executado usando o sistema especialista no Google App Engine; antecipação do diagnóstico de doenças cardíacas usando algoritmos de aprendizado de máquina; método para proteger sistemas de saúde com base em análises de *big data*; método introduzido para manter a privacidade na exibição de imagens médicas; soluções de segurança para a assistência médica em termos de transferência de dados, armazenamento de dados e intercâmbio de dados no ambiente em nuvem.

Contudo, as soluções atuais voltadas para as aplicações de saúde apresentam vários desafios associados à automação nesse ambiente, devido à heterogeneidade de dispositivos, de protocolos e de interfaces de programação. Além disso, há a dificuldade no

requisito de implantação flexível e sem impacto de novos recursos e aplicativos. Dessa maneira, o paradigma de computação em nuvem é, também, uma interface de integração entre diferentes sistemas. A computação em nuvem é um paradigma para estruturar recursos de TI que redefine a maneira de gerenciar nossos sistemas computacionais. Os modelos dos serviços fornecidos são:

- Software como Serviço (SaaS – *Software as a Service*), o software é entregue como serviço executado na nuvem, ou seja, a interface entre o usuário e a nuvem é o próprio software entregue pelo provedor de nuvem;
- Plataforma como Serviço (PaaS – *Platform as a Service*), o provedor de nuvem fornece serviços que permitem desenvolver, testar e implantar um aplicativo ou software;
- Infraestrutura como Serviço (IaaS – *Infrastructure as a Service*), o provedor de nuvem fornece a infraestrutura de TI: processadores, armazenamento, serviços de rede. Contudo, a execução da plataforma e do software são de responsabilidade do cliente que contrata o provedor de nuvem.

Diferentes empresas desenvolvem software para criar e gerenciar a arquitetura em nuvem. Os padrões de distribuição de serviço em nuvem são providos por nuvens públicas, nuvens privadas ou nuvens híbridas. Nuvem pública se refere ao modelo de provisão de serviços em que os serviços de computação em nuvem são entregues pela Internet a partir de um provedor de serviços para diferentes clientes. Nuvem privada se refere ao modelo em que os serviços de computação em nuvem são fornecidos em uma intranet ou na Internet através de redes privadas virtuais (VPN – *Virtual Private Networks*) da empresa para suas diversas unidades. Vale destacar que, nesse modelo, a infraestrutura da nuvem fica restrita à rede privada, mesmo que passe pela Internet, pois o tráfego é criptografado e isolado. Nuvem híbrida se refere ao modelo em que os serviços são construídos em infraestrutura híbrida, que usa o modelo privado para certos aspectos, como o armazenamento de dados, e o modelo público para outros, por exemplo, as interfaces de acesso.

4.5.1. Aplicações de Computação em Nuvem na Saúde

Alguns dos principais serviços de saúde suportados pela computação em nuvem são o gerenciamento de dados, a telemedicina, os sistemas de informações gerenciais e os sistemas de apoio à decisão [Zafar et al., 2014, Elhoseny et al., 2017].

O gerenciamento de dados é um problema primordial no setor de saúde. Os dados de assistência médica contêm informações pessoais e confidenciais que podem ser atraentes para os ataques de criminosos cibernéticos, como por exemplo, os que buscam por se beneficiar financeiramente do roubo de tais dados. Nesse caso, podem vender os dados a um fornecedor terceirizado, que pode realizar uma análise de dados para identificar indivíduos não seguráveis devido ao seu histórico médico ou desordem genética. Além disso, para privacidade e integridade dos serviços de saúde, os dados devem ser protegidos não apenas contra invasores externos, mas também contra tentativas de acesso não autorizado de dentro da rede ou do ecossistema, como um funcionário do provedor

de serviços de saúde ou provedor de serviços em nuvem. Os comportamentos maliciosos podem ser intencionais ou não intencionais, e as organizações podem ser penalizadas ou responsabilizadas criminalmente por tais incidentes. As abordagens para a armazenagem segura incluem o uso de primitivas criptográficas, como as baseadas em infraestrutura de chave pública e nuvens públicas para garantir a confidencialidade e a privacidade dos dados. No entanto, isso limita a capacidade de pesquisa sobre os dados, no sentido de que os profissionais de saúde precisam descriptografar os dados potencialmente grandes antes de realizar consultas sobre os dados, resultando em aumentos de tempo e custos para a recuperação de dados e atraso no diagnóstico [Esposito et al., 2018]. Nesse sentido, a computação em nuvem desponta como uma solução escalável para o armazenamento de grandes volumes de dados e, também, escalável quanto ao processamento para realizar a criptografia e descriptografia quando necessário. Vale ainda destacar que um problema crucial em saúde diz respeito ao gerenciamento de emergências. Durante o gerenciamento de casos de emergência, o acesso imediato a partes dos dados anteriores do paciente e aos dados de atendimento pré-hospitalar permite diagnóstico e tratamento adequados, elimina o risco de erros médicos e de medicamentos e simplifica o processo de assistência médica de emergência. Koufi *et al.* descrevem uma arquitetura orientada a serviços (SOA) baseada na computação em nuvem para a implementação de um sistema eletrônico de registro de pacientes de emergência que fornece funcionalidades para gerenciar, recuperar, transformar, trocar e armazenar informações de casos de emergência e informações médicas críticas do paciente de maneira distribuída e ubíqua [Koufi et al., 2010]. Por sua vez, Oliveira *et al.* propõem um protocolo de criptografia baseada em atributos de política do texto cifrado para acessar registros médicos na nuvem. Embora o registro médico eletrônico (EMR – *Electronic Medical Record*) deva manter a privacidade do paciente, o registro deve estar prontamente disponível para os profissionais de saúde em caso de emergência. Assim, a proposta consiste em um protocolo de criptografia baseada em atributos para fornecer acesso ao EMR criptografado do paciente durante o tratamento de emergência. A proposta garante autorização para acessar os dados do paciente apenas para o período de emergência [de Oliveira et al., 2020].

A telemedicina se apoia em tecnologias de informação e comunicação que fornecem serviços de atendimento ao paciente além dos centros médicos. As tecnologias de telemedicina, como telecirurgia, conferência de áudio e vídeo e telerradiologia, trazem um novo modelo de colaboração e comunicação entre várias partes interessadas na área da saúde. Armazenamento de bancos de dados em nuvem, registros médicos eletrônicos, aprendizado de máquina e cuidados de longo prazo são os desafios e tecnologias mais comuns para a telemedicina e o teleatendimento que podem ser suportados pela computação em nuvem [Hsu, 2017].

O setor de saúde iniciou o uso de sistemas de gerenciamento de informação (MIS – *Management Information System*) para organizar o fluxo de dados dentro e fora da empresa. Os médicos usam o sistema para fornecer melhor atendimento aos pacientes. Os pacientes o utilizam para consultar serviços, enquanto os administradores usam para gerenciar os recursos humanos, cobrança e finanças. A direção dos serviços de saúde usa o sistema para fins de tomada de decisão e previsão. O desenvolvimento desses sistemas enfrenta desafios que incluem pressões e gerenciamento de várias partes interessadas para a prestação de serviços. O uso da tecnologia de computação na nuvem tem o potencial

de reduzir custos e melhorar os resultados do serviço. A computação em nuvem promove serviços que estão disponíveis o tempo todo e de todos os locais e, assim, é um novo mecanismo de entrega de recursos de computação [Ali et al., 2018].

Um sistema de apoio à decisão clínica é um sistema especialista que emula o conhecimento e o comportamento de um especialista médico para gerar conselhos na análise do prontuário do paciente, com base em dados de saúde previamente coletados. Médicos e pacientes podem usar esses sistemas para fins de diagnóstico e medicação. A capacidade da mente humana é atualmente insuficiente para se estabelecer decisões ideais com o grande volume de dados e com a complexidade de requisitos analíticos. Além do apoio à decisão clínica, o suporte à decisão também deve ser considerado para decisões de negócio. A implementação de sistemas de suporte à decisão em organizações de saúde pode assumir diferentes níveis estratégicos, como abordar algumas perguntas sobre a dimensão operacional; ajudar passivamente na criação de relatórios para execução de procedimento; apoiar a modificação de estratégias; ou tratar os sistemas de apoio à decisão como recursos estratégicos na tomada de decisão [Sousa et al., 2019].

4.5.2. Integração entre Internet das Coisas e a Computação em Nuvem

Dispositivos de Internet das Coisas (IoT), os sensores ou objetos inteligentes, são fundamentais na estrutura de assistência médica amparada por Tecnologias Informação de Comunicação (TICs). Esses dispositivos possibilitam que os aplicativos de assistência médica utilizem dados coletados em tempo real, ou quase real, e permitem a integração com a computação em nuvem para o processamento e a geração de relatórios e resultados [Botta et al., 2016]. Cada componente cumpre uma função específica na estrutura de assistência médica da IoT. Os dados coletados são geralmente transmitidos a servidores remotos, hospedados na nuvem, para análise, e os resultados são exibidos em tempo real. Os servidores podem executar em nuvens IaaS, como máquinas virtuais dedicadas a um serviço de IoT, ou executam como serviço nas plataformas de nuvem, abordagem comum em soluções comerciais como as da Google e da Amazon.

Quando se trata da implementação de um novo sistema de assistência médica baseado em IoT e computação em nuvem, é necessário elencar todas as atividades e casos de uso associados ao sistema, pois diferentes enfermidades requerem procedimentos distintos de tratamento. Nesse sentido, dois fatores transversais são a facilidade de uso e o custo reduzido obtido por usuários e fornecedores de aplicativos e serviços. A nuvem facilita o fluxo entre a coleta de dados dos sensores e o processamento desses dados, além de permitir a rápida configuração e integração de novas funcionalidades, mantendo baixos os custos de implantação e processamento de dados. Consequentemente, análises de complexidade sem precedentes e algoritmos de tomada de decisão e previsão baseados em dados podem ser empregados com baixo custo, fornecendo meios para aumentar as receitas e reduzir os riscos. Nesse contexto, o processamento oportuno de enormes dados de sensores em fluxo contínuo, sujeito a restrições e incertezas de energia e rede, foi identificado como o principal desafio. A nuvem oferece novas oportunidades na agregação de dados dos sensores e na exploração dos agregados para maior cobertura e relevância, mas ao mesmo tempo afeta a privacidade e a segurança.

A integração do dispositivo de IoT e as aplicações que executam na nuvem reque-

rem algum software de adaptação e encaminhamento dos dados, chamados de *drivers*. A maioria dos *drivers* de interconexão entre dispositivos de IoT e a nuvem se enquadra nas categorias de comunicação, armazenamento ou computação, enquanto outros, mais básicos, têm implicações em todas essas categorias.

Aplicações de IoT em saúde se caracterizam por uma heterogeneidade muito alta de dispositivos, tecnologias e protocolos. Assim, a interoperabilidade é um requisito importante. A interoperabilidade consiste na capacidade de equipamentos e sistemas de diferentes fornecedores operarem juntos. A interoperabilidade é mandatória, já que sensores e dispositivos inteligentes, como *smartwatch* e sensores corporais, emergem como uma tecnologia de larga escala. A interoperabilidade é essencial tanto entre dispositivos inteligentes de diferentes fabricantes quanto entre os dispositivos e as diversas infraestruturas de nuvens existentes. Dispositivos inteligentes devem interoperar da camada física até a camada de aplicação ou integração. A interoperabilidade da camada física ocorre quando equipamentos de diferentes fornecedores se comunicam fisicamente entre si. Na camada física, os dispositivos inteligentes devem concordar em configurações como as frequências físicas nas quais a comunicação ocorre, que tipo de modulação os sinais físicos devem utilizar e a taxa na qual as informações são transferidas. Na camada da rede, os dispositivos devem concordar quanto ao formato das informações enviadas e recebidas pelo canal físico e como os dispositivos são endereçados, além de como as mensagens devem ser transportadas através de uma rede para a Internet das Coisas. Na camada de aplicação, os dispositivos inteligentes devem compartilhar uma visão comum sobre como os dados devem ser inseridos ou extraídos de uma rede de Internet das Coisas, bem como os dispositivos inteligentes devem ser alcançados a partir de sistemas externos ou na nuvem [Vasseur e Dunkels, 2010].

4.6. Desafios e Tendências

4.6.1. Desafios da Interoperabilidade entre Dispositivos e Sistemas de Saúde

A disponibilidade de informações da saúde dos pacientes de forma contínua, sustentável e confiável não tem se mostrado uma tarefa trivial, principalmente devido a alguns fatores: falta de registro, registro inadequado e incompleto, falta de padronização na aplicação de vocabulário médico, mudanças constantes nas rotinas administrativas e nas diretrizes clínicas aplicadas às unidades de saúde municipais, estaduais e federais [Araujo et al., 2014].

A interoperabilidade é a capacidade de sistemas de domínios diferentes compartilharem e trocarem informações. Os sistemas de informação em saúde atuam no processamento de informações de fontes de dados bastante heterogêneas, automatizando de forma integral ou parcial, processos de agendamento, atendimento, triagem, diagnóstico e tratamento de pacientes. Os dados da saúde perpassam diversos domínios, incluindo os administrativos, clínicos e demográficos, distribuídos em diferentes sistemas de informação, elevando o grau de heterogeneidade e complexidade presente no domínio da saúde [Iroju et al., 2013].

Sistemas de informação em saúde dependem da interoperabilidade para obter e compartilhar dados. São vários os benefícios da definição de um modelo de interoperabilidade. Por exemplo, os sistemas de informação laboratoriais podem fornecer resultados

críticos de testes clínicos que podem salvar vidas se chegarem ao lugar certo em tempo hábil. Os sistemas de informação usados em farmácias podem detectar pedidos de medicamentos inapropriados ou em dosagens inapropriadas para aquele paciente, avisando profissionais e até os pacientes na identificação de um problema potencial [Frisse, 2017].

A multiplicidade dos sistemas de informação em saúde comerciais e o desejo dos sistemas de saúde de controlar e usar estrategicamente os dados do paciente são alguns dos principais impedimentos à interoperabilidade [Benson e Grieve, 2016]. Bilhões de dólares já foram investidos no desenvolvimento de modelos de interoperabilidade para que sistemas de informação em saúde consigam atender aos objetivos da interoperabilidade [Edmunds et al., 2016]. Nos EUA, a questão da interoperabilidade se tornou política de governo federal. Um exemplo é a HIMSS (*Healthcare Information and Management System Society*), organização sem fins lucrativos que ajuda no desenvolvimento de políticas públicas, no desenvolvimento de força de trabalho e na definição das melhores práticas para o ecossistema da saúde digital [Furukawa e Pollack, 2020].

Uma abordagem considera a interoperabilidade em pelo menos três níveis de complexidade. A forma mais simples e usual é a interoperabilidade de transporte simples de dados entre os sistemas. Como em qualquer comunicação, deve haver um padrão de empacotamento e transporte das informações implementado pelos sistemas de envio e recebimento. Nesse nível, o mecanismo de transporte não possui qualquer conhecimento ou entendimento do significado dos dados [Di Martino et al., 2018].

O segundo nível é a interoperabilidade estruturada. Os dados são empacotados em um ambiente pré-definido, de maneira que a identidade e a localização de cada elemento dentro da estrutura seja entendida por todos os sistemas. Isso permite que os dados sejam analisados quando recebidos e armazenados nos locais apropriados no sistema de recebimento. Um padrão para isso deve identificar os valores permitidos de cada elemento de dados para garantir que o remetente e os sistemas de recebimento estejam trocando informações válidas.

O terceiro nível é o da interoperabilidade semântica, o que requer que os dados sejam suficientemente padronizados para que seu significado fique claro para os sistemas de envio e recebimento. Um exemplo do que isso implica seria que os dados clínicos coletados de um registro eletrônico de saúde *A* possam ser usados com segurança por um sistema de apoio à decisão *B* depois de receber esses dados [del Carmen Legaz-García et al., 2016].

Atualmente, as interoperabilidades de transporte e estruturada são amplamente utilizadas. Para a interoperabilidade semântica, há especificações de domínio público disponibilizadas por renomadas instituições que se propõem ser utilizadas como padrão de interoperabilidade. Contudo, na prática, poucas encontram-se efetivamente implementadas, mais por questões políticas do que tecnológicas [Benson e Grieve, 2016]. A Política Nacional de Informação e Informática em Saúde (PNIIS) cita, entre as diretrizes relacionadas a estratégia de saúde digital para o Brasil, a necessidade do estabelecimento de um padrão que permita a construção do Registro Eletrônico de Saúde (RES) do cidadão por meio da identificação unívoca de usuários e protocolos de interoperabilidade eletrônica e/ou digital entre os equipamentos e sistemas.

O OpenEHR é uma comunidade virtual internacional que atua na elaboração e governança de especificações que permitam aos sistemas de informação em saúde apresentar interoperabilidade com segurança. O OpenEHR também fornece uma série de ferramentas de autoria para serem usadas por médicos e especialistas do domínio na descrição de conceitos aplicados a área de saúde. A abordagem do OpenEHR ocorre em dois níveis, onde os modelos de domínio e o modelo de referência são elaborados por perfis de profissionais distintos. O modelo de referência é desenvolvido por profissionais de tecnologia da informação e comunicação, seguindo uma estrutura lógica do Registro Eletrônico de Saúde (RES). O modelo de domínio é especificado por especialistas do domínio, médicos, enfermeiros, farmacêuticos, nutricionistas e demais profissionais da saúde, que elaboram a descrição da informação clínica, seguindo a estrutura lógica descrita no modelo de referência, denominando esse artefato como arquétipo. O OpenEHR disponibiliza uma biblioteca de cerca de 500 arquétipos e 6500 elementos de dados, denominada CKM (*Clinical Knowledge Manager*), facilitando o conhecimento clínico e eliminando a demanda de modelagem de um mesmo elemento mais de uma vez. Um ponto de dificuldade é que o OpenEHR se baseia em um modelo de governança centralizado. Antes de ser utilizado pelo sistema de informação em saúde, o arquétipo precisa do aceite de toda a comunidade que governa o CKM, o que torna o processo de implantação de novos arquétipos moroso e bastante custoso [Iroju et al., 2013]. Ainda assim, a Portaria do SUS nº. 2073 de 31 de agosto de 2011 cita o OpenEHR como modelo de referência para os dados de saúde do Ministério da Saúde. Contudo, poucos resultados práticos são encontrados no Brasil.

O HL7 é outro padrão de interoperabilidade de dados em saúde. Ele fornece uma estrutura e padrões relacionados para o intercâmbio, integração, compartilhamento e recuperação de informações eletrônicas de saúde. Esses padrões definem como as informações são empacotadas e comunicadas de uma parte para outra, definindo a estrutura e os tipos de dados necessários para uma integração entre sistemas. Além disso, os padrões HL7 suportam diretrizes clínicas, e a avaliação de serviços de saúde. As versões mais usadas do HL7 são a versão 2 e a versão 3. A versão 2 é mais utilizada no intercâmbio de resultados dos testes laboratoriais, com um foco maior na interoperabilidade estrutural, aplicando a tecnologia EDI/X12, já considerada antiga. A versão 3 usa XML, o que torna as mensagens HL7 mais legíveis [Weber-Jahnke et al., 2012]. Inspirado no OpenEHR descrito anteriormente, o HL7 agrupa as definições em duas categorias de referência. A primeira é denominada modelo de informação de referência, ou RIM (*Reference Information Model*), onde são definidos padrões de tipos primários usados nos sistemas de informação em saúde, bem como a arquitetura de documentação clínica, perfis de gerenciamento de registros eletrônicos de saúde, e a representação do conhecimento clínico, o que facilita o desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão. Da mesma forma que o OpenEHR, o HL7 conta com um modelo de governança centralizado, ou seja, as decisões quanto a definição de uma nova informação clínica são tomadas por 100% do consenso da comunidade participante da definição, antes da sua liberação para o uso.

Uma arquitetura centralizada e compartilhada está sempre suscetível a influências políticas e governamentais e, portanto, o seu nível de confiança é baixo. Um modelo de interoperabilidade de informações de saúde em ambiente federado ajuda bastante a resolver essas preocupações. Em um ambiente federado, os dados originais permanecem na fonte. Os participantes devem, então, converter seus dados em algum formato padrão de

resposta, ou devem mapear suas informações em um modelo de dados padrão geralmente armazenado em um servidor separado, que serve para manipular consultas e respostas. O exemplo mais bem sucedido atualmente é o OHDSI (*Observational Health Data Sciences and Informatics*), e seu modelo de dados OMOP (*Observational Medical Outcomes Partnership*). OHDSI foi criado para permitir a vigilância ativa da segurança de medicamentos com apoio do governo e da indústria farmacêutica, usando dados observacionais coletados durante o atendimento ao paciente [Park, 2017].

Em 2011, Grahame Grieve propôs uma nova abordagem de interoperabilidade chamada Recursos para Saúde (RFH - *Resources for Health*). Essa iniciativa, mais tarde, foi denominada FHIR (*Fast Healthcare Information Resources*). O FHIR introduz o conceito de modelo de dados simplificado para cuidados de saúde. Esse modelo consiste em recursos de conteúdo intencionalmente limitados, acordados por 80% ou mais dos participantes do esforço de definição, priorizando a usabilidade e algumas diretrizes operacionais, com segurança e consistência da informação. O FHIR usa uma arquitetura orientada a serviços web, com funções de busca de recursos e de CRUD (acrônimo para Criar, Ler, Atualizar e Excluir) dos registros clínicos de saúde. As especificações do FHIR abrangem uma lista de 13 módulos: 1. infraestrutura básica de definição, 2. suporte ao desenvolvedor, 3. segurança e privacidade, 4. conformidade, 5. terminologia, 6. RDF e ontologias, 7. administração, 8. conteúdo clínico, 9. medicamento, 10. diagnóstico, 11. fluxo de trabalho, 12. financeiro, 13. raciocínio clínico. Os módulos somam mais de 150 recursos para saúde [Braunstein, 2018].

4.6.2. Desafios do Processamento em Fluxo

As aplicações médicas geram um volume massivo de dados heterogêneos provenientes de textos clínicos, imagens biomédicas, registros médicos eletrônicos, dados genéticos, sinais biomédicos e redes sociais. O processamento de dados em fluxo permite que esses dados sejam coletados, integrados, analisados e visualizados em tempo real, isto é, enquanto os dados estão sendo produzidos por sensores. O objetivo das soluções de processamento em tempo real dos dados é permitir o processamento de fluxos de dados contínuos e não limitados, integrados a partir de fontes *online* e históricas, de forma rápida e escalável. Assim, as soluções de processamento de dados em fluxo são projetadas para dar suporte à análise de grandes volumes de dados em tempo real mantendo elevada escalabilidade, disponibilidade e tolerância a falhas. Nas aplicações médicas, existe uma necessidade cada vez maior de obter informações em tempo real, a partir da análise de um volume de dados massivo a fim de aumentar a qualidade dos resultados produzidos.

Os desafios existentes no processamento de dados em fluxo se relacionam a diversos aspectos da análise de dados. Primeiramente, os desafios se relacionam com os três principais V's da análise de grandes volumes de dados, a volatilidade, a velocidade e volume [Kreml et al., 2014]. O volume e a velocidade exigem que um grande volume de dados seja processado em um intervalo de tempo limitado. A volatilidade tem relação com o tempo de validade de um determinado dado. Devido à dinâmica do ambiente, os padrões podem mudar constantemente, de forma que dados antigos podem ter pouca utilidade. A volatilidade pode afetar os modelos de análise, modificando o alvo, as características disponíveis e provocando desvios de conceito [Medeiros et al., 2019]. O desvio de conceito nada mais é do que a mudança na distribuição condicional da saída,

dado o vetor de características de entrada, que pode ter sua distribuição inalterada. Para lidar com a velocidade e o volume, é necessário desenvolver abordagens que analisam os dados de forma incremental à medida que eles chegam. Também existem desafios que se relacionam às diversas etapas da análise de grandes volumes de dados [Cortés et al., 2015] e outros que são impostos tanto pelas características do cenário de aplicação como pelas características inerentes ao tipo de dado coletado em aplicações de sensoriamento em saúde.

Os dados obtidos de sensores em aplicações de saúde se caracterizam pela alta dimensionalidade, irregularidades, informações faltantes, esparsidade, ruído e enviesamento, dificultando a análise dos dados [Lee et al., 2017]. A elevada dimensionalidade é proveniente da existência de inúmeras características (*features*) nos dados coletados por múltiplas fontes. A elevada dimensionalidade é desafiadora porque introduz mais parâmetros no modelo, aumentando sua complexidade. A irregularidade é causada pelo fato de os dados serem capturados com um padrão de tempo irregular, seja porque os sensores não funcionam de forma contínua, seja porque ocorre falha na transmissão dos dados. Dados faltantes e esparsos são recorrentes no cenário da saúde e isso pode ser causado tanto pela coleta de dados insuficiente como por falta de documentação. No caso da coleta insuficiente, o sistema que monitora o paciente não verifica uma determinada característica, provocando a falta da informação nos dados. Já no problema da documentação, apesar de o sistema de monitoramento verificar todas as características necessárias, o valor obtido não é armazenado, seja devido a um erro humano ou de transmissão. Uma consequência imediata da falta de dados e da irregularidade é a obtenção de um conjunto de dados esparsos. Esses dados podem, ainda, ser ruidosos devido a diversas razões, como codificação imprecisa ou uma convenção de nomes inconsistente. O enviesamento dos dados ocorre quando o registro armazenado depende do julgamento do médico em relação ao paciente. Pode ocorrer enviesamento também porque, em geral, são coletados mais dados sobre pacientes doentes do que sobre pacientes sãos. Ademais, os dados analisados são sensíveis, uma vez que são coletados de dispositivos pessoais e envolvem informações sobre o estado de saúde do indivíduo. Dessa forma, acrescentam-se ainda desafios de privacidade e confidencialidade.

Durante a aquisição e a exploração dos dados, deve-se coletar e filtrar um fluxo de dados de entrada massivo gerado por inúmeras fontes heterogêneas, com uma determinada frequência definida pela aplicação. Um desafio crítico nesse momento é a filtragem em tempo real para descartar dados redundantes sem a perda de informação útil. Os filtros podem ser definidos diretamente na fonte, ou em uma camada superior da arquitetura de processamento. Outro desafio dessa etapa é suportar um número variável de fontes conectadas simultaneamente, de forma a evitar picos que sobrecarreguem o sistema. Antes de alimentarem modelos, os dados devem ser pré-processados. Diversas etapas fazem parte dessa fase da análise de dados. Em sistemas de processamento em tempo real, o pré-processamento dos dados deve ser implementado de forma automatizada, com modelos que sejam capazes de otimizar seus próprios parâmetros e de operar de forma autônoma. Os modelos devem se autoatualizar e devem estar sincronizados com os modelos preditivos utilizados nas outras etapas, uma vez que a representação dos dados pode mudar, inutilizando o modelo preditivo anterior [Krempf et al., 2014]. Normalmente, assume-se que as informações atuais são completas e estão disponíveis imediatamente para o sis-

tema. Essas considerações, contudo, podem não ser verdadeiras em aplicações de saúde que utilizam sensores para monitorar os pacientes. Os dados obtidos não são completos, uma vez que os valores verdadeiros de todas as variáveis não são eventualmente conhecidos pelo algoritmo usado, e não estão disponíveis de forma imediata, já que o resultado da avaliação atual não está disponível para realimentar o modelo e melhorar a avaliação imediatamente subsequente. O resultado está disponível apenas para avaliações muito posteriores, podendo perder o significado até lá.

Em uma das etapas do pré-processamento, a limpeza dos dados, o sistema deve lidar com a incerteza e o erro nos dados. As principais causas desses problemas são o tempo de vida da bateria dos sensores usados no sistema, a imprecisão desses mesmos sensores e falhas na transmissão dos dados coletados [Cortés et al., 2015]. Esses problemas são especialmente desafiadores no processamento em fluxo devido à natureza igualmente desafiadora dos dados, que são continuamente recebidos. Dessa forma, não se sabe com antecedência qual informação os dados futuros trarão, impossibilitando a enumeração determinística de possíveis ações a serem tomadas. Deve-se sempre considerar as propriedades espaço-temporais dos dados [Chen et al., 2015]. Ressalta-se que os desafios inerentes ao caráter desafiador dos próprios dados estão presentes em todas as etapas do pré-processamento e da análise dos dados. Na etapa que geralmente prossegue a limpeza, por exemplo, busca-se uma representação comum para os dados a fim de habilitar a agregação de fluxos heterogêneos. Além disso, é possível que diversos fluxos de diversos sensores, ou mesmo diversos pacientes, tenham que ser agregados para formar as respectivas visões globais sobre o paciente ou sobre uma doença, por exemplo. Os fluxos, sejam eles de sensores do mesmo indivíduo, ou de indivíduos diferentes, surgem em momentos diferentes no tempo e devem ser relacionados de alguma forma. A agregação desses fluxos deve levar em consideração como lidar com a diferença de velocidade entre os fluxos individuais, ou qual informação de cada fluxo deve ser armazenada [Krempl et al., 2014]. A dinamicidade e a incerteza sobre os dados devem ser levadas em consideração na criação de modelos analíticos. Isso pode ser feito através de abordagens que usam processos estocásticos na modelagem [Wang et al., 2015].

Os sistemas de processamento em tempo real devem se preocupar, ainda, com a privacidade e a confidencialidade dos dados [Cortés et al., 2015]. Tipicamente, a presença de informações que violam a privacidade e a confidencialidade é evitada através de uma distorção controlada dos dados sensíveis, modificando valores ou adicionando ruído. A garantia de privacidade e confidencialidade em sistemas de processamento em fluxo é desafiadora, porque os modelos não têm acesso aos dados completos, uma vez que chegam continuamente. Assim, o modelo de preservação de privacidade e confidencialidade nunca é o modelo final, sendo difícil julgar a eficiência da preservação sem ter acesso aos dados completos. O desvio de conceito [Medeiros et al., 2019] potencial em cenários de processamento em tempo real também afeta os modelos de privacidade, uma vez que em um determinado momento o modelo usado pode preservar a privacidade e a confidencialidade, mas se houver um desvio de conceito é possível que o mesmo modelo não seja mais aplicável. Dessa forma, é necessário o desenvolvimento de mecanismos de preservação de privacidade e confidencialidade adaptativos.

Os sistemas de processamento em fluxo precisam lidar com esses desafios, além de manter a ordenação dos dados, a consistência e habilitar o acesso rápido aos dados.

Ainda, é necessário decidir a durabilidade dos dados, isto é, por quanto tempo esses dados devem permanecer armazenados após serem processados. A escalabilidade e a tolerância a falhas também devem ser garantidas. Assim, o processamento em fluxo em tempo real do grande volume de dados gerado não pode ser implementado usando soluções tradicionais de processamento, porque elas não escalam para esse tipo de abordagem. Essas soluções costumam ser centralizadas. O requisito temporal imposto pela necessidade do processamento online requer a implementação de sistemas distribuídos capazes de agregar a visão local dos dados em cada nó de processamento em uma visão global dos resultados com uma latência mínima de comunicação entre os nós. Devido a essa necessidade, ferramentas como *Apache Spark Streaming*, *Apache Storm* e *Apache Kafka* [Medeiros et al., 2019] estão se popularizando no cenário da saúde. Essas ferramentas permitem o processamento distribuído de dados em fluxo. O *Apache Kafka* suporta uma grande variedade de cenários, com elevada vazão e confiabilidade. O *Apache Storm* é útil para processar dados com alta velocidade. O *Apache Spark Streaming* permite o processamento de dados em memória e inclui APIs para execução eficiente do processamento e permitir uso de SQL (*Structured Query Language*) para acessar os dados. No *Apache Storm*, cada nó é responsável por receber os dados e atualizar o estado interno. Esse modelo de funcionamento cria diversos desafios no ambiente da nuvem em termos de tolerância a falhas, consistência e fusão com o processamento em lotes. O *Apache Spark Streaming* implementa fluxos discretizados, chamados *D-Streams*, que facilitam a fusão com o processamento em lotes.

4.6.3. Projetos de pesquisa

Diversos projetos vêm sendo desenvolvidos para prover assistência e cuidados médicos através do monitoramento remoto. Isso é consequência da integração entre a tecnologia da informação e comunicação e as aplicações médicas. O monitoramento remoto dos pacientes pode ser feito com diversos objetivos, como prevenção de doenças e reabilitação, conforto e segurança, e o monitoramento de doenças crônicas. Este minicurso apresenta projetos europeus¹⁵ que podem ser classificados nesses grupos. Existem ainda projetos que se preocupam com o desenvolvimento de dispositivos biomédicos para monitoramento, como o projeto FABIMED¹⁶.

Prevenção de doenças e reabilitação

O projeto **RedStroke**¹⁷ desenvolve uma solução inteligente, precisa e econômica para a triagem de fibrilação atrial (FA), com o objetivo de prevenir o Acidente Vascular Cerebral (AVC). Os pacientes monitorados que apresentam suspeita de FA são encaminhados para um cardiologista para confirmação do diagnóstico e início do tratamento. A aplicação desenvolvida no contexto do projeto monitora a frequência cardíaca do paciente através unicamente da câmera do celular. Os pacientes devem realizar medições regulares para formar um histórico de medidas, a partir do qual são realizadas análises pelo aplicativo para detectar a fibrilação atrial. A detecção é feita através da presença de batimentos

¹⁵Projetos financiados por um dos seguintes programas: Horizon 2020, EU Structural Funds e AAL Europe Programme

¹⁶Disponível em <http://www.fabimed.eu/>, último acesso em 09/05/2020

¹⁷Duração de 2018 a 2020. Disponível em <https://en.preventicus.com/en/briefly-explained/>, último acesso em 09/05/2020.

extras ou de arritmia.

Outros projetos focam na reabilitação de pacientes que sofrem com doenças crônicas. O projeto **ReHub**¹⁸, por exemplo, usa sensores biomecânicos para monitorar pacientes de distúrbios musculoesqueléticos crônicos. Com base nas medições dos sensores sobre a força muscular e o movimento das articulações, os fisioterapeutas podem criar programas de reabilitação mais objetivos e monitorar o progresso dos pacientes remotamente.

Conforto e segurança

O projeto **selfBACK**¹⁹ foca no suporte a pacientes que sofrem com dores na coluna. O paciente utiliza apenas o celular e uma pulseira inteligente (*smart wristband*) que possui um acelerômetro para coletar dados usados para reconhecimento de atividades. A aplicação também conta com um questionário que ajuda a criar o perfil do paciente. As informações disponíveis são usadas para treinar um sistema preditivo que fornece recomendações personalizadas para auxiliar o paciente a gerenciar sua própria dor.

Os projetos **SMART-BEAR**²⁰, **WorkingAge**²¹, **Bionic**²², e **Dem@Care**²³ focam no uso de sensores heterogêneos para monitorar o paciente e o ambiente no qual está imerso, visando melhorar a vida cotidiana dos pacientes. O projeto **SMART-BEAR** foca nos idosos e usa os dados coletados para oferecer recomendações personalizadas para promover a saúde do idoso e sua independência. A plataforma a ser desenvolvida também deve se conectar aos hospitais e outros sistemas de saúde para obter dados do paciente, como seu registro médico, para auxiliar o sistema de tomada de decisão.

Já o projeto **WorkingAge** tem como foco o monitoramento do estado emocional e cognitivo da força de trabalho para identificar ações apropriadas que melhorem o estilo de vida e o trabalho do indivíduo, promovendo interações mais eficientes e a organização no ambiente de trabalho, além de hábitos mais saudáveis.

O projeto **Bionic** foca no envelhecimento saudável da força de trabalho. O projeto tem como objetivo o desenvolvimento de uma plataforma que analisa os dados de movimento. Os resultados da análise permitem o desenvolvimento de estratégias para promover a adaptação do local de trabalho para as necessidades e níveis de condicionamento físico da força de trabalho em envelhecimento.

Por fim, o projeto **Dem@Care** tem como foco os pacientes com demência. A partir da análise de dados coletados por sensores vestíveis e locais, o perfil do paciente

¹⁸Duração de 2018 a 2020. Disponível em <https://www.dycare.com/rehub/>, último acesso em 09/05/2020.

¹⁹Duração de 2016 a 2020. Disponível em <https://www.selfback.eu/about-the-project.html>, último acesso em 09/05/2020.

²⁰Duração de 2019 a 2023. Disponível em <https://www.smart-bear.eu/>, último acesso em 09/05/2020.

²¹Duração de 2019 a 2022. Disponível em <https://www.workingage.eu/project/>, último acesso em 09/05/2020.

²²Duração de 2019 a 2021. Disponível em <https://bionic-h2020.eu/about/>, último acesso em 09/05/2020.

²³Duração de 2011 a 2015. Disponível em <http://www.demcare.eu/>, último acesso em 09/05/2020.

é criado levando em consideração o contexto, a fim de garantir cuidados reativos e proativos, além de *feedback* personalizado. Os dados podem ser acessados por médicos e cuidadores para avaliar o progresso do paciente e a efetividade da medicação, e recomendar tratamento preventivo e ajuste do tratamento.

Monitoramento de doenças crônicas

O projeto **SERAS**²⁴ monitora pacientes que sofrem de epilepsia. O monitoramento é feito através de um dispositivo vestível a fim de prever convulsões epiléticas antes que elas ocorram. O dispositivo é como um aparelho auditivo que monitora os sinais cerebrais gerando um eletroencefalograma. O eletroencefalograma é armazenado em uma aplicação que executa no celular. A aplicação se conecta com a nuvem, onde um algoritmo de inteligência artificial analisa os dados armazenados para alertar o usuário e os serviços médicos um minuto antes de a convulsão acontecer.

O projeto **BigO**²⁵ tem como foco o monitoramento da obesidade infantil. A ideia é medir de forma objetiva comportamentos obesogênicos de crianças e adolescentes, levando em consideração o ambiente local. Para tanto, utilizam-se informações fornecidas pelos pacientes ou seus responsáveis e dados obtidos de sensores do celular e de relógios inteligentes (*smartwatches*). O cruzamento das informações permite que a aplicação forneça modelos com a matriz de dependência de prevalência da obesidade. Com isso, é possível prever a efetividade de políticas específicas para a comunidade e o monitoramento em tempo real da resposta da população.

Os projetos **myAirCoach**²⁶ e **HEARTEN**²⁷ focam no monitoramento de pacientes asmáticos e cardíacos, respectivamente. No projeto **myAirCoach**, o objetivo é auxiliar o paciente a gerenciar a própria doença através de ferramentas que aumentam a sua consciência sobre o seu estado clínico e sua aderência ao tratamento, bem como sobre a efetividade desse tratamento. Para tanto, os pacientes usam um inalador com sensor embarcado que envia informações para o celular do paciente. Além disso, diversos fatores fisiológicos, comportamentais e ambientais são monitorados pelos sensores do myAirCoach. A análise de todas essas informações permite a disponibilização de uma imagem geral das condições do paciente. Os profissionais de saúde podem usar as informações obtidas pela aplicação para supervisionar os pacientes e ajustar o tratamento. Além disso, as informações podem ser usadas para auxiliar no entendimento dos mecanismos que atuam na progressão da doença.

Já o projeto **HEARTEN** não somente monitora os pacientes como também desenvolve os sensores usados para o monitoramento. Os sensores desenvolvidos detectam e quantificam biomarcadores de insuficiência cardíaca presentes na respiração e na saliva. A partir da análise desses biomarcadores, é possível identificar as condições de saúde do

²⁴Duração de 2019 a 2021. Disponível em <https://d-lab.tech/mjn/>, último acesso em 09/05/2018.

²⁵Duração de 2016 a 2020. Disponível em <https://bigoprogram.eu/big-data-against-childhood-obesity/>, último acesso em 09/05/2018.

²⁶Duração de 2015 a 2018. Disponível em <http://www.myaircoach.eu/content/what-myaircoach-project>, último acesso em 09/05/2018.

²⁷Duração de 2015 a 2018. Disponível em <http://www.hearten.eu/> último acesso em 09/05/2018.

paciente e identificar se o paciente está aderindo ao tratamento. O sensor biomédico de respiração é integrado ao celular do paciente, enquanto o de saliva é integrado a um copo do paciente. Sensores adicionais são usados para monitorar eletrocardiograma, a pressão sanguínea e a atividade física do paciente. Os dados são complementados com informações nutricionais, ganho de peso, perfil do paciente e outras informações fornecidas pelos cuidadores e pelos profissionais de saúde. Com isso, a aplicação fornece alertas, orientações, tendências e previsões sobre a saúde do paciente, a fim de melhorar a aderência do paciente ao tratamento e permitir a antecipação de incidentes.

4.7. Considerações Finais

As redes de sensores para dados de saúde podem ter diferentes arquiteturas, utilizar diferentes tecnologias de hardware e diferentes tecnologias de transmissão de dados. A possibilidade de aplicações é muito vasta e, cada vez mais, está se popularizando no meio médico. A popularização dos *smartphones* e *smart devices*, assim como das redes móveis, mudou a forma como a sociedade lida e aceita os sensores médicos. Mais do que isso, sensores pensados com finalidades distintas, como acelerômetros, câmeras, microfones, entre outros, passaram a servir como fonte de dados para avaliar a condição de saúde dos indivíduos. Assim, a associação das redes de sensores, sejam elas de pequeno, médio ou grande porte, com a telemedicina está causando uma revolução na assistência básica em saúde em nível mundial.

Este capítulo apresentou os conceitos básicos sobre redes de sensores e suas principais aplicações na saúde. Além disso, discutiu temas desafiadores, como a segurança, a gerência, a interoperabilidade, o armazenamento em nuvens e o processamento de dados em fluxo, os quais, se não forem bem definidos, levarão ao fracasso da aplicação da rede de sensores.

Foram apresentados, também, alguns dos principais projetos de grande porte para a criação de aplicações de monitoramento de saúde baseado em sensores sem fio. Observa-se que existem diversas iniciativas na Europa, usualmente, focadas no monitoramento de casos de doenças graves. Apesar disso, cabe observar que a maioria dos aplicativos existentes e amplamente utilizados foca na monitoração da saúde de pessoas enquanto ainda estão saudáveis, pelo acompanhamento de peso, batimento cardíaco, fluxo respiratório, qualidade do sono, quantidade de exercícios realizados, entre diversos outros. É fato que, hoje em dia, existe uma verdadeira coleção de dados que são coletados de forma transparente ao usuário, mas que podem dizer muitas informações sobre a sua saúde. A evolução dos algoritmos de processamento de dados baseados em aprendizado de máquina e compartilhamento de informações tornará mais viável o amplo uso dessas informações para detecção prematura de problemas em larga escala.

No contexto das pandemias, toda forma para coleta e disponibilização segura de dados para profissionais de saúde é de grande interesse e relevância. De fato, a possibilidade de monitorar pacientes sem que esses saiam de suas residências, ou ainda, monitorar pacientes em hospitais que são portadores de doenças altamente contagiosas é um fator que revoluciona a forma como a sociedade atual lida com as doenças, melhorando a qualidade de vida do paciente e reduzindo os riscos de contaminação para as equipes médicas. Por essas razões, as redes de sensores sem fio para aplicações médicas são hoje tema de

pesquisa para curto, médio e longo prazo, com impactos estratégicos na gestão de saúde da população.

Referências

- [Aileni, 2015] Aileni, R. M. (2015). Mobile application for tracking data from humidity and temperature wearable sensors. *2015 7th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*.
- [Al Ameen et al., 2012] Al Ameen, M., Liu, J. e Kwak, K. (2012). Security and privacy issues in wireless sensor networks for healthcare applications. *Journal of Medical Systems*, 36:93 – 101.
- [Al-Janabi et al., 2017] Al-Janabi, S., Al-Shourbaji, I., Shojafar, M. e Shamshirband, S. (2017). Survey of main challenges (security and privacy) in wireless body area networks for healthcare applications. *Egyptian Informatics Journal*, 18(2):113 – 122.
- [Alemdar e Ersoy, 2010] Alemdar, H. e Ersoy, C. (2010). Wireless sensor networks for healthcare: A survey. *Computer networks*, 54(15):2688–2710.
- [Ali et al., 2018] Ali, O., Shrestha, A., Soar, J. e Wamba, S. F. (2018). Cloud computing-enabled healthcare opportunities, issues, and applications: A systematic review. *International Journal of Information Management*, 43:146–158.
- [Altuwaiyan et al., 2018] Altuwaiyan, T., Hadian, M. e Liang, X. (2018). EPIC: Efficient privacy-preserving contact tracing for infection detection. *2018 IEEE International Conference on Communications (ICC)*.
- [Araujo et al., 2014] Araujo, T. V., Pires, S. R. e Bandiera-Paiva, P. (2014). Adoção de padrões para registro eletrônico em saúde no brasil. *Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação em Saúde*, 8(4).
- [Badidi e Moumane, 2019] Badidi, E. e Moumane, K. (2019). Enhancing the processing of healthcare data streams using fog computing. *2019 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*.
- [Bangash et al., 2017] Bangash, Y. A., Abid, Q. u. D., Alshreef, A. A. e Al-Salhi, Y. E. A. (2017). Security issues and challenges in wireless sensor networks: A survey. *IAENG International Journal of Computer Science*, 44(2):94 – 108.
- [Benson e Grieve, 2016] Benson, T. e Grieve, G. (2016). Why interoperability is hard. Em *Principles of Health Interoperability*, p. 19–35. Springer.
- [Bhangwar et al., 2017] Bhangwar, A. R., Kumar, P., Ahmed, A. e Channa, M. I. (2017). Trust and thermal aware routing protocol (TTRP) for wireless body area networks. *Wireless Personal Communications*, 97(1):349–364.
- [Botta et al., 2016] Botta, A., de Donato, W., Persico, V. e Pescapé, A. (2016). Integration of cloud computing and internet of things: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 56:684 – 700.

- [Brasil., 2018] Brasil. (2018). Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Acessado em 12 fev 2020.
- [Braunstein, 2018] Braunstein, M. L. (2018). Healthcare in the age of interoperability: The promise of fast healthcare interoperability resources. *IEEE Pulse*, 9(6):24–27.
- [Cabra et al., 2017] Cabra, J., Castro, D., Colorado, J., Mendez, D. e Trujillo, L. (2017). An IoT approach for wireless sensor networks applied to e-health environmental monitoring. Em *2017 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)*, p. 578–583.
- [Callejon et al., 2013] Callejon, M. A., Naranjo-Hernandez, D., Reina-Tosina, J. e Roa, L. M. (2013). A comprehensive study into intrabody communication measurements. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 62(9):2446–2455.
- [Cao et al., 2009] Cao, H., Leung, V., Chow, C. e Chan, H. (2009). Enabling technologies for wireless body area networks: A survey and outlook. *IEEE Communications Magazine*, 47(12):84–93.
- [Cavallari et al., 2014] Cavallari, R., Martelli, F., Rosini, R., Buratti, C. e Verdone, R. (2014). A survey on wireless body area networks: Technologies and design challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(3):1635–1657.
- [Chatterjee et al., 2014] Chatterjee, S., Das, A. K. e Sing, J. K. (2014). A novel and efficient user access control scheme for wireless body area sensor networks. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 26(2):181 – 201.
- [Chen et al., 2015] Chen, P., Yang, S. e McCann, J. A. (2015). Distributed real-time anomaly detection in networked industrial sensing systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(6):3832–3842.
- [Cortés et al., 2015] Cortés, R., Bonnaire, X., Marin, O. e Sens, P. (2015). Stream processing of healthcare sensor data: Studying user traces to identify challenges from a big data perspective. *Procedia Computer Science*, 52:1004 – 1009. The 6th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT-2015), the 5th International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT-2015).
- [D. Ovalle e Montoya, 2010] D. Ovalle, D. R. e Montoya, A. (2010). Artificial intelligence for wireless sensor networks enhancement. *Smart Wireless Sensor Networks InTech*.
- [de Oliveira et al., 2020] de Oliveira, M. T., Bakas, A., Frimpong, E., Groot, A. E. D., Marquering, H. A., Michalas, A. e Olabarriaga, S. D. (2020). A break-glass protocol based on ciphertext-policy attribute-based encryption to access medical records in the cloud. *Annals of Telecommunications*, 75(3):103–119.
- [de Oliveira et al., 2019] de Oliveira, M. T., Reis, L. H. A., Carrano, R. C., Seixas, F. L., Saade, D. C. M., Albuquerque, C. V., Fernandes, N. C., Olabarriaga, S. D., Medeiros,

- D. S. V. e Mattos, D. M. F. (2019). Towards a blockchain-based secure electronic medical record for healthcare applications. Em *Proceedings of the International Conference on Communications (ICC)*, p. 1–6.
- [del Carmen Legaz-García et al., 2016] del Carmen Legaz-García, M., Martínez-Costa, C., Menárguez-Tortosa, M. e Fernández-Breis, J. T. (2016). A semantic web based framework for the interoperability and exploitation of clinical models and ehr data. *Knowledge-Based Systems*, 105:175–189.
- [Demirors et al., 2016] Demirors, E., Alba, G., Santagati, G. E. e Melodia, T. (2016). High data rate ultrasonic communications for wireless intra-body networks. Em *2016 IEEE International Symposium on Local and Metropolitan Area Networks (LANMAN)*, p. 1–6. IEEE.
- [Dhillon et al., 2018] Dhillon, A., Majumdar, S., St-Hilaire, M. e El-Haraki, A. (2018). MCEP: A mobile device based complex event processing system for remote healthcare. *2018 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)*, p. 203–210.
- [Di Martino et al., 2018] Di Martino, B., Rak, M., Ficco, M., Esposito, A., Maisto, S. A. e Nacchia, S. (2018). Internet of things reference architectures, security and interoperability: A survey. *Internet of Things*, 1:99–112.
- [Dinh et al., 2013] Dinh, H. T., Lee, C., Niyato, D. e Wang, P. (2013). A survey of mobile cloud computing: architecture, applications, and approaches. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 13(18):1587–1611.
- [Edmunds et al., 2016] Edmunds, M., Peddicord, D. e Frisse, M. E. (2016). Ten reasons why interoperability is difficult. Em *Healthcare Information Management Systems*, p. 127–137. Springer.
- [El Emam e Dankar, 2008] El Emam, K. e Dankar, F. K. (2008). Protecting Privacy Using k-Anonymity. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 15(5):627–637.
- [Elhoseny et al., 2017] Elhoseny, M., Salama, A. S., Abdelaziz, A. e Riad, A. (2017). Intelligent systems based on cloud computing for healthcare services: a survey. *International Journal of Computational Intelligence*, 6(2/3):157–188.
- [English et al., 2017] English, P. B., Olmedo, L., Bejarano, E., Lugo, H., Murillo, E., Seto, E., Wong, M., King, G., Wilkie, A., Meltzer, D., Carvlin, G., Jerrett, M. e Northcross, A. (2017). The imperial county community air monitoring network: A model for community-based environmental monitoring for public health action. *Environmental Health Perspectives*, 125(7):074501.
- [Esposito et al., 2018] Esposito, C., De Santis, A., Tortora, G., Chang, H. e Choo, K. R. (2018). Blockchain: A panacea for healthcare cloud-based data security and privacy? *IEEE Cloud Computing*, 5(1):31–37.

- [Fernandes et al., 2006] Fernandes, N. C., Moreira, M. D. D., Velloso, P. B., Costa, L. H. M. K. e Duarte, O. C. M. B. (2006). Ataques e mecanismos de segurança em redes ad hoc. *Minicursos do Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais (SBSEG 2006)*, p. 49—102.
- [Ferreira et al., 2018] Ferreira, V., Caballero, E., Lima, R., Balbi, H., Seixas, F., Albuquerque, C. d. e Muchaluat-Saade, D. (2018). Redes corporais sem fio e suas aplicações em saúde. *Livro da 37ª. Jornada de Atualização em Informática*, 1(1):1–53.
- [Frisse, 2017] Frisse, M. E. (2017). Interoperability. Em *key advances in clinical informatics*, p. 69–77. Elsevier.
- [Furukawa e Pollack, 2020] Furukawa, M. e Pollack, E. (2020). Achieving HIMSS Stage 7 designation for EMR adoption. *Nursing Management*, 51(1):10–12.
- [G. Fortino, 2015] G. Fortino, R. G. (2015). Fall-MobileGuard: A smart real-time fall detection system. *Proc. 10th EAI Int'l. Conf. Body Area Networks*, p. 44–50.
- [Gama e Gaber, 2007] Gama, J. e Gaber, M. M. (2007). *Learning from data streams: processing techniques in sensor networks*. Springer.
- [Haddad e Khalighi, 2019] Haddad, O. e Khalighi, M. A. (2019). Enabling communication technologies for medical wireless body-area networks. Em *2019 Global LIFI Congress (GLC)*, p. 1–5. IEEE.
- [HIMSS, 2010] HIMSS (2010). *HIMSS dictionary of healthcare information technology terms, acronyms and organizations*, chapter Appendix A - Acronym List. Healthcare Information and Management Systems Society, Chicago.
- [Hsu, 2017] Hsu, W.-Y. (2017). Clustering-based compression connected to cloud databases in telemedicine and long-term care applications. *Telematics and Informatics*, 34(1):299 – 310.
- [Iroju et al., 2013] Iroju, O., Soriyan, A., Gambo, I. e Olaleke, J. (2013). Interoperability in healthcare: benefits, challenges and resolutions. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 3(1):262–270.
- [Javadi e Razzaque, 2013] Javadi, S. S. e Razzaque, M. A. (2013). Security and privacy in wireless body area networks for health care applications. Em Khan, S. e Khan Pathan, A.-S., editors, *Wireless Networks and Security: Issues, Challenges and Research Trends*, p. 165–187, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.
- [Kim et al., 2016] Kim, M., Lee, J. Y. e Kim, H. (2016). Warning and detection system for epidemic disease. *2016 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*.
- [Koufi et al., 2010] Koufi, V., Malamateniou, F. e Vassilacopoulos, G. (2010). Ubiquitous access to cloud emergency medical services. Em *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine*, p. 1–4.

- [Krempl et al., 2014] Krempl, G., Žliobaite, I., Brzeziundefinedski, D., Hüllermeier, E., Last, M., Lemaire, V., Noack, T., Shaker, A., Sievi, S., Spiliopoulou, M. e Stefanowski, J. (2014). Open challenges for data stream mining research. *SIGKDD Explor. Newsl.*, 16(1):1–10.
- [Kumar e Lee, 2011] Kumar, P. e Lee, H.-J. (2011). Security issues in healthcare applications using wireless medical sensor networks: A survey. *Sensors*, 12(1):55–91.
- [Lee et al., 2017] Lee, C., Luo, Z., Ngiam, K. Y., Zhang, M., Zheng, K., Chen, G., Ooi, B. C. e Yip, W. L. J. (2017). Big healthcare data analytics: Challenges and applications. Em Khan, S. U., Zomaya, A. Y. e Abbas, A., editors, *Handbook of Large-Scale Distributed Computing in Smart Healthcare*, p. 11–41. Springer International Publishing.
- [Liang et al., 2012] Liang, X., Li, X., Qinghua Shen, Lu, R., Lin, X., Shen, X. e Weihua Zhuang (2012). Exploiting prediction to enable secure and reliable routing in wireless body area networks. Em *2012 Proceedings IEEE INFOCOM*, p. 388–396.
- [Liu et al., 2012] Liu, T., Bihl, U., Anis, S. M. e Ortmanns, M. (2012). Optical transcutaneous link for low power, high data rate telemetry. Em *2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, p. 3535–3538. IEEE.
- [Luong et al., 2017] Luong, N. C., Hoang, D. T., Wang, P., Niyato, D. e Han, Z. (2017). Applications of economic and pricing models for wireless network security: A survey. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 19(4):2735–2767.
- [Ma et al., 2018] Ma, Y., Luo, Z., Steiger, C., Traverso, G. e Adib, F. (2018). Enabling deep-tissue networking for miniature medical devices. Em *Proceedings of the 2018 Conference of the ACM Special Interest Group on Data Communication, SIGCOMM '18*, p. 417–431, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- [Malik et al., 2018] Malik, M., Abdullah, T., Kousar, N., Nigar, M. e Awais, M. (2018). Wireless body area network security and privacy issue in e-healthcare. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9:209–215.
- [Mano et al., 2016a] Mano, L., Funes, M., Volpato, T. e Neto, J. (2016a). Explorando tecnologias de iot no contexto de health smart home: uma abordagem para detecção de quedas em pessoas idosas. *Journal on Advances in Theoretical and Applied Informatics*, 2(1):46–57.
- [Mano, 2018] Mano, L. Y. (2018). Emotional condition in the health smart homes environment: emotion recognition using ensemble of classifiers. Em *2018 Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*, p. 1–8.
- [Mano et al., 2016b] Mano, L. Y., Façal, B. S., Nakamura, L. H., Gomes, P. H., Libralon, G. L., Meneguete, R. I., Filho, G. P., Giancristofaro, G. T., Pessin, G., Krishnamachari, B. e Ueyama, J. (2016b). Exploiting IoT technologies for enhancing health smart homes through patient identification and emotion recognition. *Computer Communications*, 89-90:178 – 190. Internet of Things Research challenges and Solutions.

- [Mao et al., 2017] Mao, A., Ma, X., He, Y. e Luo, J. (2017). Highly portable, sensor-based system for human fall monitoring. *Sensors*, 17(9):2096.
- [Matthew Pike e Brusic, 2019] Matthew Pike, Nasser M. Mustafa, D. T. e Brusic, V. (2019). Sensor networks and data management in healthcare: Emerging technologies and new challenges. *2019 IEEE 43rd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*.
- [Mattos et al., 2018] Mattos, D. M. F., Velloso, P. B. e Duarte, O. C. M. B. (2018). Uma infraestrutura ágil e efetiva de virtualização de funções de rede para a internet das coisas. Em *XXXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos - SBRC'2018*.
- [McKee, 2008] McKee, M. G. (2008). Biofeedback: an overview in the context of heart-brain medicine. *Cleveland Clinic journal of medicine*, 75:S31–S34.
- [Medeiros et al., 2019] Medeiros, D. S. V., Neto, C., H. N., Andreoni Lopez, M., Magalhães, L. C. S., Silva, E. F., Vieira, A. B., Fernandes, N. C. e Mattos, D. M. F. (2019). Análise de dados em redes sem fio de grande porte: Processamento em fluxo em tempo real, tendências e desafios. *Minicursos do XXXVII SBRC'2019*, p. 142–195.
- [Medjahed et al., 2011] Medjahed, H., Istrate, D., Boudy, J., Baldinger, J.-L. e Dorizzi, B. (2011). A pervasive multi-sensor data fusion for smart home healthcare monitoring. *2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2011)*.
- [Montoya et al., 2010] Montoya, A., Restrepo, D. C. e Ovalle, D. A. (2010). Artificial intelligence for wireless sensor networks enhancement. *Smart Wireless Sensor Networks*, p. 73–81.
- [Mshali et al., 2018] Mshali, H., Lemlouma, T. e Magoni, D. (2018). Adaptive monitoring system for e-health smart homes. *Pervasive and Mobile Computing*, 43:1 – 19.
- [Mucchi et al., 2019] Mucchi, L., Jayousi, S., Martinelli, A., Caputo, S. e Marcocci, P. (2019). An overview of security threats, solutions and challenges in wbans for healthcare. Em *2019 13th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT)*, p. 1–6.
- [Negra et al., 2016] Negra, R., Jemili, I. e Belghith, A. (2016). Wireless body area networks: Applications and technologies. *Procedia Computer Science*, 83:1274–1281.
- [Noury et al., 2000] Noury, N., Herve, T., Rialle, V., Virone, G., Mercier, E., Morey, G., Moro, A. e Porcheron, T. (2000). Monitoring behavior in home using a smart fall sensor and position sensors. Em *1st Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine and Biology. Proceedings (Cat. No.00EX451)*, p. 607–610.
- [Pannurat et al., 2014] Pannurat, N., Thiemjarus, S. e Nantajeewarawat, E. (2014). Automatic fall monitoring: A review. *Sensors*, 14(7):12900–12936.

- [Paoli et al., 2012] Paoli, R., Fernández-Luque, F. J., Doménech, G., Martínez, F., Zapata, J. e Ruiz, R. (2012). A system for ubiquitous fall monitoring at home via a wireless sensor network and a wearable mote. *Expert Systems with Applications*, 39(5):5566 – 5575.
- [Park e Mercier, 2015] Park, J. e Mercier, P. P. (2015). Magnetic human body communication. Em *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, p. 1841–1844. IEEE.
- [Park, 2017] Park, R. W. (2017). Sharing clinical big data while protecting confidentiality and security: observational health data sciences and informatics. *Healthcare informatics research*, 23(1):1–3.
- [Parmentier et al., 2008] Parmentier, S., Fontaine, R. e Roy, Y. (2008). Laser diode used in 16 mb/s, 10 mw optical transcutaneous telemetry system. Em *2008 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference*, p. 377–380. IEEE.
- [Patil et al., 2018] Patil, K., Laad, M., Kamble, A. e Laad, S. (2018). A consumer-based smart home and health monitoring system. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 58(1).
- [Pike et al., 2019] Pike, M., Mustafa, N. M., Towey, D. e Brusic, V. (2019). Sensor networks and data management in healthcare: Emerging technologies and new challenges. Em *2019 IEEE 43rd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*, volume 1, p. 834–839. IEEE.
- [Pino e Salvo, 2013] Pino, C. e Salvo, R. D. (2013). A survey of cloud computing architecture and applications in health. Em *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering*. Atlantis Press.
- [Qathrady et al., 2016] Qathrady, M. A., Helmy, A. e Almuzaini, K. (2016). Infection tracing in smart hospitals. *2016 IEEE 12th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*.
- [Ramos e Filho, 2015] Ramos, A. e Filho, R. (2015). Sensor data security level estimation scheme for wireless sensor networks. *Sensors*, 15:2104 – 2136.
- [Raymond e Midkiff, 2008] Raymond, D. R. e Midkiff, S. F. (2008). Denial-of-service in wireless sensor networks: Attacks and defenses. *IEEE Pervasive Computing*, 7(1):74–81.
- [Ren et al., 2019] Ren, Y., Leng, Y., Zhu, F., Wang, J. e Kim, H.-J. (2019). Data storage mechanism based on blockchain with privacy protection in wireless body area network. *Sensors*, 19(10):2395.
- [Santagati e Melodia, 2016] Santagati, G. E. e Melodia, T. (2016). Experimental evaluation of impulsive ultrasonic intra-body communications for implantable biomedical devices. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 16(2):367–380.

- [Sareen et al., 2018] Sareen, S., Sood, S. K. e Gupta, S. K. (2018). IoT-based cloud framework to control ebola virus outbreak. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 9:459–476.
- [Selimis et al., 2011] Selimis, G., Huang, L., Massé, F., Tsekoura, I., Ashouei, M., Catthoor, F., Huisken, J., Stuyt, J., Dolmans, G., Penders, J. e De Groot, H. (2011). A lightweight security scheme for wireless body area networks: Design, energy evaluation and proposed microprocessor design. *Journal of Medical Systems*, 35(5):1289–1298.
- [Sen e Jaydip, 2009] Sen e Jaydip (2009). A survey on wireless sensor network security. *International Journal of Communication Networks and Information Security*, 1:59 – 82.
- [Shivnath Babu, 2001] Shivnath Babu, J. W. (2001). Continuous queries over data streams. *ACM Sigmod Record*, 30(3):109–120.
- [Sousa et al., 2019] Sousa, M. J., Pesqueira, A. M., Lemos, C., Sousa, M. e Rocha, Á. (2019). Decision-making based on big data analytics for people management in healthcare organizations. *Journal of Medical Systems*, 43(9):290.
- [Sposaro e Tyson, 2009] Sposaro, F. e Tyson, G. (2009). iFall: An android application for fall monitoring and response. Em *2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, p. 6119–6122.
- [Sun et al., 2015] Sun, X., Lu, Z., Zhang, X., Salathé, M. e Cao, G. (2015). Targeted vaccination based on a wireless sensor system. *2015 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*.
- [Sureshkumar et al., 2019] Sureshkumar, V., Amin, R., Vijaykumar, V. e Sekar, S. R. (2019). Robust secure communication protocol for smart healthcare system with FPGA implementation. *Future Generation Computer Systems*, 100:938 – 951.
- [Taha et al., 2018] Taha, M. S., Rahim, M. S. M., Hashim, M. M. e Johi, F. A. (2018). Wireless body area network revisited. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4):3494–3504.
- [Todd e Skelton, 2004] Todd, C. e Skelton, D. (2004). What are the main risk factors for falls amongst older people and what are the most effective interventions to prevent these falls? Relatório técnico, World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
- [Tomlinson et al., 2018] Tomlinson, W. J., Banou, S., Yu, C., Stojanovic, M. e Chowdhury, K. R. (2018). Comprehensive survey of galvanic coupling and alternative intra-body communication technologies. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(2):1145–1164.
- [Trevlakakis et al., 2019] Trevlakakis, S. E., Boulogeorgos, A.-A. A., Sofotasios, P. C., Muhaidat, S. e Karagiannidis, G. K. (2019). Optical wireless cochlear implants. *Bio-medical optics express*, 10(2):707–730.

- [Vasseur e Dunkels, 2010] Vasseur, J.-P. e Dunkels, A. (2010). Chapter 1 - what are smart objects? Em *Interconnecting Smart Objects with IP*, p. 3–20. Morgan Kaufmann, Boston.
- [Wang et al., 2015] Wang, S., Urgaonkar, R., Zafer, M., He, T., Chan, K. e Leung, K. K. (2015). Dynamic service migration in mobile edge-clouds. Em *Proceedings of the IFIP Networking Conference (IFIP Networking)*, p. 1–9.
- [Weber-Jahnke et al., 2012] Weber-Jahnke, J., Peyton, L. e Topaloglou, T. (2012). e-Health system interoperability. *Information Systems Frontiers*, 14(1):1–3.
- [Yassine et al., 2017] Yassine, A., Singh, S. e Alamri, A. (2017). Mining human activity patterns from smart home big data for health care applications. *IEEE Access*, 5:13131–13141.
- [Zafar et al., 2014] Zafar, Z., Islam, S., Aslam, M. S. e Sohaib, M. (2014). Cloud computing services for the healthcare industry. *Int J Multidiscip Sci Eng*, 5:25–29.
- [Zhang et al., 2013a] Zhang, R., Zhang, J., Zhang, Y., Sun, J. e Yan, G. (2013a). Privacy-preserving profile matching for proximity-based mobile social networking. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 31:656 – 668.
- [Zhang et al., 2013b] Zhang, Z., Wang, H., Lin, X., Fang, H. e Xuan, D. (2013b). Effective epidemic control and source tracing through mobile social sensing over wbans. *2013 Proceedings IEEE INFOCOM*.



20 SBCAS 20

Salvador, BA

20° SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO
APLICADA À SAÚDE

SBCAS2020.UFBA.BR