

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

**METODOLOGIA PARA TREINAMENTO EM
MAMOGRAFIA UTILIZANDO TÉCNICAS DE
REALIDADE VIRTUAL**

Paulo Camargos Silva

Novembro
2021

PAULO CAMARGOS SILVA

**METODOLOGIA PARA TREINAMENTO EM
MAMOGRAFIA UTILIZANDO TÉCNICAS DE
REALIDADE VIRTUAL**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia.

Banca Examinadora:

Prof.^a Ana Claudia Patrocínio, Dra. – Orientadora (UFU)

Prof. Leandro Resende Mattioli, Dr.

Prof.^a Cecilia Lemos Debs, Dr.^a

Prof. Alcimar Barbosa Soares, Dr.

Uberlândia

2021

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S586 Silva, Paulo Camargos, 1995-
2021 Metodologia para Treinamento em Mamografia Utilizando
Técnicas de Realidade Virtual [recurso eletrônico] /
Paulo Camargos Silva. - 2021.

Orientadora: Ana Claudia Patrocinio.
Coorientador: Alexandre Cardoso.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de
Uberlândia, Pós-graduação em Engenharia Biomédica.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.615>
Inclui bibliografia.

1. Engenharia biomédica. I. Patrocinio, Ana Claudia,
1976-, (Orient.). II. Cardoso, Alexandre, 1964-,
(Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia.
Pós-graduação em Engenharia Biomédica. IV. Título.

CDU: 62:61

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica
 Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 3N, Sala 115 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 3239-4761 - www.ppgeb.feelt.ufu.br - ppegb@feelt.ufu.br


ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia Biomédica				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 078, PPGEB				
Data:	trinta de novembro de dois mil e vinte e um	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	16:30
Matrícula do Discente:	11922EBI003				
Nome do Discente:	Paulo Camargos Silva				
Título do Trabalho:	Metodologia para Treinamento em Mamografia Utilizando Técnicas de Realidade Virtual				
Área de concentração:	Engenharia Biomédica				
Linha de pesquisa:	Sistemas Computacionais e Dispositivos Aplicados à Saúde				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Proposta de uma sistema de gestão na avaliação e qualificação de imagens mamográficas digitais				

Reuniu-se em web conferência pela plataforma Conferência Web em conformidade com a PORTARIA Nº36, DE 19 DE MARÇO DE 2020 da COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica, assim composta: Professores Doutores: Leandro Resende Mattioli - CEFET-MG; Cecília Lemos Debs - CDE; Alcimar Barbosa Soares - PPGEB/UFU; Ana Claudia Patrocínio - PPGEB/UFU orientadora do candidato.

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa, Dra. Ana Claudia Patrocínio, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.

Documento assinado eletronicamente por **Leandro Resende Mattioli, Usuário Externo**, em 30/11/2021, às 16:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alcimar Barbosa Soares, Professor(a) do Magistério Superior**, em 30/11/2021, às 16:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cecília Lemos Debs, Usuário Externo**, em 30/11/2021, às 16:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Claudia Patrocínio, Professor(a) do Magistério Superior**, em 30/11/2021, às 16:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3212041** e o código CRC **2469DB36**.

Este trabalho é dedicado aos pesquisadores de universidades públicas, que apesar das adversidades sofridas contribuem enormemente para o desenvolvimento cultural, tecnológico e científico do país.

Agradecimentos

Meus agradecimentos principais vão para a Professora Dra. Ana Claudia Patrocinio, Professor Alexandre Cardoso e Professor Edgard Lamounier pela orientação, ensinamentos, perspectivas e conselhos.

Agradeço também os colegas do Grupo de Realidade Virtual e Aumentada (GRVA) e do Grupo de Imagens Médicas (GIM) pelo auxílio, motivação e força.

Os agradecimentos especiais vão para minha família e meus amigos Gabriel F. Cyrino, Camilo de L. Barreto Jr., Italo G. S Fernandes, Daniel S. D. Caetano e para minha companheira Larissa R. Salustiano por todo suporte e auxílio fornecido durante a jornada no mestrado.

Meus sinceros agradecimentos vão também para os colaboradores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica (PPGEB) pelo suporte e orientação durante o mestrado.

Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo auxílio financeiro concedido a este projeto.

Os agradecimentos finais são direcionados a todos aqueles que participaram e contribuíram no desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Resumo

O câncer de mama é o tipo mais comum entre as mulheres, afetando 2,09 milhões de pessoas no mundo e a quinta principal causa de morte segundo a Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS). Como forma de controle, a mamografia é mundialmente considerada o exame padrão para rastreamento e diagnóstico da doença. Os profissionais técnicos em mamografia exercem um papel fundamental no momento de realização do exame, pois atuam diretamente no processo de aquisição. Desta forma, a aplicação correta das técnicas afeta diretamente o resultado e qualidade do exame mamográfico.

Este trabalho propõe uma metodologia para treinamento visando a mitigação da defasagem do treinamento inicial e contínuo de estudantes em técnicas de mamografia. A metodologia é composta por um módulo gamificado com técnicas de Realidade Virtual (RV) e um módulo de questionários (*quiz*) para auxiliar no gerenciamento do treinamento.

O Módulo de Gerenciamento e Questionário fornece insumos e auxilia no gerenciamento do treinamento. O Módulo Gamificado é composto por uma sala de mamografia virtual de alta fidelidade gráfica. O ambiente virtual foi desenvolvido para permitir a fácil ampliação do escopo de treinamento com novos níveis (fases).

Por fim, os módulos são comparados com soluções existentes na literatura. Em comparação com outros trabalhos, esse trabalho une atributos encontrados esparsamente em outros sistemas, como gamificação, extensibilidade e RV. Entretanto, um estudo com usuários deverá ser realizado para mensurar e validar a usabilidade do sistema e efetividade da metodologia apresentada no treinamento.

Palavras-chave: Treinamento; Mamografia; Realidade Virtual; Gamificação; Recurso Educacional Aberto.

Abstract

Breast cancer is the most common type among women, affecting 2.09 million people worldwide and the fifth leading cause of death according to the Pan American Health Organization (PAHO). As a form of control, mammography is considered the standard exam for screening and diagnosing the disease worldwide. Technical professionals in mammography play a fundamental role when performing the exam, as they act directly in the acquisition process. Thus, the correct application of the techniques directly affects the result and quality of the mammographic exam.

This work proposes a training methodology aimed at mitigating the gap between the initial and continuous training of students in mammography techniques. The methodology consists of a gamified module with Virtual Reality (VR) techniques and a quiz module to assist in training management.

The Management and Questionnaire Module provides input and assists in training management. The Gamified Module is composed of a high-fidelity graphical virtual mammography room. The virtual environment was developed to allow easy expansion of the training scope with new levels (phases).

Finally, the modules are compared with existing solutions in the literature. In comparison with other works, this work unites attributes found sparsely in other systems, such as gamification, extensibility and VR. However, a study with users must be done to measure and validate the usability of the system and the effectiveness of the methodology presented in the training.

Keywords: Training; Mammography; Virtual Reality; Gamification; Open Educational Resource.

Lista de Figuras

2.1	Estrutura anatômica da mama feminina.	6
2.2	Mamógrafo e estação de trabalho de aquisição.	7
2.3	Relação entre o aprendizado, simulação e jogos.	11
2.4	Representação genérica da arquitetura de uma aplicação <i>web</i>	12
3.1	Exemplo de um arco C.	19
3.2	Usuário realizando a interação com o equipamento através de <i>Head-Mounted Display</i> (HMD).	20
3.3	Visualização parcial do sistema <i>Medical Imaging Training Immersive Environment</i> (MITIE) de treinamento em imagens médicas.	21
3.4	Pré-visualização do laboratório virtual.	23
3.5	Usuário demonstrando o sistema de treinamento (primeiro plano), com a pré-visualização do sistema (segundo plano).	24
3.6	Pré-visualização do sistema <i>Clinical Education Training Solution</i> (CETSOL) criado para Universidade Monash.	25
4.1	Casos de uso do sistema para o ator <i>Trainee</i> com suas respectivas tarefas em ambos os módulos.	35
4.2	Casos de uso do sistema para os atores <i>Supervisor</i> e <i>Administrador</i> com suas respectivas tarefas.	37
4.3	Diagrama de componentes representando a separação dos módulos durante o desenvolvimento.	39
4.4	Diagrama de classes para tabelas geradas no banco de dados no <i>app exam</i> . . .	44

4.5	Diagrama de classes representando as tabelas geradas no banco de dados para o <i>app</i> program.	45
4.6	Diagrama de classes representando as tabelas geradas no banco de dados para o <i>app</i> users.	45
4.7	Exemplo de aplicação de técnica <i>box modeling</i> em um cilindro para criação de uma caneca.	46
4.8	Exemplos de modelagem utilizando a técnica <i>digital modeling</i>	47
4.9	Diagrama de classes representando a classe principal Level com as classes herdeiras.	51
4.10	Diagrama de sequência representando o procedimento e módulos para realizar a aquisição de imagens dentro do módulo gamificado.	52
4.11	Representação do ambiente para geração de imagens virtuais.	53
4.12	Configuração e parâmetros do material volumétrico na cena do Blender para estrutura representando massas na mama.	54
5.1	Vista perspectiva do ambiente virtual da sala de mamografia.	57
5.2	Modelos 3D do mamógrafo	59
5.3	Acessórios do mamógrafo.	60
5.4	Renderização do <i>phantom</i> virtual e suas estruturas internas.	60
5.5	Renderização dos modelos 3D das bandejas de compressão.	61
5.6	Captura de tela exibindo o suporte com as bandejas de compressão disponíveis no ambiente virtual.	62
5.7	Elementos decorativos do no ambiente virtual.	63
5.8	Captura de tela exibindo as instruções para a ferramenta "Botões de Controle" para movimentação do cabeçote (motor) do mamógrafo.	64
5.9	Posicionamento do <i>phantom</i> virtual no <i>bucky</i> do mamógrafo.	65
5.10	Renderização do <i>phantom</i> virtual utilizando materiais volumétricos no Blender..	65
5.11	Captura de tela do ambiente virtual apresentando o nome e instruções gerais de um nível.	66
5.12	Captura de tela do ambiente virtual apresentando "Localizar e Selecionar o Pedal" como objetivo específico.	67
5.13	Tela inicial de <i>login</i> do Módulo de Gerenciamento e Questionários.	68
5.14	Tela de cadastro de <i>trainees</i> (perfil supervisor).	69

5.15	Captura de tela listando os <i>trainees</i> cadastrados por um supervisor.	70
5.16	Captura de tela listando os exames cadastrados por um supervisor.	71
5.17	Tela de cadastro de exames (perfil supervisor).	71
5.18	Captura de tela apresentando um formulário de cadastro de uma questão. . . .	72
5.19	Captura de tela apresentando uma questão de um exame (perfil <i>trainee</i>).	73
5.20	Captura de tela apresentando o banco de questões.	74
5.21	Captura de tela exibindo uma lista de programas (perfil supervisor).	75
5.22	Captura de tela exibindo uma lista de atribuições cadastradas (perfil supervisor).	76
5.23	Captura de tela exibindo detalhes e atribuições de um programa (perfil <i>trainee</i>).	77
5.24	Captura de tela exibindo estatísticas de um programa (perfil supervisor).	77

Siglas

API *Application Programming Interface*

CETSOL *Clinical Education Training Solution*

CNEN *Comissão Nacional de Energia Nuclear*

CSS *Cascading Style Sheets*

GUI *Graphical User Interface*

HDRP *High-Definition Render Pipeline*

HMD *Head-Mounted Display*

HTML *Hyper Text Markup Language*

HTTP *Hypertext Transfer Protocol*

INCA *Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva*

JSON *JavaScript Object Notation*

MEP *Mammography Education Platform*

MITIE *Medical Imaging Training Immersive Environment*

MS *Ministério da Saúde*

MVC *Model-View-Controller*

OMS Organização Mundial da Saúde

OPAS Organização Pan-Americana de Saúde

PBR *Physically Based Rendering*

QAAV Questionário de Avaliação de Ambientes Virtuais

RA Realidade Aumentada

RDC Resolução da Diretoria Colegiada

REST *Representational State Transfer*

RV Realidade Virtual

SGDB Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados

SPA *Single Page Application*

SQL *Structured Query Language*

SSS *Subsurface scattering*

SUS *System Usability Scale*

URL *Uniform Resource Locator*

UX *User Experience*

XML *Extensible Markup Language*

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Temática e Motivação	1
1.2	Objetivos	3
1.2.1	Objetivos Gerais	3
1.2.2	Objetivos Específicos	3
2	Fundamentação Teórica	5
2.1	Introdução	5
2.2	Câncer de Mama	5
2.3	A Mamografia	7
2.4	Programas de Controle de Qualidade: RDC N° 330	8
2.4.1	Legislação	8
2.4.2	Treinamentos	9
2.5	Realidade Virtual	10
2.6	Jogos Sérios, Simuladores e Gamificações	10
2.7	Aplicações <i>Web</i>	12
2.7.1	Caracterização	12
2.7.2	<i>Front End</i>	13
2.7.3	<i>Back End</i>	13
2.7.4	Banco de Dados	13
2.7.5	Arquitetura REST	14
2.7.6	Aplicações de Página Única: SPA	15
2.7.7	Containerização	16

2.8	Considerações Finais	16
3	Trabalhos Relacionados	17
3.1	Introdução	17
3.2	Gamificação para Ensino de Dispositivos de Raios X móvel	19
3.3	Ambiente Imersivo para Treinamento em Imagens Médicas	21
3.4	Laboratório Virtual de Cateterização para Educação de Pacientes	22
3.5	Simulador 3D em Realidade Virtual para Educação em Radiografia	23
3.6	Realidade Virtual vs. Simulação Real para Treinamento de Posicionamento em Radiografia	25
3.7	Considerações Finais	26
4	Metodologia	28
4.1	Introdução	28
4.2	Especificações do <i>Mammography Education Platform</i> (MEP)	28
4.2.1	Requisitos Funcionais	28
4.2.1.1	Módulo de Gerenciamento e Questionários	29
4.2.1.2	Módulo Gamificado	30
4.2.2	Requisitos Não Funcionais	33
4.2.2.1	Módulo de Gerenciamento e Questionários	33
4.2.2.2	Módulo Gamificado	33
4.2.3	Casos de uso	34
4.3	Ferramentas e Tecnologias	38
4.3.1	Desenvolvimento: Separação dos Módulos	39
4.3.2	Módulo de Gerenciamento e Questionários	40
4.3.2.1	Arquitetura	40
4.3.2.2	<i>Front End</i>	40
4.3.2.3	<i>Back End</i>	41
4.3.2.4	Banco de dados	43
4.3.3	Módulo gamificado	46
4.3.3.1	Criação dos <i>assets</i>	46
4.3.3.2	Criação das Cenas	47
4.3.3.3	Simulador de Imagens	52

4.3.4	Distribuição e Ampliação	54
4.4	Validação com Usuários	55
4.5	Considerações Finais	55
5	Resultados e Discussões	56
5.1	Introdução	56
5.2	Módulo Gamificado	56
5.2.1	Ambiente Virtual	56
5.2.2	Elementos do Ambiente: <i>Assets</i> Produzidos	58
5.2.3	Navegação e Interação com Elementos do Ambiente	63
5.2.4	Geração Virtual de Imagens	64
5.2.5	Gamificação	66
5.3	Módulo de Gerenciamento e Questionários	67
5.3.1	Acesso e Perfis do Sistema	67
5.3.2	Cadastro e Gerenciamento de <i>Trainees</i>	69
5.3.3	Exames	70
5.3.4	Questões	72
5.3.4.1	Cadastro	72
5.3.4.2	Banco de Questões	73
5.3.5	Programas	74
5.3.5.1	Atribuição de Treinamento	75
5.3.5.2	Acompanhamento (Estatísticas)	77
5.4	Discussões	78
5.5	Considerações Finais	79
6	Conclusões	80
6.1	Considerações Finais	80
6.2	Trabalhos Futuros	81
	Bibliografia	83

Introdução

1.1 Temática e Motivação

De acordo com a Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS), o câncer é uma das principais causas de morte no mundo, sendo a causa de aproximadamente 9,6 milhões de mortes em 2018. A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que ocorre mais de um milhão de novos casos de câncer todo ano mundialmente.

Ainda de acordo com a organização, o câncer de mama é o segundo tipo mais comum no mundo, com 2,09 de casos e o quinto tipo mais comum de morte por câncer (OPAS, 2021). A falta de acesso ao diagnóstico e tratamento são comuns, principalmente em países com baixa renda (OPAS, 2021).

No Brasil, entre as mulheres, o câncer de mama é o mais frequente (INCA, 2019a) (sem considerar o câncer pele não-melanoma) e a segunda principal causa de morte (INCA, 2019b). Na última estimativa realizada pelo Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (INCA) para o triênio 2020-2022, foram calculados 66.280 novos casos de câncer de mama, para cada ano do período (INCA, 2019a).

A maioria dos casos de câncer de mama são diagnosticados através do exame de mamografia. Este exame é considerado como padrão internacional para o rastreamento e diagnóstico (COOP; COWLING; LAWSON, 2016).

Para o rastreamento, a realização da mamografia é recomendada pelo Ministério da Saúde a cada dois anos para mulheres com idade entre 50 e 69 anos. Este exame, visa detectar lesões (microcalcificações, massas, etc.) através da aquisição de imagens mamográficas.

A qualidade da imagem gerada no exame está diretamente relacionada à capacidade de

detecção de uma anormalidade. A garantia da qualidade envolve critérios técnicos como a aplicação de testes periódicos nos equipamentos e clínicos como avaliação de filmes, compressão das mamas, exposição e definição da imagem (SABINO et al., 2014).

Em um estudo, Sabino et al. (2014) realizou a implantação de um programa de controle de qualidade em um hospital de referência. Durante a avaliação dos resultados do programa, foi constatado que 89% das falhas estavam relacionadas ao posicionamento da mama durante os exames. Falhas nos exames levam a repetições (*recall*) e a exposição a doses de raios X desnecessárias.

Ainda em relação a programas de controle de qualidade, a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) N° 330 (BRASIL, 2019) determina que estabelecimentos e serviços de radiologia implantem programas de qualidade, educação continuada e de proteção radiológica. Desta forma, o treinamento contínuo se faz necessário, levando a um aumento da qualidade das imagens mamográficas e conseqüente aumento da taxa de diagnóstico correto.

Estudos mostram também que centros de mamografia isolados carecem de mão de obra qualificada e de treinamento de profissionais (SABINO et al., 2014; ELKIN, 2019). No estudo de (SABINO et al., 2014) foi estimado que estabelecimentos de mamografia localizadas distantes das sedes e de treinamento prático possuíam aproximadamente três vezes mais falhas que outras unidades.

A informática têm auxiliado o treinamento de profissionais na interpretação de imagens e na inserção de novas tecnologias (THOMAZ; CROZARA; PATROCINIO, 2013; RIBEIRO et al., 2016). Também na área da saúde, o treinamento utilizando técnicas de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) tem sido aplicado em diversos projetos. Nesta área, a aplicação de jogos sérios também têm se mostrado de grande utilidade (DÖRNER et al., 2016).

De acordo com (CARDOSO; SILVEIRA et al., 2017), professores e estudantes podem se beneficiar com ambiente customizáveis e personalizáveis abertos. Ainda, a aplicação de RV e RA no ensino e aprendizagem tem diferenciais como a motivação, visualização detalhada, ilustração e demonstração de processos.

Sabino et al. (2014) demonstrou que o treinamento personalizado promove o pensamento crítico dos profissionais técnicos, reduzindo desperdício de recursos e exposição desnecessária à radiação ionizante. Nesta via, o treinamento a distância utilizando ambientes virtuais pode prover uma alternativa viável para fornecer treinamento inicial e contínuo para estudantes e técnicos(as) em mamografia.

Levando em consideração a necessidade de treinamento contínuo em centros de mamografias, este trabalho visa apresentar uma arquitetura utilizando um ambiente virtual de treinamento para formação inicial e contínua em técnicas de mamografia, utilizando questionários customizáveis para o treinamento inicial e contínuo. Ainda, este trabalho visa aplicar técnicas RV na educação, diante da sua crescente utilização em sistemas de treinamento para a saúde.

Desta forma, espera-se que a metodologia apresentada possibilite a execução do treinamento inicial e contínuo de forma facilitada, isto é, permitindo a sua execução com menores custos financeiros do que aqueles vistos em treinamentos presenciais, ampliação do acesso ao treinamento por unidades mamográficas isoladas e/ou distantes das sedes, bem como prover um recurso de gerenciamento de treinamento aderente aos requisitos da glsrdc N° 330, tanto para centros de formação como estabelecimentos de radiologia diagnóstica e/ou intervencionista.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

Este trabalho tem o objetivo de apresentar uma metodologia para treinamento em técnicas de mamografia através de um ambiente virtual utilizando técnicas de RV, gamificação e questionários (*quiz*).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Prover um recurso educacional aberto de treinamento em mamografia;
- Fornecer recursos para controle e gerenciamento de treinamento de profissionais em mamografia através de um portal *web*;
- Gerar relatório para avaliação de desempenho de usuários através de questionários (*quiz*) customizáveis;
- Criar um ambiente virtual de uma sala de mamografia aplicando RV associada a elementos de gamificação;
- Prover elementos (equipamentos e ferramentas) virtuais semelhantes aos utilizados na prática clínica para treinamento;

- Permitir a execução de técnicas mamográficas nos equipamentos e ferramentas.

Fundamentação Teórica

2.1 Introdução

Esta seção aborda as definições e conceitos sobre os temas que serão tratados ao longo do trabalho. É explicado e exemplificado conceitos base sobre câncer de mama, qualidade de imagem, treinamento em saúde, ambientes virtuais, aplicações *web* e a integração entre estes conceitos.

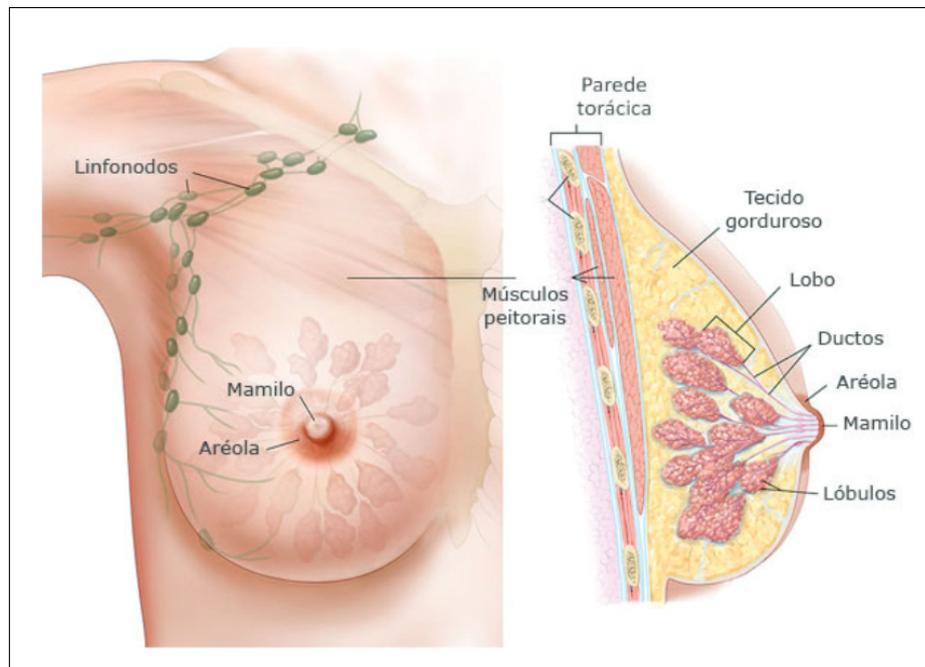
2.2 Câncer de Mama

De acordo com o INCA, câncer é o nome genérico dado a um grupo de mais de 100 patologias que possuem em comum o crescimento anormal e desordenado de células (INCA, 2018).

Este crescimento anormal tende a invadir tecidos e órgãos no corpo humano. Esta proliferação anormal de células em um tecido, é chamado de neoplasia. As neoplasias podem ser malignas ou benignas.

O carcinoma mamário, também chamado de câncer de mama desenvolve-se mais comumente em ductos mamários, entretanto, pode ter origem também em lobos mamários (INCA, 2018). O carcinoma ductal infiltrante é o mais comum, representando aproximadamente 80% dos casos. A Figura 2.1 mostra uma representação das estruturas internas e externas da mama feminina.

Figura 2.1: Estrutura anatômica da mama feminina.



Fonte: (INCA, 2021).

O câncer de mama é o segundo mais frequente no mundo, logo após o câncer de pele do tipo não-melanoma, e o mais frequente entre as mulheres no Brasil (INCA, 2019a) e no mundo (BRAY et al., 2018).

Este tipo de neoplasia possui diversos fatores de risco, como o envelhecimento e outros fatores relacionados à vida reprodutiva feminina. Também são fatores de risco aqueles relacionados à hereditariedade, fatores comportamentais e/ou ambientais. (INCA, 2019a).

De acordo com a OMS, o controle do câncer envolve a prevenção, detecção precoce e tratamento (OMS, 2017). A detecção precoce divide-se em duas estratégias. A primeira estratégia, chamada de rastreamento, visa encontrar lesões pré-cancerígenas através de exames de rotina aplicados em um grupo populacional (alvo), em pessoas sem sintomas.

A segunda estratégia visa realizar o diagnóstico precoce, identificando a lesão em estágio inicial (INCA, 2021), em pessoas com achados suspeitos ou antecedentes familiares. A mamografia é um exame amplamente realizado em ambas estratégias.

2.3 A Mamografia

O exame de mamografia é internacionalmente considerado como padrão para o rastreamento do câncer de mama (COOP; COWLING; LAWSON, 2016). Este exame é recomendado no Brasil, pelo Ministério da Saúde (MS), a ser realizado a cada dois anos por mulheres entre 50 e 69 anos de idade. Também é recomendado com frequência inferior a duas vezes por ano para mulheres com achados suspeitos, de acordo com a orientação do especialista.

A mamografia é um exame que utiliza raios X como base para geração de imagens das estruturas internas da mama. O equipamento utilizado neste tipo de exame é o mamógrafo. A Figura 2.2 exibe um mamógrafo.

Figura 2.2: Mamógrafo e estação de trabalho de aquisição.

(a) Suporte de raios X (perfil).



(b) Estação de trabalho de aquisição (vista lateral).



Fonte: O autor (2021).

A aquisição da imagem é feita por profissionais capacitados (técnicos), que operam o equi-

pamento e fornecem instruções aos usuários/pacientes no momento do exame. A partir das imagens geradas no exame de mamografia, um médico capacitado realiza a leitura, observando quaisquer anormalidades apresentadas. Neste momento, a qualidade da imagem é essencial para o sucesso de um diagnóstico (CALDAS et al., 2005).

Diversos fatores influenciam a qualidade de uma imagem de mamografia. Como exemplo, pode-se citar o tipo de equipamento utilizado, configurações de parâmetros e sua regulação (janela do ânodo, filtragem, colimação, etc.), posicionamento das mamas, tipo de sistema de registro e *display* utilizado na visualização da imagem (CHEVALIER et al., 2012).

Assim, o posicionamento correto, bem como a utilização de parâmetros (técnicas de aquisição) corretos nos equipamentos são necessários para obtenção de imagens com qualidade (SABINO et al., 2014). Para obtenção de imagens mamográficas com alta qualidade, clínicas e hospitais devem aplicar projetos de garantia de qualidade e programas de controle de qualidade (CHEVALIER et al., 2012). A implantação destes programas oferecem outros benefícios como redução de custos com a operação e a partir do treinamento, leva à redução de desconforto e de dose nas mamas de pacientes (BRNIC et al., 2012).

2.4 Programas de Controle de Qualidade: RDC N° 330

2.4.1 Legislação

No ano de 1998, foram estabelecidas as diretrizes básicas para proteção e controle de qualidade radiológica em radiologia diagnóstica médica e odontológica através da Portaria SVS/MS N° 453, em 1998 (BRASIL, 1998). Esta portaria estabelece a padronização e detalhamento de requisitos de proteção radiológica de estabelecimentos que operam com raios X, onde a mamografia está inclusa.

A RDC N° 330 (BRASIL, 2019), de 26 de dezembro de 2019, revoga a portaria Portaria SVS/MS N° 453, de 1998. Esta resolução atualiza e estabelece os requisitos sanitários de estabelecimentos e serviços de radiologia diagnóstica, bem como regulamenta o controle de exposições ocupacionais e do público devido ao uso de tecnologias radiológicas.

A RDC N° 330 estabelece, de acordo com o Artigo 5, que serviços de radiologia diagnóstica e/ou de intervenção devem implementar programas de garantia de qualidade, educação permanente e proteção radiológica. Segue a transcrição do Art. 5°.

Art. 5º Serviços de radiologia diagnóstica ou intervencionista devem implementar, no mínimo, os seguintes programas, além dos exigidos nas demais normativas aplicáveis:

I - Programa de Garantia da Qualidade;

II - Programa de Educação Permanente, para todos os profissionais; e

III - Programa de Proteção Radiológica, quando o serviço utilizar radiações ionizantes para fins diagnósticos ou intervencionistas.

A RDC estabelece ainda que os programas de controle de qualidade devem realizar capacitações e treinamentos inicial e periódicos, teóricos e práticos com frequência mínima anual. Ainda estabelece que treinamentos deverão ser aplicados sempre que novas técnicas e/ou tecnologias (um equipamento de mamografia novo, por exemplo) forem inseridos no estabelecimento.

Também é estabelecido que os treinamentos devem ser registrados, contendo dados básicos sobre conteúdo, data e informações sobre os treinandos. Em conclusão, a RDC Nº 330 estabelece normas claras e sólidas a respeito das regras, trabalho de rotina e protocolos e procedimentos da operação, tanto dos profissionais como dos pacientes e usuários.

2.4.2 Treinamentos

Atualmente no Brasil, os treinamentos em mamografia são realizados inicialmente através de cursos técnicos e tecnológicos em radiologia, sem qualificações específicas voltadas à mamografia (SABINO et al., 2014). No Brasil, os cursos técnicos têm duração de 18 meses e tecnológicos de 36 a 48 meses. Em países desenvolvidos os cursos de especialização em mamografia duram 4 anos.

O treinamento contínuo em mamografia de profissionais ocorre geralmente em cursos de atualização e reciclagem ou durante a execução de programas de controle de qualidade. Os treinamentos são fornecidos por programas de instituições, como o INCA ou por treinadores experientes (supervisores de radioproteção capacitados e licenciados pelo Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)).

Na educação médica, treinamentos utilizando técnicas computacionais tem sido amplamente utilizado nos últimos anos. (MACHADO et al., 2011; WANG et al., 2016; BIGDELI; KAUFMAN, 2017; MALHOTRA; KABRA; MALHOTRA, 2017). Assim, aplicação de técnicas de RV utilizando jogos sérios e simuladores tem se mostrado de grande utilidade (DÖRNER et al., 2016).

No campo da radiologia, técnicas como posicionamento de equipamentos e técnicas cirúr-

gicas podem ser citadas como exemplo de treinamentos que utilizam jogos sérios e simuladores (SAPKAROSKI; MUNDY; DIMMOCK, 2020; O'CONNOR et al., 2021).

2.5 Realidade Virtual

A Realidade Virtual pode ser apresentada como um sistema computacional utilizado para criar um ambiente artificial (virtual), onde um usuário tem a percepção de estar dentro do ambiente e possui capacidades de navegação, interação e imersão (CARDOSO; KIRNER et al., 2007). Esta técnica tem como objetivo transportar o usuário de um ambiente real e fazê-lo sentir-se como no ambiente virtual (TORI; TORI; NUNES, 2020).

Como aspectos da imersão, a RV pode ser classificada como imersiva e não-imersiva. A RV imersiva visa envolver o usuário no ambiente de forma a isolá-lo completamente os elementos do mundo real (CARDOSO; KIRNER et al., 2007). Assim, os sentidos advindos do mundo real são substituídos pelos de um ambiente virtual, utilizando elementos como o fones de ouvido, luvas táteis e capacetes do tipo HMD.

A RV não-imersiva fornece um ambiente virtual ao usuário sem isolá-lo completamente do mundo real. Neste tipo de sistema podem ser utilizados ferramentas como o mouse e o teclado. Elementos como a qualidade da imagem, campo de visão, vivacidade, interatividade, enredo, entre outros são utilizados para definir e caracterizar o tipo e nível de imersão (TORI; SILVA HOUNSELL, 2020).

Assim, estes sistemas computacionais podem ser utilizados na educação como ferramenta de aprendizado. Isto é, permite ao utilizador praticar um processo de exploração, descoberta e aprendizado. Ou seja, a RV pode proporcionar não somente a teoria, mas também experimentação prática (CARDOSO; KIRNER et al., 2007).

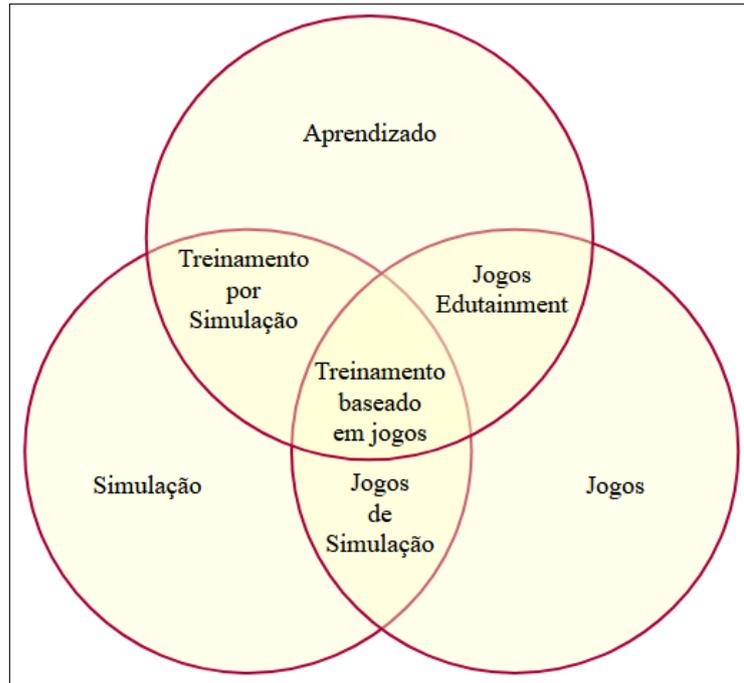
2.6 Jogos Sérios, Simuladores e Gamificações

Ainda utilizando a RV, vários jogos possuem um viés de treinamento, simulação e educação com propósitos específicos. Estes tipos de jogos são conhecidos como jogos sérios (*serious games*). Esta abordagem tem objetivo de unir conteúdos específicos e ludicidade, motivando o processo de aprendizado (MACHADO et al., 2011).

Segundo a definição de Dörner et al. (2016), os jogos sérios são jogos digitais criados com a intenção de entreter e alcançar um objetivo adicional, como aprendizado ou saúde. Ainda nesta

definição, estes objetivos adicionais são chamados de objetivos caracterizantes. Em Martens, Diener e Malo (2008), são citados aspectos pedagógicos, técnicos e próprios do jogo (Figura 2.3).

Figura 2.3: Relação entre o aprendizado, simulação e jogos.



Fonte: Adaptado de Martens, Diener e Malo (2008).

Este tipo de jogo têm trazido aplicações que motivam a construção e reconstrução de conceitos similares àqueles utilizados no mundo real. Com fim de aprendizado, simulações são feitas no jogos sérios a fim de replicar situações de tomada de decisão e/ou ensino de um conhecimento e técnica específica (MACHADO et al., 2011).

As simulações, por sua vez, visam reproduzir o funcionamento de um sistema ou técnica do mundo real, dentro de um ambiente virtual. Como exemplo, pode-se citar simuladores de aeronaves e na área da saúde, simuladores de aplicação de anestesia (CORRÊA et al., 2017).

Os jogos sérios podem ou não apresentar elementos de gamificação. A gamificação é um termo informal utilizado em contextos onde elementos de jogos são utilizados em contextos e sistemas não relacionados a jogos com o objetivo de melhorar a experiência do usuário - *User Experience* (UX) - e engajamento (DÖRNER et al., 2016). Como exemplo, em aplicativos de *smartphone*, usuários podem ser recompensados por explorarem e descobrirem novas funcionalidades.

Outras ferramentas, como sistemas de autoria, podem integrar e servir de auxílio em jogos

sério, aumentando a reusabilidade e conteúdo do jogo. Assim, ferramentas *web* podem ser utilizadas para usuários realizarem a customização dos games. Por exemplo, o jogo *Word Domination* (MILDNER; CAMPBELL; EFFELBERG, 2014) oferece uma ferramenta *web* de autoria para permitir a integração de novas questionários (*quizzes*) ao jogo.

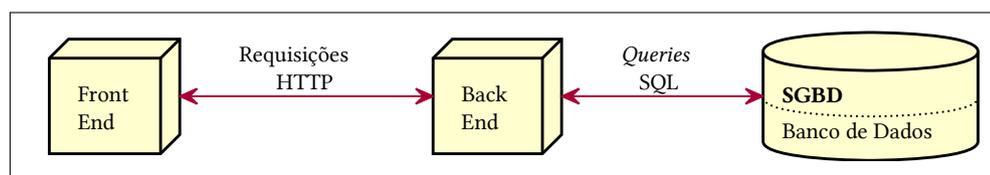
2.7 Aplicações Web

2.7.1 Caracterização

Aplicações *web* são programas (*software*) executados em servidores. As páginas *web* são aplicações *web* e como exemplo pode-se citar uma rede social ou um *website* de vendas *online* (*e-commerce*). Estas aplicações podem ser construídas utilizando arquiteturas de *software* como o *Model-View-Controller* (MVC) ou *Single Page Application* (SPA).

Estas aplicações são geralmente separadas em três domínios (ou *stacks*): *front end*, *back end* e banco de dados (*database*). Cada domínio pode possuir ferramentas e linguagens de programação específicas. A Figura 2.4 exibe um diagrama representando o relacionamento genérico entre os domínios.

Figura 2.4: Representação genérica da arquitetura de uma aplicação *web*.



Fonte: O autor (2021).

Esta representação de arquitetura possui diversas variações. A citar, existem aplicações que utilizam múltiplos *back end*, distribuídos em um ou mais servidores e/ou servidores de terceiros e arquiteturas que são construídas utilizando microsserviços. Outras, chamadas de *serverless*, eliminam a necessidade de gerenciamento de infraestrutura.

Cada tipo de arquitetura possui vantagens e desvantagens em aspectos como a manutenibilidade e escalabilidade. A arquitetura de uma aplicação *web* deve ser desenhada considerando diversos fatores, como exemplo a finalidade do sistema e quantidade de usuários.

2.7.2 *Front End*

O domínio de *front end* (GORE, 2017) está relacionada com a apresentação e interface visual da aplicação (*Graphical User Interface (GUI)*). Neste domínio, são utilizadas 3 linguagens básicas: *Hyper Text Markup Language (HTML)* (RAGGETT; LE HORS; JACOBS et al., 1999), *Cascading Style Sheets (CSS)* (W3C, 2016) e *JavaScript* (GORE, 2017)

O HTML é uma linguagem de marcação de texto utilizado para estruturar (posicionar) e especificar os tipos dos elementos da GUI. A linguagem CSS é utilizada para estilizar os elementos de uma página, adicionando cores, formas e sombras, por exemplo. O *JavaScript* é uma linguagem de programação interpretada de alto nível utilizada para manipular elementos de uma página *web* (não se limitando a isto, somente).

2.7.3 *Back End*

O domínio de *back end* (RICHARDSON, 2018) está relacionada com as regras de negócio da aplicação, isto é, a definição e implementação das funcionalidades da aplicação. Este domínio permite o emprego de múltiplas ferramentas e linguagens de programação, compiladas ou interpretadas, comumente chamadas de linguagens *server side*.

Esta camada é responsável por receber e processar requisições advindas dos usuários, através de navegadores (*browsers*). Este processamento pode envolver aspectos como autenticação, gerenciamento de permissões e solução da requisição (*response*). A partir da camada de *back end* os dados advindos das requisições podem ser processados e salvos em um banco de dados.

2.7.4 **Banco de Dados**

Esta camada, é responsável por armazenar (*persistência*) dados diversos sobre a aplicação, usuários e requisições. Este domínio utiliza um *software* chamado Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGDB) para facilitar o acesso, manipulação e organização dos dados (STONEBRAKER, 1988).

Um banco de dados pode ser utilizado em outros tipos de aplicações, como exemplo, um jogo pode realizar consultas e extrair dados (através do SGDB). Os dados são acessados através de uma *Application Programming Interface (API)* e consultados através da linguagem *Structured Query Language (SQL)* (no caso de bando de dados relacional).

Em bancos de dados do tipo relacional as informações são armazenadas em estruturas rí-

gidas de tabelas, colunas e linhas (OBE; HSU, 2017). Em banco de dados do tipo não-relacional as informações são armazenadas em estruturas mais flexíveis chamadas *documentos* (COPELAND, 2013). Como exemplo SGDB relacional pode-se citar o *SQLite*, *PostgreSQL* e *MySQL*. Como exemplo de banco de dados não-relacional, pode-se citar o *MongoDB* e *Amazon™ DynamoDB*.

2.7.5 Arquitetura REST

A arquitetura *Representational State Transfer* (REST) foi apresentada pelo cientista da computação norte-americano Roy Fielding, em sua tese de doutorado no ano de 2000 (FIELDING; TAYLOR, 2000). Ela surgiu devido a necessidade de padronização e interoperabilidade entre múltiplas aplicações servidas sob o protocolo *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP).

Este padrão, denominado por vezes como RESTful, têm sido utilizado como padrão em projetos novos e em diversos serviços de nuvem de grandes empresas de tecnologia, como o *Google* e *Facebook* (HALILI; RAMADANI, 2018).

Em sua tese de doutorado, Fielding estabelece 6 restrições (*constraints*) que definem e caracterizam uma aplicação REST:

- *Uniform interface*: interface uniforme;
- *Client-server*: cliente-servidor;
- *Stateless*: sem estados;
- *Cacheable*: dados cacheáveis;
- *Layered system*: sistema em camadas;
- *Code on demand* (opcional): código sob demanda.

Esta arquitetura possui diversas vantagens (HALILI; RAMADANI, 2018):

- Permite diversos formatos de mensagens, como o *Extensible Markup Language* (XML) e *JavaScript Object Notation* (JSON), levando a melhores performances (desempenho);
- Utilização dos verbos HTTP (*GET*, *POST*, *PATCH*, *PUT*, *DELETE*) de forma eficiente;
- Utilização de padrão HTTP de segurança;

- Dados disponibilizados através de recursos (*resources*), entre outros.

Os recursos (pacotes de dados ou mensagens) em formato JSON são disponibilizados no formato chave-valor. A Listagem 1 apresenta um exemplo de pacote neste formato:

Listagem 1: Exemplo de pacote JSON

```
{
  "nome": "João da Silva",
  "idade": 27,
  "email": "joao@exemplo.com"
}
```

Fonte: O autor (2021).

O funcionamento de uma aplicação com arquitetura REST é baseado em requisições (*requests*) e respostas (*responses*). As *requests* possuem uma estrutura padronizada composta por:

- Rota (*endpoint/route*): endereço *Uniform Resource Locator* (URL) no qual a informação será requisitada;
- Método: verbo HTTP da requisição;
- Cabeçalhos (*headers*): metadados sobre a requisição;

Corpo (*body/message*): dados (conteúdo) da requisição enviada;

As *responses* também possuem uma padronização. Elas são compostas por:

- Código (*status*): HTTP *status code*;
- Cabeçalho (*headers*): metadado sobre a *response*;
- Corpo (*body/message*)(opcional): conteúdo da *response*;

Este tipo de arquitetura possibilita a construção de aplicações isoladas e independentes como *web APIs*. As *web APIs* são amplamente utilizadas por páginas *web* do tipo SPA.

2.7.6 Aplicações de Página Única: SPA

Páginas *web* do tipo SPA - Aplicações de Página Única - são aplicações *web* que funcionam apenas do lado do cliente, em um navegador (*browser*) através de um único carregamento (SCOTT JR, 2015).

O conteúdo das páginas é atualizado através de *requests* e *responses* realizados em fundo (*background*). Este tipo de aplicação tem a vantagem de proporcionar uma experiência contínua ao usuário, sem interrupções, como um *software desktop*.

Além disso, esse tipo de página *web* podem utilizar múltiplos serviços de terceiros (*third-party services*), apresentando múltiplas funcionalidades. Isto leva a uma redução da carga de código produzida pelos desenvolvedores e reduz o tempo de entrega de uma aplicação.

As requisições para *web APIs* são realizadas de forma contextual e assíncrona. Isto é, as informações são enviadas e recebidas à medida que o usuário navega pela página interagindo com seus elementos. Isto permite um carregamento da página mais rápido e fluido.

2.7.7 Containerização

Para permitir que aplicações diferentes (com linguagem, ambiente e ferramentas diferentes) sejam executadas simultaneamente, diferentes tecnologias podem ser utilizadas, como a criação de imagens de máquinas virtuais e, mais recentemente, a utilização de *containers*.

A containerização (POULTON, 2019) é uma técnica de desenvolvimento e distribuição que pode ser definida como um ambiente isolado executando dentro de um mesmo ambiente original (*host*), sem a utilização de um *hypervisor* sobre o sistema operacional.

Esta técnica é diferente do conceito de máquinas virtuais pois consomem menos recursos ao compartilharem os recursos do ambiente original para sustentar cada aplicação, são mais ágeis e possuem maior portabilidade. A ferramenta de containerização mais utilizada atualmente é o Docker ¹.

2.8 Considerações Finais

Esta seção apresentou os conceitos base que serão utilizados ao longo do texto. Foram apresentados os conceitos e termos relacionados ao câncer de mama, mamografia, bem como o treinamento e a legislação atual.

Foram introduzidos também os conceitos de RV e de aplicações *web*. Desta forma, estas definições serão utilizadas para melhor entendimento do mecanismo e arquitetura aplicada no desenvolvimento da plataforma de treinamento proposta neste trabalho.

¹<https://www.docker.com/>

Trabalhos Relacionados

3.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados estudos com temas relacionados à pesquisa deste trabalho, técnicas atualmente aplicadas, resultados e as suas implicações. Para a pesquisa dos trabalhos relacionados, foram utilizadas seguintes as bases e bibliotecas digitais:

- *ACM Digital Library*;
- *IEEE Xplore Digital Library* ;
- *ScienceDirect*;
- *Web of Science* ;
- *Wiley Online Library*.

As palavras-chave utilizadas foram “*medical training*”, “*virtual environment*”, “*serious game*”, “*gamification*”, “*image acquisition*”, “*x-rays*” e “*mammography*”. A partir das combinações das palavras-chave, foi utilizada a seguinte *string* de busca:

- (“*virtual environment*” OR “*serious game*” OR *gamification*) AND ((*mammography* OR “*image acquisition*” OR “*x-rays*”) AND (*training* OR *education*))

Foram identificados 337 trabalhos, publicados entre o ano de 2014 e 2021. Foram excluídos artigos que não abordavam treinamento e não apresentavam ambientes virtuais relacionados à procedimentos médicos ou que não apresentavam aquisição de imagens. Após as exclusões, foram selecionados aqueles mais relevantes para o tema deste projeto. Em cada trabalho selecionado, as seguintes características foram levadas em consideração para análise qualitativa:

- **Gamificação:** Aplicação técnicas de gamificação como pontuação por ações, *feedback*, implementação de níveis (fases), sistema de recompensa, bem como elementos sugerindo uma atividade lúdica.
- **Recursos educacionais customizáveis (modificações):** É possível adicionar recursos educacionais ou adicionar/alterar tarefas dentro do sistema. Ou seja, o sistema permite ou facilita a inserção ou alteração de novos conteúdos e/ou questionários através de uma interface ou formulário.
- **Registro de desempenho e geração de relatório (relatório):** O sistema possui registro da performance do usuário e possibilita a geração de relatório de desempenho para avaliação por meio de questionários. Também foi observado se o sistema possui um sistema de seção individual de usuário (perfis).
- **Questionário de avaliação (avaliação):** O sistema possui mecanismo próprio para dar a nota (*score*) para o usuário e gerar um sistema de pontuação em questionários. Foi observado se o sistema não necessita de um avaliador externo (como um profissional) para julgar se uma o exame executado está correto ou não.
- **Qualidade dos elementos gráficos (realismo):** classificação do elementos componentes gráficos do sistema. Foram observados aspectos dos modelos 3D como qualidade das texturas e quantidade de polígonos. Também foi observado a iluminação dentro do ambiente em relação a presença e qualidade dos *shaders* (sombras, reflexos e *Subsurface scattering* (SSS)¹). Para uma avaliação mais precisa, seria necessário um teste com a aplicação produzida por cada autor e acesso aos objetos das cenas, o que seria inviável.
- **Tipo de equipamento (equipamento):** Qual equipamento foi utilizado para treinamento.

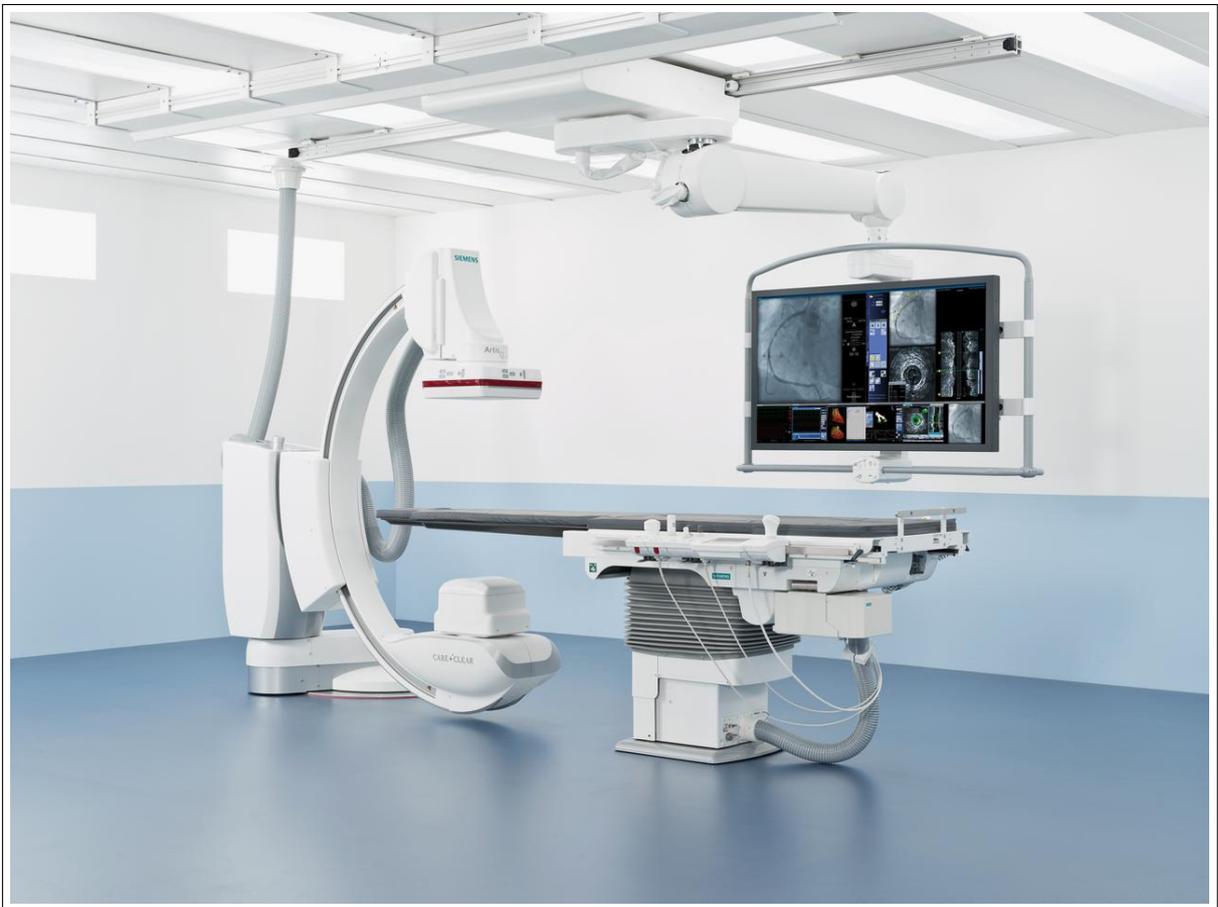
A partir destes elementos, a seguir são apresentados alguns trabalhos.

¹Mais informações em Nguyen (2007)

3.2 Gamificação para Ensino de Dispositivos de Raios X móvel

O trabalho de Süncksen et al. (2018) apresenta elementos de gamificação e RV para treinamento de um dispositivo de raios X do tipo arco C (Figura 3.1). O sistema é voltado para o ensino e treinamento de operadores do equipamento em procedimentos de imagem intraoperatório.

Figura 3.1: Exemplo de um arco C.



Fonte: (REDINGTON; BERNINGER, 2018).

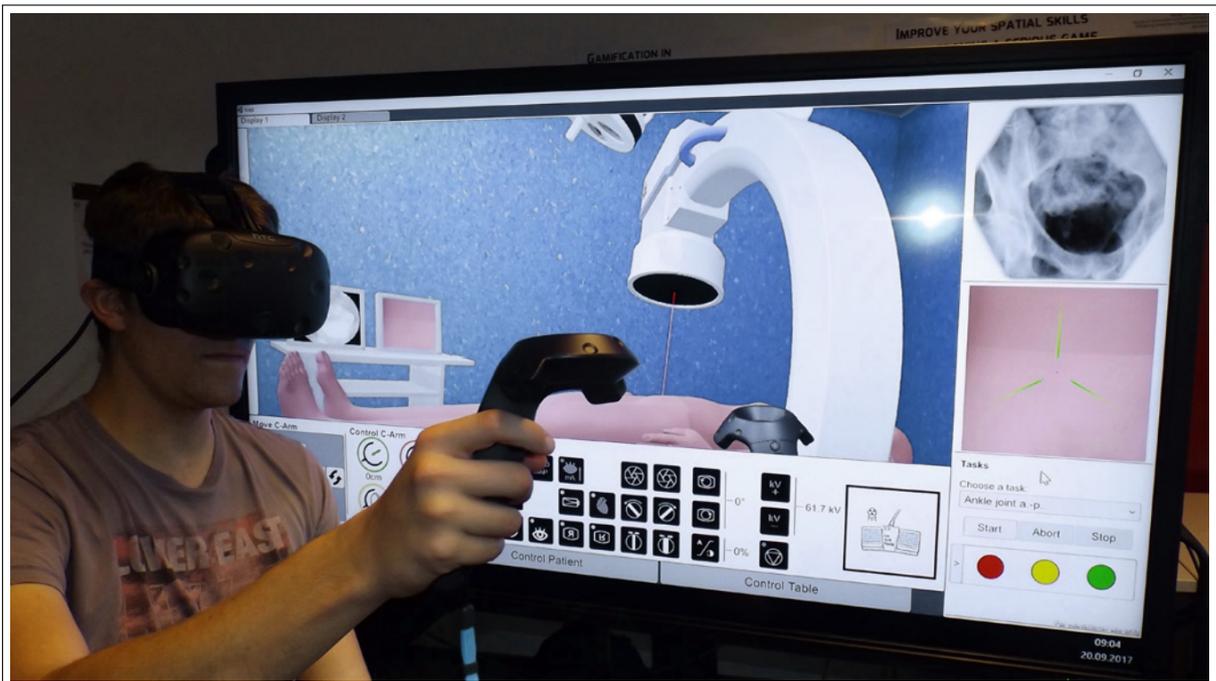
Neste e em outros equipamentos de imagem para procedimentos intraoperativos, raios X são utilizados continuamente (SÜNCKSEN et al., 2018) em boa parte dos procedimentos de cirurgia. Os autores citam a necessidade de educação e treinamento para minimizar a exposição inadequada e desnecessária de raios X ao paciente e profissionais durante as operações.

O sistema demonstrado neste trabalho foi construído a partir da *engine Unity3D*. Ele apresenta dentro do ambiente virtual os elementos de uma sala de operações comum, contendo o equipamento de imagem arco C, mesa de operações, tela (para exibição da imagem de raios X)

e um paciente. O sistema pode ser utilizado em modo *desktop* ou em modo HMD.

A partir da interface do sistema, o usuário pode mover o paciente, posicionar e realizar aquisição de imagens com o equipamento. As instruções para o usuário são exibidas na tela em forma de texto e imagem, com informações da estrutura anatômica alvo a ser capturada, ângulo de posicionamento do arco C. A Figura 3.2 exibe um usuário interagindo com a aplicação através de um dispositivo HMD.

Figura 3.2: Usuário realizando a interação com o equipamento através de HMD.



Fonte: (SÜNCKSEN et al., 2018).

As tarefas são avaliadas de acordo com critérios como exatidão do posicionamento do equipamento (ângulo da imagem), tempo de execução da tarefa e dose acumulada no paciente. O sistema permite ainda um modo de autoria, que permite adição ou alteração de tarefas por um outro usuário.

Na avaliação de tarefas, uma tela é apresentada com os parâmetros atingidos pelo usuário, bem como instruções curtas com dicas para melhoria do procedimento. O autor afirma ainda que o objetivo principal do jogo é a realização de boas imagens radiográficas.

Para elemento de gamificação, o jogo apresenta características como aumento de dificuldade nos níveis, desafios lúdicos e sistema de recompensas por pontos com base nos procedimentos executados.

O sistema apresenta como vantagem a capacidade de gerar imagens virtuais a partir de in-

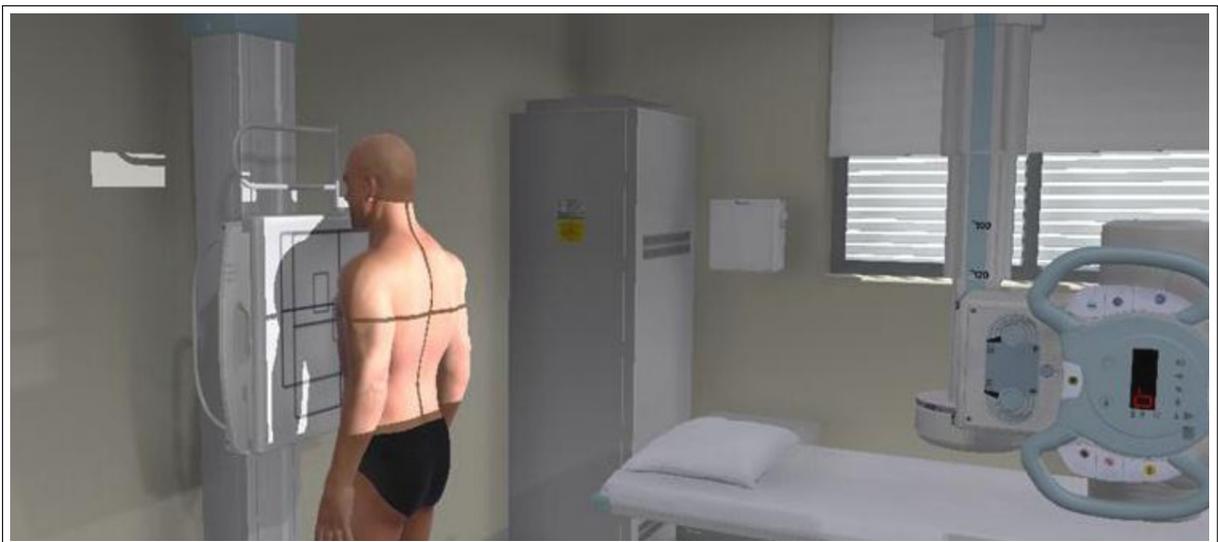
terações do usuário no sistema e possibilidade de modificação das tarefas por um outro usuário experiente. Como desvantagem, o sistema não gera um histórico de pontuação e/ou desempenho do usuário para avaliação posterior. Pode-se destacar também como desvantagem o realismo de qualidade intermediária.

3.3 Ambiente Imersivo para Treinamento em Imagens Médicas

O sistema MITIE de treinamento criado por Bridge et al. (2014) tem o objetivo de prover um treinamento para estudantes de imagens médicas equivalente ao recebido por estudantes de radiografia. O sistema permite experimentação e conta com *feedback* automatizado que destaca erros e melhorias possíveis nos procedimentos executados dentro do ambiente virtual.

O ambiente foi criado por uma empresa especializada utilizando a *engine Quest3D*. O sistema possui alto realismo gráfico dos equipamentos, sala e área de controle. Também possui um modelo com *rig* de paciente, permitindo posicionamento do mesmo e captura de imagens. O sistema é possível de ser utilizado na versão 2D ou em 3D com óculos do tipo *shutter glasses*. Uma pré-visualização pode ser observada na Figura 3.3.

Figura 3.3: Visualização parcial do sistema MITIE de treinamento em imagens médicas.



Fonte: (BRIDGE et al., 2014).

Para avaliação do desempenho dos estudantes no sistema, foi considerado a habilidade de posicionar o paciente, o equipamento e reproduzir as projeções radiográficas. A avaliação das

projeções radiográficas foi feita de forma independente por profissionais auxiliares.

Os resultados foram medidos a partir da aplicação de questionários e uma atividade avaliativa de performance com os estudantes divididos em 2 grupos. Um grupo recebeu treinamento prático e o outro recebeu treinamento pelo ambiente virtual. Na avaliação, o grupo que recebeu treinamento do ambiente virtual obteve melhor performance. No questionário, os estudantes mostraram preferência pela versão 2D do sistema.

Os autores destacam que para o treinamento e simulação de equipamentos radiográficos é necessário um ambiente completo, diferente daqueles para treinamento de cirurgias como broncoscopia e colocação de cateter. Os autores também citam que as soluções já existentes geralmente não proporcionam um bom nível de realismo e interações adequadas.

Pode-se destacar como vantagem no sistema MITIE a alta fidelidade gráfica do ambiente de forma geral e a possibilidade de geração de imagens virtuais. Como desvantagem, o sistema não permite a adição ou modificação de tarefas. Além disso, o artigo não menciona elementos de gamificação como pontuação, diferentes níveis e sistema de recompensa.

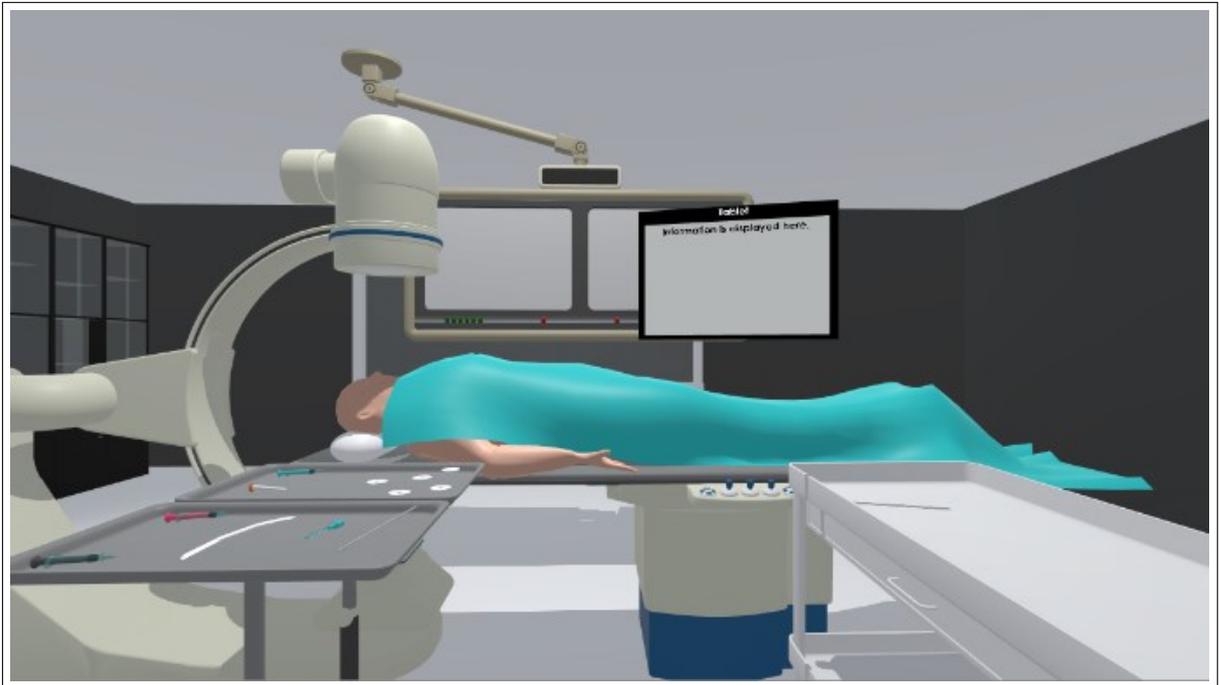
3.4 Laboratório Virtual de Cateterização para Educação de Pacientes

No trabalho de Wilcocks et al. (2018), é apresentado um simulador em um laboratório virtual de procedimentos de cateterização desenvolvido especificamente para educação e informação de pacientes. O sistema é focado em angiograma e emprega tecnologias imersivas para informar e educar pacientes submetidos ao procedimento.

O ambiente foi construído para ser utilizado com óculos *HTC Vive™*, a partir da *engine Unity3D*. Durante a simulação o paciente controla um avatar que pode navegar e interagir com elementos da cena. As instruções são fornecidas através de uma tela fixa com texto e um assistente virtual na própria cena que descreve de forma falada (narrada) o ambiente a guiar as tarefas a serem executadas, como localização, posicionamento e aplicação das ferramentas. Uma pré-visualização do ambiente pode ser observada na Figura 3.4.

Como vantagem o sistema possui um sistema instruções através de fala (narração), que amplia a acessibilidade à pacientes com condições adversas ou deficiências. Como desvantagem, pode-se citar que o ambiente fornece apenas um tipo de procedimento (angiograma), embora o autor cite que no laboratório real diversos outros procedimentos são realizados. Também

Figura 3.4: Pré-visualização do laboratório virtual.



Fonte: (WILCOCKS et al., 2018)

não é possível a adição de outras situações na cena. Não é citado a operação do equipamento no sistema, embora os procedimentos sejam focados em angiogramas..

3.5 Simulador 3D em Realidade Virtual para Educação em Radiografia

O trabalho de O'Connor et al. (2021) avalia o impacto da adoção de um sistema em RV no treinamento piloto de estudantes do primeiro graduação em Radiografia. O sistema em RV foi produzido pela empresa *Virtual Medical Coaching Ltd*, que atua no mercado de treinamento médico.

O trabalho tem os objetivos de determinar se com o uso do sistema os estudantes sentiriam-se mais confiantes e tiveram suas habilidades desenvolvidas, identificar melhorias potenciais e investigar possível integração no currículo do curso de radiografia. Por fim, o estudo visa também avaliar as perspectivas dos estudantes acerca do uso da ferramenta em RV como método de avaliação.

A ferramenta utilizada no trabalho de O'Connor et al. (2021) faz uso dos óculos *HTC Vive Pro™*. As seções de treinamento com a ferramenta em RV com os estudantes foram divididas

em módulos. O conteúdo dos módulos era relacionado à projeção radiográfica de algumas partes do corpo (caixa torácica, pélvis, etc.). As simulações também abordavam conteúdo sobre anatomia, posicionamento e patologias em cada parte do corpo. A Figura 3.5 exibe um usuário demonstrando a utilização do sistema.

Figura 3.5: Usuário demonstrando o sistema de treinamento (primeiro plano), com a pré-visualização do sistema (segundo plano).



Fonte: (O'CONNOR et al., 2021)

Após responderem um questionário rápido (*quiz*) sobre conteúdo aprendido, um paciente virtual dentro de uma sala aquisição de imagens era apresentado para que pudessem manipular o equipamento e realizar aquisição de imagens.

Ao finalizar as tarefas, um relatório é gerado contendo informações sobre a performance dos estudantes no *quiz* e simulador. No trabalho não foi abordado sistema de gamificação. Como conclusão, os autores puderam perceber que os estudantes se sentiram mais confiantes na aplicação das técnicas radiográficas após o uso da ferramenta e apreciaram a natureza interativa do simulador.

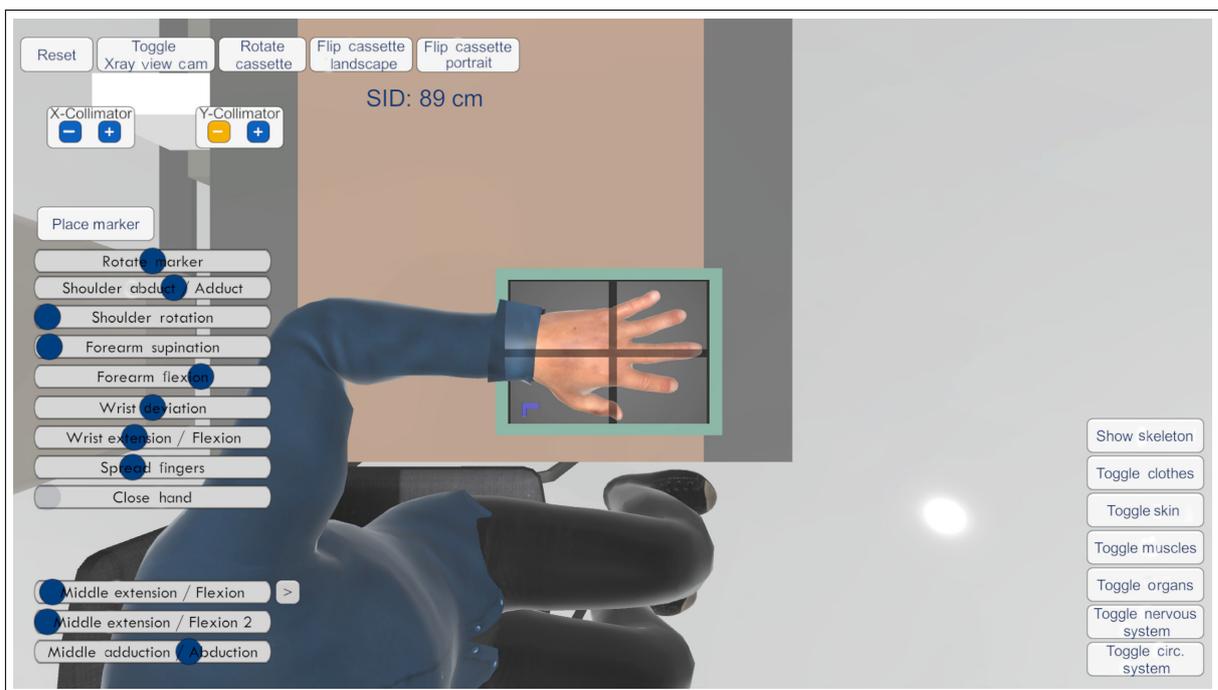
Como vantagem pode-se destacar a qualidade das interações na aplicação. Também pode-se mencionar a geração de relatório de desempenho pelo sistema juntamente com *feedback*. Pela proposta do sistema, a falta de elementos de gamificação pode ser considerada uma desvantagem. O trabalho também não menciona possibilidade de alteração ou adição de tarefas.

3.6 Realidade Virtual vs. Simulação Real para Treinamento de Posicionamento em Radiografia

No trabalho de Sapkaroski, Baird et al. (2018) foi criado um sistema - CETSOL - para permitir a comunicação e interação com pacientes dentro do ambiente, bem como a aquisição e processamento de imagens. Este trabalho faz uma comparação com o *software ShaderwareProjectionVR™*. O sistema desenvolvido durante 4 anos, foi adotado formalmente no currículo do curso de Bacharelado em Radiografia e Imagens Médicas na Universidade Monash, na Austrália.

O CETSOL foi desenvolvido com duas versões. Foi utilizada a *engine Unity3D* e conta com interações multimodais, podendo ser utilizado o *Oculus Rift®* ou *HTC Vive®*. As interações podem ser feitas utilizando o *Leap Motion®* também. O sistema utiliza uma API para reconhecimento de voz permite uma comunicação dinâmica com o avatar do paciente além de possibilitar uma variabilidade de exames de imagem (caixa torácica, abdome, etc.). Um mecanismo de registro de progresso remoto dos estudantes também foi criado. A Figura 3.6 exibe uma pré-visualização do sistema.

Figura 3.6: Pré-visualização do sistema CETSOL criado para Universidade Monash.



Fonte: (SAPKAROSKI; BAIRD et al., 2018)

No simulador, os estudantes foram instruídos a realizar uma tarefa de capturar uma ima-

gem de mão completa. A tarefa envolvia a comunicação com o paciente virtual acerca do procedimento, seleção correta das ferramentas e configuração do equipamento (fatores como colimação, distância imagem-fonte e exposição).

Como vantagem do sistema, pode-se mencionar o alto nível de interatividade proporcionado, a qualidade gráfica, a possibilidade de uso individual e geração de relatórios para acompanhamento dos educadores. Como desvantagem, o sistema não permite adições ou modificações de conteúdo de ensino e o trabalho não cita a aplicação de elementos de gamificação.

3.7 Considerações Finais

A Tabela 3.1 apresenta um resumo com as principais características encontradas nos sistemas analisados e descritas neste capítulo.

Tabela 3.1: Resumo dos sistemas apresentados.

Autor	Gamificação	Modificações	Relatório	Autoavaliação	Realismo	Equipamento
(SÜNCKSEN et al., 2018)	✓	✓	✗	✓	Baixo/Médio	Arco C
(BRIDGE et al., 2014)	✗	✗	✗	✗	Alto	Convencional
(WILCOCKS et al., 2018)	✗	✗	✗	✗	Baixo	Arco C
(O’CONNOR et al., 2021)	✗	✗	✓	✓	Médio/Alto	Arco C
(SAPKAROSKI; BAIRD et al., 2018)	✗	✗	✓	✓	Médio	Convencional

Os elementos de gamificação não se apresentam em todos os trabalhos, já que os mesmos apresentam uma proposta de simulador, com exceção do trabalho de Süncksen et al. (2018). Sobre a possibilidade de modificação do sistema, novamente, apenas o trabalho de Süncksen et al. (2018) mostra essa funcionalidade.

Sobre a capacidade de registro do desempenho dos usuários nos sistemas, pode-se observar que a funcionalidade se torna mais útil quando o sistema é utilizado em ambientes de ensino, pois permite que professores e educadores acompanhem a evolução dos estudantes. Somente os trabalhos de O’Connor et al. (2021) e Sapkaroski, Baird et al. (2018) atendem este ponto.

Em relação ao realismo, apenas os trabalhos de Bridge et al. (2014) e O’Connor et al. (2021)

são os que possuem uma maior qualidade gráfica, apresentando alto realismo. O trabalho de Sapkaroski, Baird et al. (2018) exibe um realismo gráfico regular, podendo ser classificado com médio/alto. Em relação ao equipamento, os trabalhos encontrados utilizavam Arco C ou equipamento de raios X convencional.

Metodologia

4.1 Introdução

Esta seção tem o objetivo mostrar a arquitetura, ferramenta e técnicas empregadas na construção do sistema de treinamento proposto, nomeado *Mammography Education Platform* (MEP), desde a criação dos *assets* até o seu desenvolvimento. A seção aborda os requisitos, a arquitetura, as técnicas aplicadas em cada módulo e por fim discorre sobre a integração entre as partes: Módulo Gamificado, Módulo de Gerenciamento e Questionários. A metodologia de validação não será tratada neste trabalho. Entretanto, ao fim da seção, é apresentada uma possível técnica de avaliação.

4.2 Especificações do MEP

Os requisitos de um *software* são uma declaração de funcionalidades, restrições e serviços que um sistema deve conter. Eles podem ser classificados como requisitos funcionais e requisitos não funcionais (SOMMERVILLE, 2016).

4.2.1 Requisitos Funcionais

De acordo com Karl Wiegers (2013), os requisitos funcionais devem descrever os comportamentos observados dentro de condições específicas e também ações que usuários poderão executar dentro do sistema.

4.2.1.1 Módulo de Gerenciamento e Questionários

RF_01 Cadastro e edição de dados de usuário:

Descrição O sistema deve permitir que os usuários realizem cadastro e alterações em dados pessoais quando pertinentes.

Entrada Dados pessoais simples (identidade) de usuários.

Processo Os usuários deverão preencher e enviar os formulários de cadastro e edição de dados.

RF_02 Cadastro e edição de questões e questionários:

Descrição O sistema deve permitir que usuários realizem o cadastro de questões.

Entrada Título e corpo da questão fechada com suas respectivas alternativas.

Processo Os usuários devem preencher e enviar um formulário para cada questão que desejar cadastrar.

RF_03 Cadastro e de programas de treinamento:

Descrição Os usuários poderão cadastrar programas de treinamento.

Entrada Nome do programa e *trainee*.

Processo O usuário deverá inserir e submeter as informações em um formulário.

RF_04 Atribuição de programas:

Descrição Os usuários (supervisores) poderão atribuir programas de treinamento a outros usuários (*trainee*).

Entrada Nome do programa e *trainee*.

Processo Os usuários deverão inserir e submeter as informações em um formulário.

RF_05 Progresso do treinamento:

Descrição Os usuários poderão visualizar o progresso do treinamento.

Entrada Não se aplica

Processo O usuário deverá acessar a página de detalhes do programa.

RF_06 Separação de perfis:

Descrição O sistema deverá possuir 3 perfis de acesso: administrador, supervisor e *trainee*.

Entrada Tipo de perfil (administrador, supervisor e *trainee*).

Processo No momento do cadastro de um novo usuário, o tipo de perfil deverá ser informado.

4.2.1.2 Módulo Gamificado

RF_01 Ambiente deverá ser navegável:

Descrição Os usuários poderão navegar no ambiente utilizando teclado e mouse.

Entrada Não se aplica.

Processo O usuário deverá utilizar teclas e movimentos específicos no teclado e mouse correspondentes às direções no *game*.

RF_02 Ambiente deverá ser interativo:

Descrição Os usuários poderão interagir com elementos do ambiente utilizando teclado e mouse.

Entrada Teclas de seleção específicas.

Processo Os usuário deverão utilizar teclado e mouse para interagir com elementos do sistema.

RF_03 Seleção e mobilidade de equipamentos/peças:

Descrição Os usuários poderão selecionar e ou mover objetos(equipamentos e ferramentas) dentro do *game*.

Entrada Seleção de objetos através de teclas e movimentos do mouse específicos.

Processo Os usuários deverão localizar e executar teclas e movimentos do mouse para poder selecionar e movimentar objetos dentro do ambiente.

RF_04 Visualização de instruções de equipamentos:

Descrição O ambiente deverá prover instruções escritas sobre como utilizar determinado equipamento.

Entrada Seleção de objetos através de teclas e movimentos do mouse específicos.

Processo Os usuários deverão localizar e/ou selecionar objetos, podendo visualizar as instruções de utilização do objeto em um dado contexto.

RF_05 Visualização de instruções de etapas:

Descrição O ambiente deverá prover as instruções na tela para que usuários possam ler e entender os objetivos específicos e gerais a serem executados.

Entrada Seleção de objetos através de teclas e movimentos do mouse específicos.

Processo Os usuários deverão ler na tela (*display*) e executar os objetivos específicos e gerais em cada nível.

RF_06 Sistema de recompensa:

Descrição O sistema deverá conter um mecanismo de recompensa (pontuação) para os usuários.

Entrada Não se aplica.

Processo Os usuários realizar procedimentos dentro do *game* e estes deverão ser recompensados (pontuados).

RF_07 Sistematização de objetivos:

Descrição O jogo deverá ter uma sequência de objetivos (específicos e gerais) como meta de cumprimento aos usuários.

Entrada Não se aplica.

Processo Os objetivos deverão ser informados aos usuários e estes deverão cumpri-los.

RF_08 Separação de níveis (fases):

Descrição O jogo deverá possuir uma separação de níveis (fases) com objetivos diferentes.

Entrada Não se aplica.

Processo Os usuários deverão passar por diferentes níveis, cada um com seus respectivos objetivos específicos e gerais diferentes.

RF_09 Operação do equipamento:

Descrição Os usuários deverão ser capazes de realizar operações com o equipamento, por exemplo, executar a rotação do arco de um mamógrafo.

Entrada Teclas específicas para cada operação.

Processo Os usuários deverão executar através do mouse e ou teclado comandos específicos para cada operação, dentro do contexto específico.

RF_10 Sistematização de objetivos:

Descrição O sistema deverá prover objetivos específicos e gerais.

Entrada Não se aplica.

Processo Os usuários deverão seguir os objetivos e realizar os procedimentos descritos, como posicionamento do mamógrafo ou seleção de uma ferramenta específica.

RF_11 Composição do ambiente virtual.

Descrição O ambiente deverá possuir uma sala de mamografia, composta por:

1. Mamógrafo (unidade de aquisição);
2. Estação de trabalho;
3. Pedais;
4. Caixa de controle (*control box*);
5. *Phantom* virtual da mama;

6. Bandejas de compressão;
7. Elementos decorativos.

Entrada Não se aplica.

Processo Modelos deverão ser criados e inseridos na cena.

4.2.2 Requisitos Não Funcionais

Ainda de acordo com Karl Wieggers (2013), os requisitos não funcionais abordam aspectos sobre condições em que o sistema deve funcionar. Pode-se citar como exemplo de aspectos a portabilidade, compatibilidade e restrições em um sistema operacional. A seguir são apresentados os requisitos não funcionais separado por módulo.

4.2.2.1 Módulo de Gerenciamento e Questionários

RNF_01 O acesso à conta poderá ser realizado através de plataformas diferentes (*web* ou pelo módulo gamificado).

RNF_02 Usuários só poderão acessar o sistema após informar suas credenciais.

RNF_03 Usuários *trainee* só poderão ser cadastrados por supervisores e administradores.

RNF_04 Usuários supervisores só poderão ser cadastrados por administradores;

RNF_05 Questionários só poderão ser cadastrados por supervisores.

RNF_06 Atribuições de programas só poderão ser realizadas por supervisores aos seus *trainees* cadastrados.

RNF_07 A aplicação *web* deverá ser possível de ser executada em diversos navegadores.

4.2.2.2 Módulo Gamificado

RNF_01 Os *assets* do jogo deverão ter aspecto realista, com ferramentas e objetos reproduzidos a partir do mundo real.

RNF_02 As instruções para as ferramentas deverão ser semelhantes aos objetos do mundo real.

RNF_03 O ambiente do jogo deverá ter aspecto ser aconchegantes.

RNF_04 O ambiente virtual deverá ser executada em Sistema Operacional Windows.

4.2.3 Casos de uso

Os casos de uso são utilizados para descrever tarefas discretas que um ou mais usuários poderão realizar dentro do sistema. Nesta representação, os usuários são representados por bonecos de palito (estilizados ou não) e são denominados atores. As tarefas discretas são representadas dentro de elipses com um texto descritivo (SOMMERVILLE, 2016).

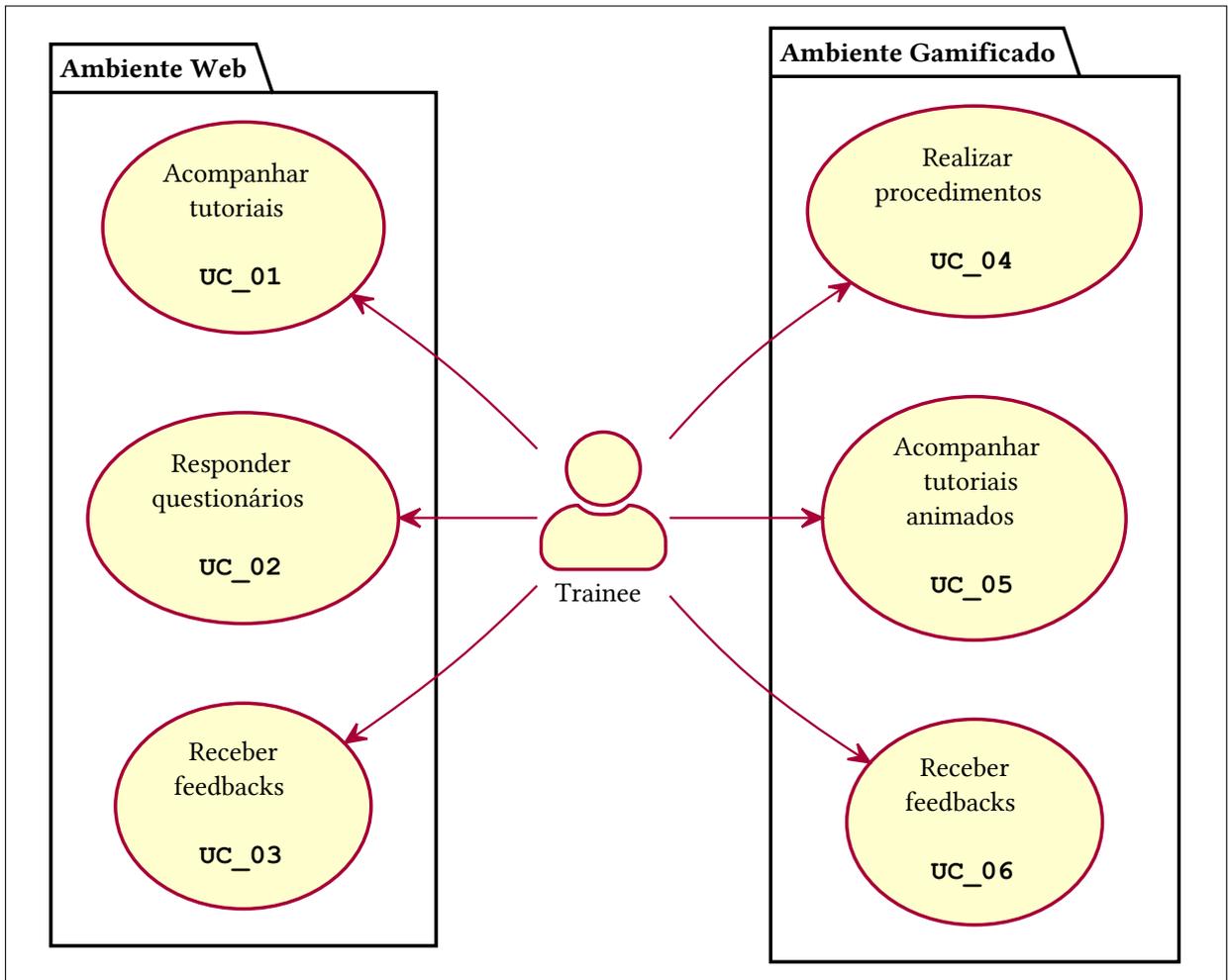
Dentro do Módulo de Gerenciamento e Questionários, os atores representados nos diagramas (Figuras 4.1 e 4.2) podem ser:

Administrador Ator com o maior nível de acesso dentro do sistema.

Supervisor Ator responsável gerenciar (de maneira geral) os programas de treinamento do *trainee*.

Trainee Ator final do sistema, responsável (de maneira geral) por realizar os treinamentos atribuídos.

Figura 4.1: Casos de uso do sistema para o ator *Trainee* com suas respectivas tarefas em ambos os módulos.



Fonte: O autor (2021).

Os casos de uso direcionados aos usuários de perfil *Trainee*, representados no diagrama da Figura 4.1 são detalhados a seguir:

Trainee

UC_01 Acompanhar tutoriais: o *trainee* deverá acompanhar eventuais tutoriais e/ou instruções como pré-requisito para aprovação no programa.

UC_02 Responder questionários: o *trainee* deverá responder os questionários (todas as questões) a ele atribuído como pré-requisito para aprovação no programa.

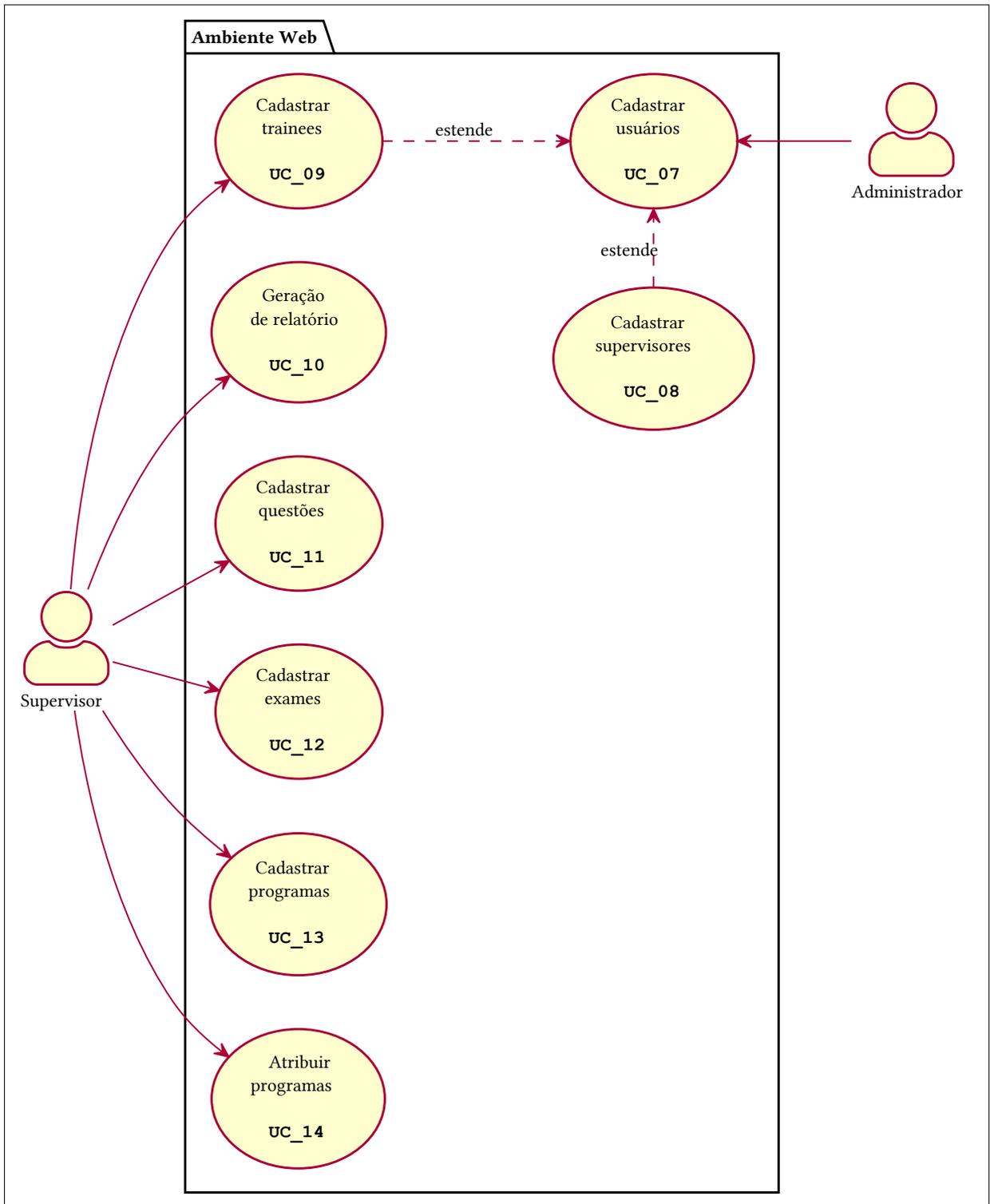
UC_03 Receber *feedbacks* (ambiente *web*): receber *feedbacks* de suas atividades realizadas nos questionários, por meio de relatórios.

UC_04 Realizar procedimentos: executar os procedimentos dentro do ambiente gamificado, cumprindo os objetivos gerais e específicos.

UC_05 Acompanhar tutoriais animados: acompanhar os tutoriais e instruções dentro do ambiente gamificado.

UC_06 Receber *feedbacks* (ambiente gamificado): receber *feedbacks* sobre as atividades realizadas no ambiente gamificado, por meio de notas de texto na tela.

Figura 4.2: Casos de uso do sistema para os atores *Supervisor* e *Administrador* com suas respectivas tarefas.



Fonte: O autor (2021).

Os casos de uso direcionados aos usuários de perfil *Supervisor* e *Administrador*, represen-

tados no diagrama da Figuras 4.2 são detalhados a seguir:

Administrador

UC_07 Cadastrar usuários: realizar o cadastro de usuários, com qualquer perfil (administradores - inclusive, supervisores e *trainees*). Quando for necessário o cadastro de *trainees*, deverá indicar o supervisor responsável pelo *trainee*.

UC_08 Cadastrar supervisores: realizar o cadastro de usuários com perfil *supervisor*.

Supervisor

UC_09 Cadastrar *trainees*: cadastrar usuários com o perfil de *trainee*, sendo ele responsável pelo treinamento do usuário *trainee* cadastrado.

UC_10 Geração de relatório: gerar relatórios de desempenho para cada programa atribuído aos seus *trainees*.

UC_11 Cadastrar questões: realizar o cadastro de questões, fornecendo enunciado e alternativas. Deve-se também ser indicado a resposta para questão.

UC_12 Cadastrar exames: realizar o cadastro de exames, indicando as questões que irão compor este exame.

UC_13 Cadastrar programas: realizar o cadastro de programas de treinamento, indicando o *trainee* e exames que irão compor este programa.

UC_14 Atribuir programas: realizar a atribuição de programas de treinamento aos seus *trainees*.

4.3 Ferramentas e Tecnologias

Nesta seção, serão abordadas as ferramentas, técnicas de modelagem dos dados, desenvolvimento e de distribuição para o Módulo de Gerenciamento e Questionários. Em seguida, serão

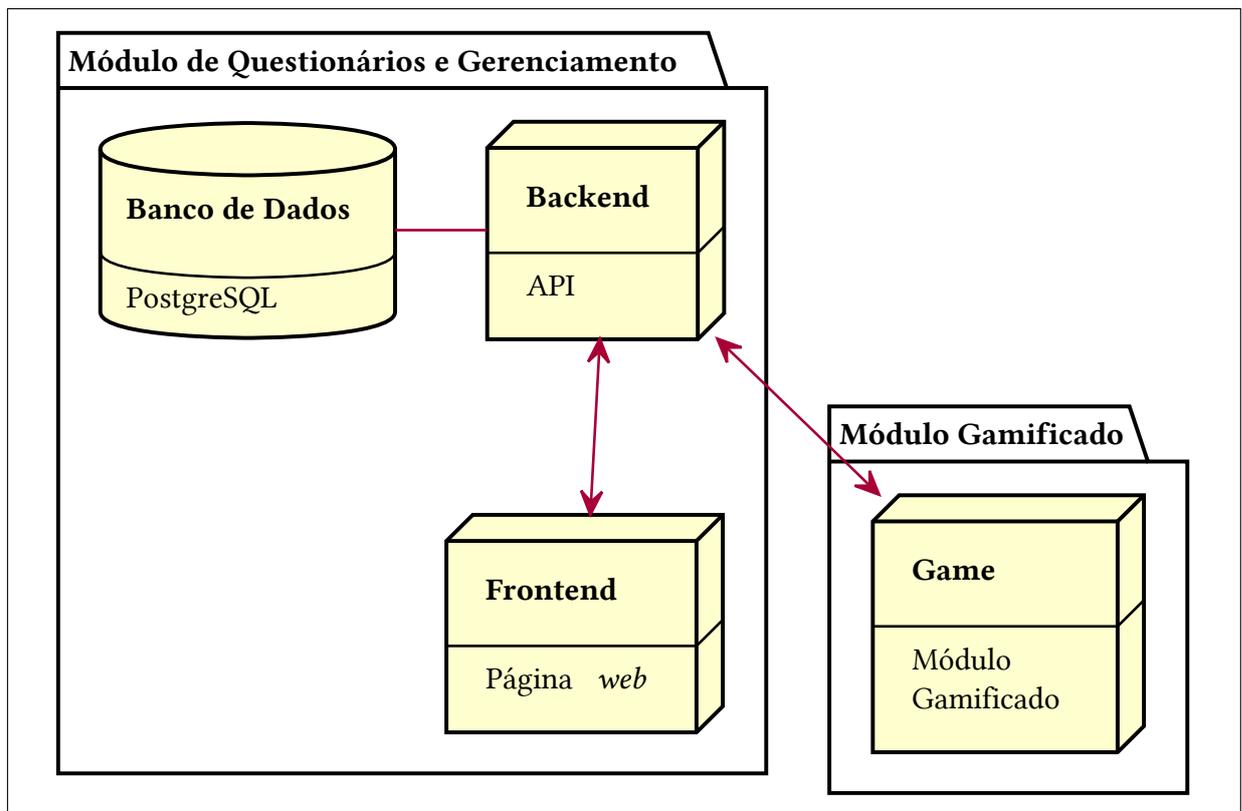
descritas as técnicas de construção dos *assets*, ferramentas e metodologia de construção das cenas no Módulo Gamificado.

4.3.1 Desenvolvimento: Separação dos Módulos

O desenvolvimento do sistema foi efetuado em duas fases, sendo o Módulo Gamificado a primeira fase a ser desenvolvida. A fase do Módulo de Gerenciamento e Questionários foi implementada posteriormente, influenciada pela revisão da literatura que continham projetos com arquiteturas semelhantes, como em O'Connor et al. (2021).

O Módulo de Gerenciamento e Questionário possui três componentes principais: *front end*, *back end* e banco de dados. O Módulo Gamificado foi desenvolvido de maneira independente. A Figura 4.3 exibe uma representação desta separação.

Figura 4.3: Diagrama de componentes representando a separação dos módulos durante o desenvolvimento.



Fonte: O autor (2021).

4.3.2 Módulo de Gerenciamento e Questionários

4.3.2.1 Arquitetura

O Módulo Gamificado é constituído de 3 partes principais, que formam a base se sua arquitetura: *front end*, *back end* e banco de dados.

4.3.2.2 *Front End*

O *front end* é a seção responsável pela apresentação (visualização) das informações através de um navegador (*Google Chrome*, *Firefox*, *Safari*, etc.). O *front end* foi desenvolvido utilizando *Vue.js*¹, um *framework* amplamente aplicado no mercado em diversos tipos de páginas *web*, construído com a linguagem *JavaScript*.

Para efetuar requisições HTTP, foi utilizada e configurada a biblioteca *Axios*². Também foram utilizadas as linguagens de marcação HTML e de estilização CSS. O *framework Vue.js* permite a implementação de páginas *web* do tipo SPA, ou seja, aplicações de página única. Desta forma, todos os itens estruturais de uma página são carregados em apenas uma requisição.

Estes itens estruturais poder ser separados em componentes (*web componentes*). Os componentes são reutilizáveis dentro do código e são compilados (transformados em código HTML, CSS, e *JavaScript*) na fase de *deploy*. As requisições efetuadas para um serviço API buscam informações que eventualmente irão preencher os componentes.

Este tipo de página possui diversas vantagens. Dentre elas, pode-se citar a possibilidade utilizar informações de diversas fontes (APIs), maior fluidez durante a navegação do usuário, pois não necessita de recarregamento total da página, bem como a fácil reutilização (com adaptação) em dispositivos diversos (aplicações para *smartphones*, *desktops*, etc.).

A Listagem 2 exhibe um componente *Vue.js* de exemplo `UserRegister.vue`. Observe a reutilização de outro componente, `UserForm.vue`, em sua implementação.

¹<https://vuejs.org/>

²<https://axios-http.com/>

Listagem 2: Exemplo de componente *Vue.js*.

```
<template>
  <div>
    <h2>Novo usuário</h2>
    <v-divider></v-divider>
    <UserForm></UserForm>
  </div>
</template>

<script>
import UserForm from "@/components/start/users/components/UserForm.vue";

export default {
  name: "UserRegister",
  components: { UserForm },
};
</script>
```

Fonte: O autor (2021).

4.3.2.3 *Back End*

O *back end* é responsável por processar requisições e retornar as respectivas respostas. A linguagem de programação principal utilizada no desenvolvimento do *back end* foi o Python 3. Foram utilizados os *frameworks* (ferramentas) *Django*³ e *Django REST Framework*⁴.

Esta ferramenta permitem a modularização do *back end* em *apps* (aplicações pequenas) que podem ser reutilizadas em outros sistemas. Por exemplo, o módulo *User* desenvolvido pode ser reutilizado em um sistema *e-commerce*. Outro exemplo, o módulo *Exam* desenvolvido pode ser utilizado em um sistema escolar para gerenciar aplicação de provas.

A ferramenta *Django REST Framework* permite a construção de aplicações utilizando *Django* como base, porém com arquitetura REST. Desta forma, o *back end* permite que aplicações externas realizem requisições (*requests*) buscando informações através de *endpoints*. Um exemplo de implementação de um *endpoint* pode ser visualizado a seguir.

A Listagem 3 A URL para acessar este *endpoint* é:

³<https://www.djangoproject.com/>

⁴<https://www.django-rest-framework.org/>

/api/exam/exams-requests/10/stats/

Listagem 3: Código-fonte usado em um *endpoint* que retorna dados estatísticos.

```
@action(
    methods=['GET'],
    detail=True,
    url_path='stats',
    url_name='stats'
)
def stats(self, request, pk=None):
    instance = self.get_object()
    data = instance.generate_stats()
    return Response(data=data)
```

Fonte: O autor (2021).

Este *endpoint* retorna informações estatísticas sobre um dado ExamRequest (atribuição de exame). A resposta é retornada em formato JSON. A Listagem 4 apresenta um exemplo de resposta para esta solicitação:

Listagem 4: Exemplo de pacote JSON retornado pelo *endpoint* anterior.

```
{
    "id": 10,
    "program": 13,
    "examResponse": null,
    "createdOn": "2021-06-17T20:36:12.194000Z",
    "startedOn": null,
    "completedOn": null,
    "questions": [52, 53, 54, 55],
    "answers": [],
    "unansweredQuestions": [52, 53, 54, 55],
    "questionsBalance": [],
    "correctQuestions": [],
    "incorrectQuestions": [],
    "correctionRate": null
}
```

Fonte: O autor (2021).

4.3.2.4 Banco de dados

O banco de dados é responsável por armazenamento das informações de usuários, exames e configurações gerais. O SGDB utilizado foi o *PostgreSQL*⁵.

Os dados do sistema foram criados utilizando o conceito do *Django* chamado *classe de modelo*. Este tipo de modelagem permite a implementação de classes na linguagem *Python*, que serão então convertidas em tabelas em um banco de dados relacional.

Desta forma, foram criadas diversas classes de modelos, distribuídos em três *apps*: *users*, *exam* e *program*. A Listagem 5 mostra um exemplo de implementação de um modelo de classe.

Listagem 5: Exemplo de implementação de um modelo de classe.

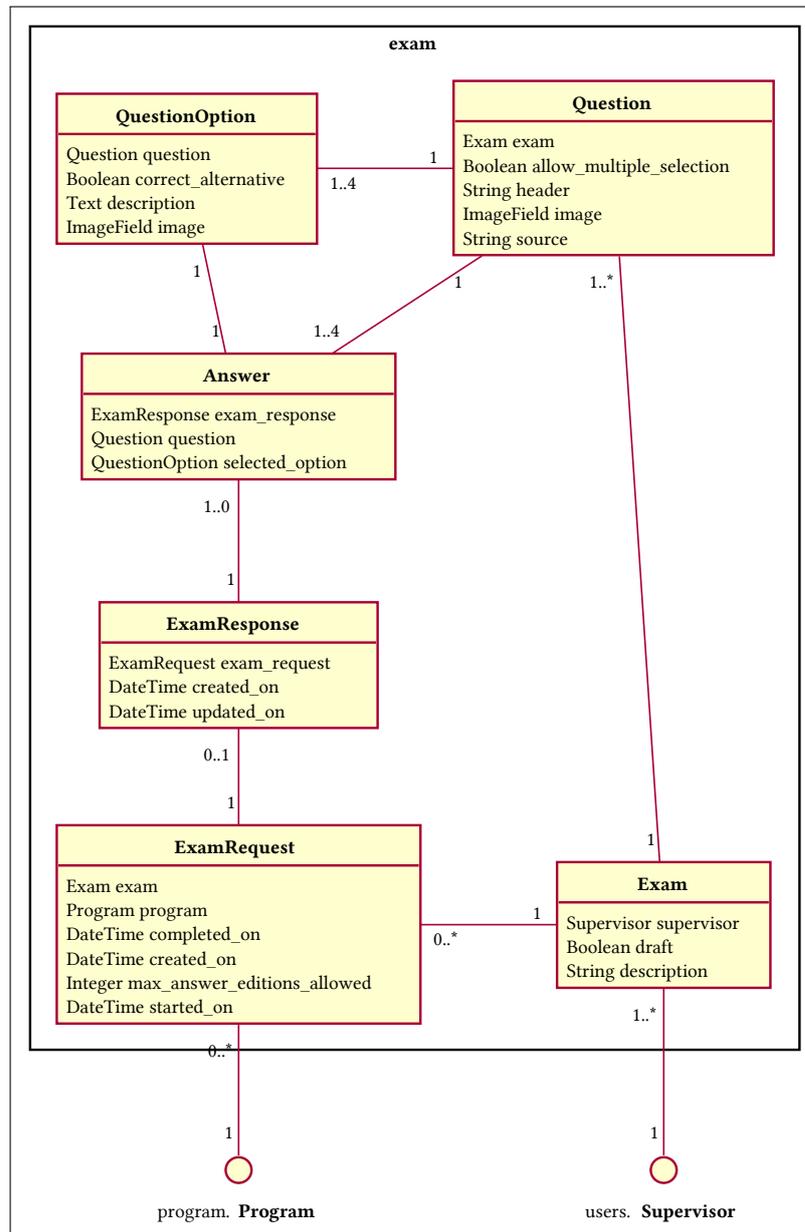
```
class Exam(models.Model):
    class Meta:
        verbose_name = _("Exam")
        verbose_name_plural = _("Exams")
    draft = models.BooleanField(
        verbose_name=_("Draft"),
        default=True,
        null=False,
        blank=False,
    )
    description = models.CharField(
        verbose_name=_("Description"),
        help_text=_("A description of the exam"),
        max_length=255,
        null=True,
        blank=True,
    )
    supervisor = models.ForeignKey(
        "users.Supervisor",
        verbose_name=_("Supervisor"),
        on_delete=models.CASCADE,
        related_name="exams",
        null=False,
        blank=False,
    )
```

Fonte: O autor (2021).

⁵<https://www.postgresql.org/>

As tabelas geradas no banco de dados a partir das classes de modelos podem ser visualizadas nas Figuras 4.4, 4.5 e 4.6. Outras classes de modelos embutidas (*built-in*) no *Django* também foram geradas. Por exemplo, `Group`⁶, `Permissions`⁷ e `ContentType`⁸, entretanto essas classes não serão apresentadas neste texto.

Figura 4.4: Diagrama de classes para tabelas geradas no banco de dados no *app* exam.



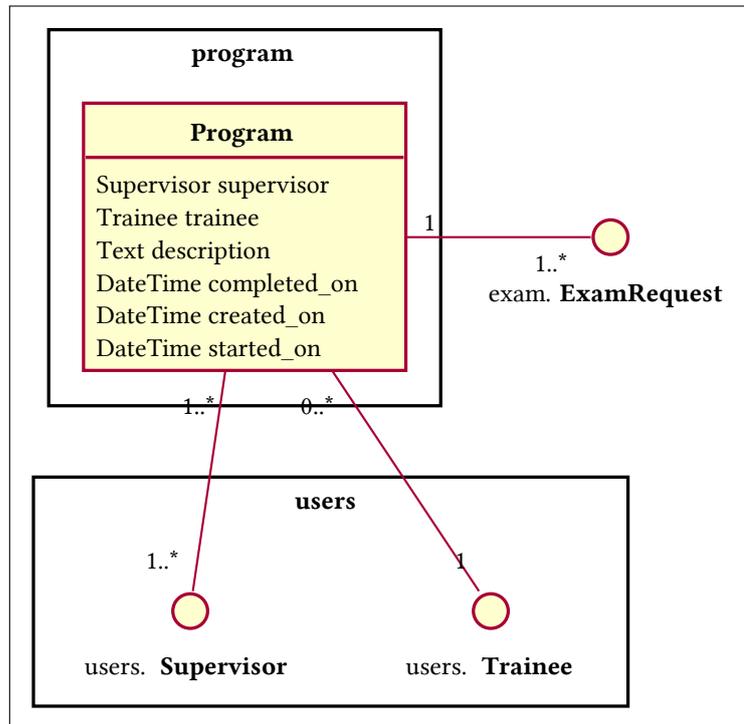
Fonte: O autor (2021).

⁶<https://docs.djangoproject.com/en/3.2/ref/contrib/auth/#group-model>

⁷<https://docs.djangoproject.com/en/3.2/ref/contrib/auth/#permission-model>

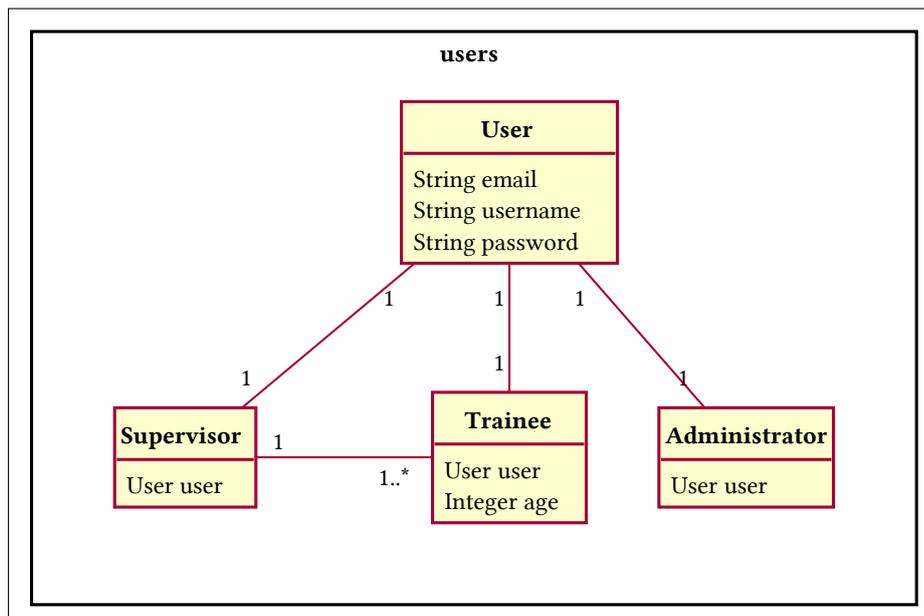
⁸<https://docs.djangoproject.com/en/3.2/ref/contrib/contenttypes/#the-contenttype-model>

Figura 4.5: Diagrama de classes representando as tabelas geradas no banco de dados para o *app* program.



Fonte: O autor (2021).

Figura 4.6: Diagrama de classes representando as tabelas geradas no banco de dados para o *app* users.



Fonte: O autor (2021).

4.3.3 Módulo gamificado

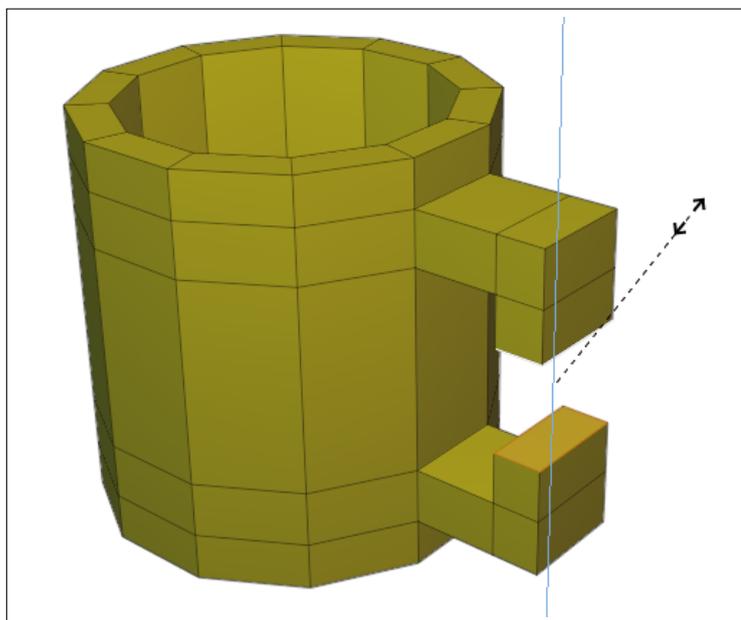
4.3.3.1 Criação dos *assets*

Os *assets* são todos os insumos utilizados no desenvolvimento do módulo gamificado. Esses insumos são as texturas, materiais, modelos 3D, sons, entre outros. Os modelos 3D, texturas e materiais foram criados pelo autor. Os sons foram obtidos em *website* específico⁹ que realiza gravações de elementos reais por captura com microfone.

A modelagem dos elementos e a produção das respectivas texturas nas cenas foram feitas com através da *suite open source Blender*¹⁰. As técnicas de modelagem utilizadas foram a *box modeling* e *digital sculpting*.

Na técnica *box modeling* elementos primitivos (cubo, cilindro, etc.) são utilizados como base. Em sequência, são realizadas modificações como subdivisões, extrusões e inserção de vértices, arestas e faces para que os objetos primitivos tomem a forma do objeto final. A Figura 4.7 exibe um exemplo de aplicação desta técnica.

Figura 4.7: Exemplo de aplicação de técnica *box modeling* em um cilindro para criação de uma caneca.



Fonte: O autor (2021).

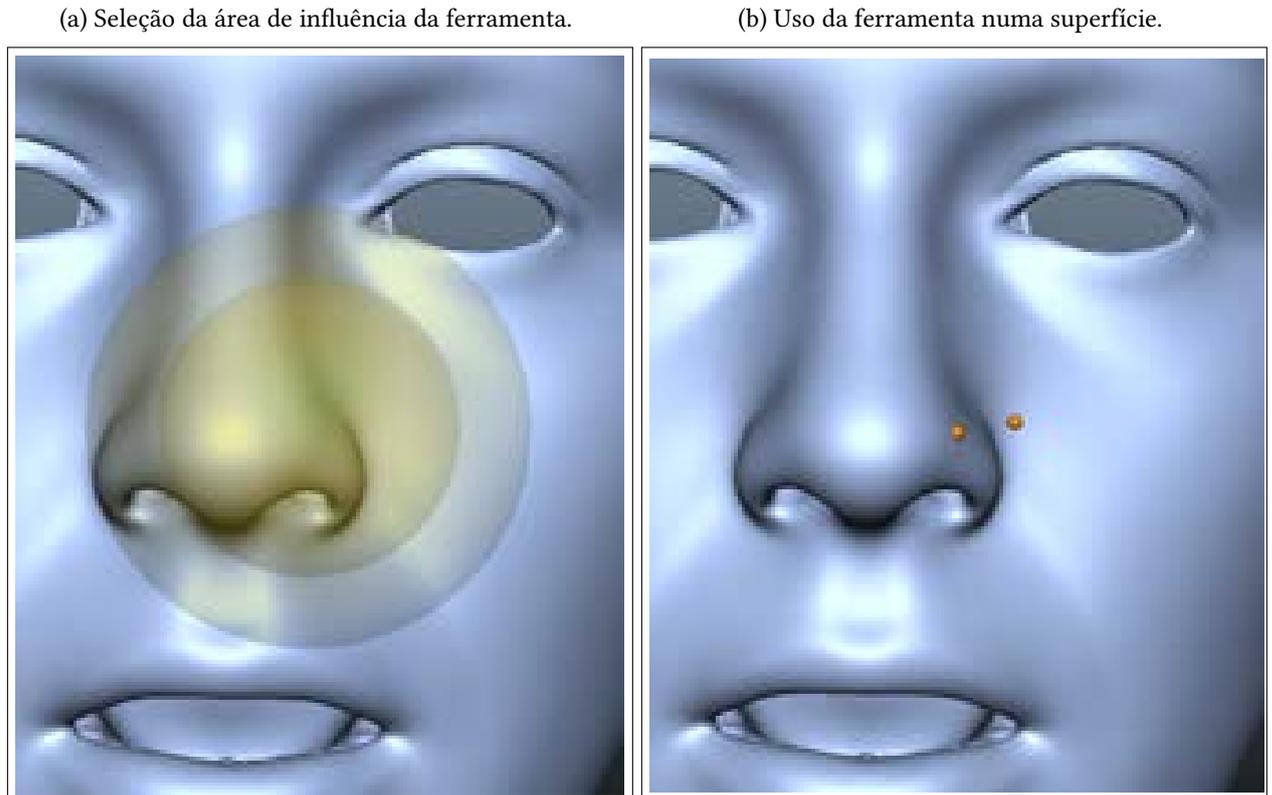
A técnica *digital sculpting* é realizada através de ferramentas conhecidas como pinceis. Estas ferramentas permitem aplicação de movimentos como empurrar e puxar em um conjunto

⁹<https://freesound.org/>

¹⁰<https://www.blender.org/>

de vértices, arestas e faces. As manipulações são aplicadas até atingirem a forma do objeto final desejado. Esta técnica é geralmente utilizada em objetos complexos, com muitas curvas e abaulamentos. A Figura 4.8 exibe um exemplo de aplicação desta técnica.

Figura 4.8: Exemplos de modelagem utilizando a técnica *digital modeling*.



Fonte: Gruber et al. (2020).

Os modelos 3D foram construídos buscando correspondência com elementos do mundo real. Desta forma, o elemento principal do módulo, o mamógrafo, foi construído com base no mamógrafo *Siemens Mammomat*TM. Outros elementos decorativos como armário e lixeiras também foram criados com o mesmo conceito, utilizando referências de *websites* de móveis e insumos hospitalares

4.3.3.2 Criação das Cenas

A cena do ambiente virtual e seus *scripts* foram desenvolvidos na *engine* Unity¹¹, versão 2019 LTS (*long term support*). Os *scripts* dos objetos e *shaders* da cena foram criados utilizando a linguagem de programação C#.

¹¹<https://unity.com/>

Foi utilizado a *pipeline* de renderização *High-Definition Render Pipeline* (HDRP), que permite um alto nível de realismo gráfico, a partir da utilização de renderizações de materiais do tipo *Physically Based Rendering* (PBR). Este tipo de *pipeline* permite que *assets* com materiais PBR criados no Blender sejam facilmente importados dentro das cenas com pouca ou nenhuma diferença entre o material exibido no Blender e aquele criado na *engine* Unity.

Durante o processo de criação, como requisito de um projeto HDRP no Unity, foi necessário o agrupamento das texturas *metallic* (metálica), *ambient occlusion* (oclusão de ambiente), *smoothness* (suavidade), e *detail* (detalhe ou relevo) para criação de uma textura final chamada de *mask map* (mapa de máscara).

Este mapa reúne cada uma dessas texturas em um dos canais RGBA (*red*, *green*, *blue* e *alpha*) da imagem final, reduzindo a quantidade de arquivos dentro de um projeto e consequentemente o espaço em disco ocupado por cada material na cena. Ou seja, ocorre um empacotamento de texturas. Assim, foi criado uma extensão (*plugin*) para o Blender denominada *Channel Packer - Mask Map Generator* para que possa exportar as texturas empacotadas.

O desenvolvimento do ambiente gamificado foi feito objetivando a extensibilidade da cena. Por exemplo, elementos como novas ferramentas podem ser adicionadas à cena apenas criando um novo *prefab*¹² e associando um novo *script*, com uma classe que herda da classe *Tool*.

A Listagem 6 exibe um exemplo de *script* para a ferramenta de Pedal.

¹²<https://docs.unity3d.com/Manual/Prefabs.html>

Listagem 6: Exemplo de *script* para a ferramenta Pedal.

```
public class Pedal : Tool {
    [SerializeField] private MotorController motorController;
    [SerializeField] private CompressionPlateController
    ↪ compressionPlateController;

    public override void Awake() {
        base.Awake(); SetupKeyBindings();
    }
    private void FixedUpdate() {
        if (Input.GetKey(KeyCode.G)) motorController.MoveMotorUp();
        if (Input.GetKey(KeyCode.H)) motorController.MoveMotorDown();
        if (Input.GetKey(KeyCode.V))
            ↪ compressionPlateController.MoveCompressionPlateUp();
        if (Input.GetKey(KeyCode.C))
            ↪ compressionPlateController.MoveCompressionPlateDown();
    }
    public override void SetupKeyBindings() {
        keyCommands.Add(KeyCode.G, "Subir Motor");
        keyCommands.Add(KeyCode.H, "Descer Motor");
        keyCommands.Add(KeyCode.V, "Subir Bandeja");
        keyCommands.Add(KeyCode.C, "Descer Bandeja");
    }
    public override DeviceController GetControllerType(EnumControllerType
    ↪ controllerType) {
        switch (controllerType) {
            case EnumControllerType.MotorController:
                return motorController;
            case EnumControllerType.CompressionPlateController:
                return compressionPlateController;
            default:
                return null;
        }
    }
}
```

Fonte: O autor (2021).

As fases foram criadas a partir de *GameObjects*, que podem ser adicionados à cena base. Cada objeto de nível deve possuir um *script* com uma classe que herda classe *Level*. A Listagem 7 exibe o *script* para a primeira fase do ambiente gamificado. Através da classe *EventManager*, novas rotinas podem ser adicionadas ao nível.

Listagem 7: Exemplo de implementação de um nível.

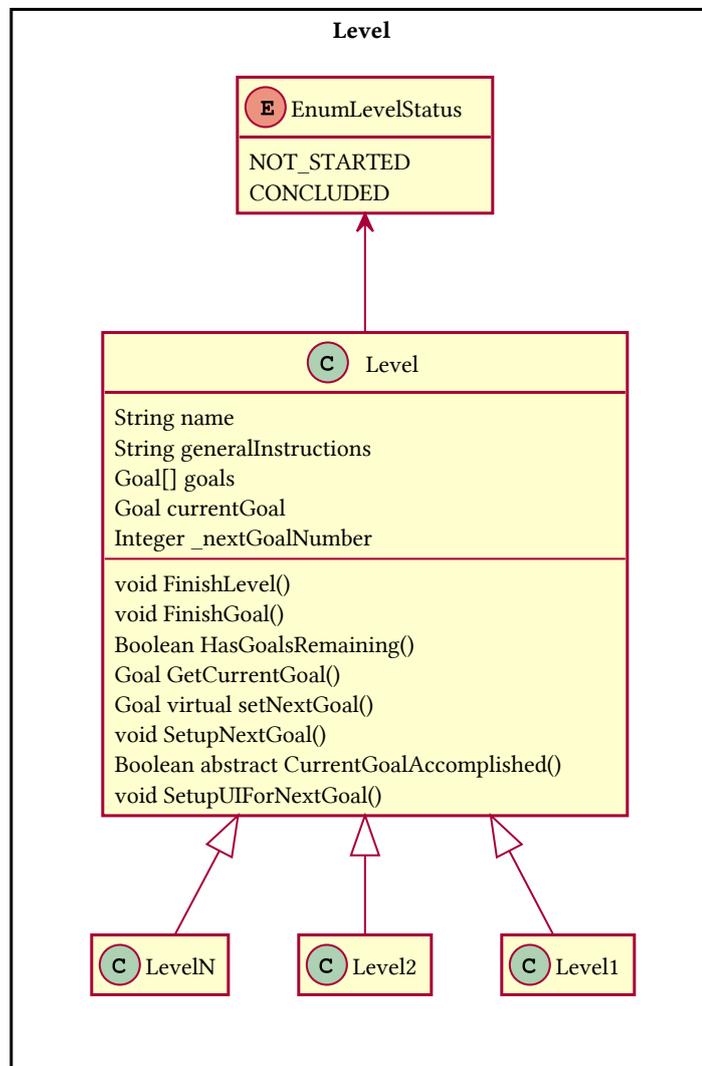
```
public class Level1 : Level {
    [SerializeField] private List<Tool> toolToSelect;
    public override void Awake() {
        Name = "Localização e Seleção de Ferramentas";
        GeneralInstructions = "Localizar e selecionar ferramentas";
        foreach (var tool in toolToSelect) Goals.Add(new GoalTargetL1(tool));
        base.Awake();
    }
    private void OnEnable() {
        GameEventManager.Instance.OnToolSelected += ToolSelectedGoal;
        GameEventManager.Instance.OnContinueGame += SetupNextGoal;
    }
    private void OnDisable() {
        if(GameEventManager.Instance == null) return;
        GameEventManager.Instance.OnToolSelected -= ToolSelectedGoal;
        GameEventManager.Instance.OnContinueGame -= SetupNextGoal;
    }
    public override bool CurrentGoalAccomplished() {
        var currentGoal = (GoalTargetL1) GetCurrentGoal();
        var currentSelectedTool = ToolManager.Instance.GetActiveTool();
        return currentGoal.currentToolToSelect == currentSelectedTool;
    }
    private void ToolSelectedGoal() {
        if (CurrentGoalAccomplished()) {
            FinishGoal();
            UIManager.Instance.HideCurrentGoalInformation();
            UIManager.Instance.ShowFullToolInstructions();
        }
    }
    public override void SetNextGoal() {
        base.SetNextGoal();
        SetBlinkingState(true);
    }
    private void SetBlinkingState(bool state) {
        var currentGoal = (GoalTargetL1) GetCurrentGoal();
        var currentTool = currentGoal.currentToolToSelect;
        currentTool.SetEnableBlinking(state);
    }
    public override void SetupNextGoal() {
        if (GetCurrentGoal().Status != EnumGoalStatus.Succeeded) return;
        base.SetupNextGoal();
    }
    public void ContinueGameOnFullToolInstructions() {
        GameEventManager.Instance.ContinueGame();
    }
}
```

Fonte: O autor (2021).

Neste nível, o usuário deve selecionar as ferramentas corretas e executar o posicionamento do mamógrafo de acordo com os objetivos. A seleção ocorre através do apontamento de um cursor, exibido ao centro da tela. Este cursor tem o funcionamento baseado em técnicas de *ray-casting* (TORI; SILVA HOUNSELL, 2020).

Na classe pai `Level` são definidas uma lista de objetivos `Goals`, as instruções principais e o status atual do nível (`EnumLevelStatus`). A Figura 4.9 exibe o diagrama de classe representando a classe `Level`.

Figura 4.9: Diagrama de classes representando a classe principal `Level` com as classes herdeiras.



Fonte: O autor (2021).

Os objetivos do *game* são definidos a partir da classe `Goal`, que devem possuir uma descrição e alvo a ser atingido (numérico). Em cada nível, uma sequência de pequenos objetivos

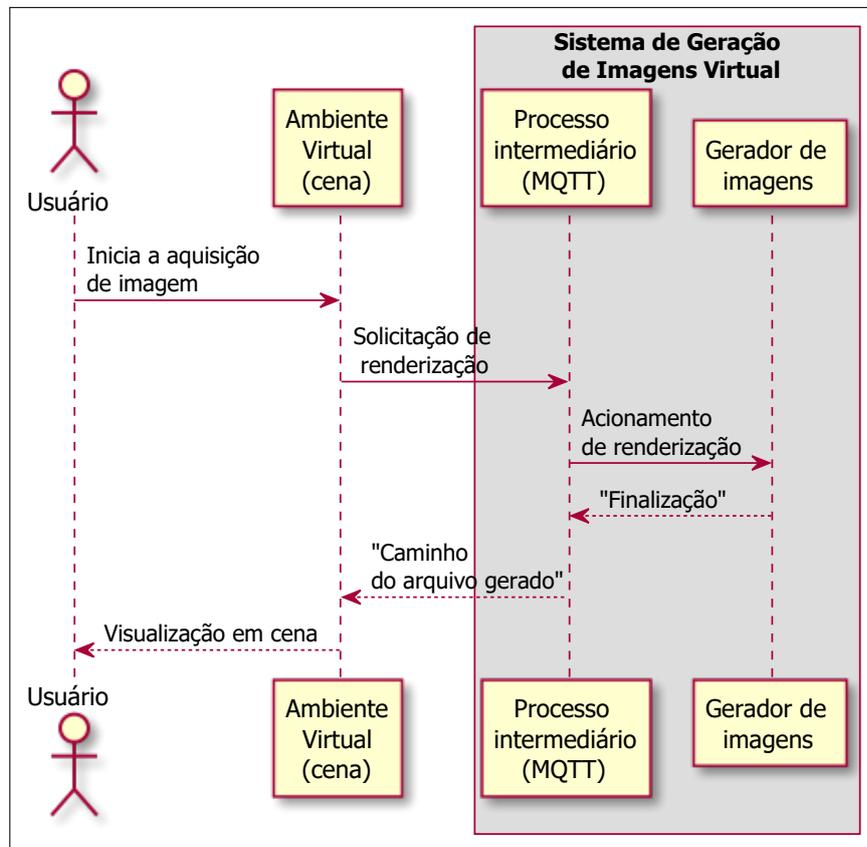
(Goals) são definidos. Os usuários devem cumpri-los (em sequência) para que o nível em questão seja finalizado.

4.3.3.3 Simulador de Imagens

Para que o ambiente virtual permitisse a aquisição de imagem, foi desenvolvido um sistema de geração de imagens de raios X simulado. Para isto, um *phantom* virtual foi criado com base no modelo CIRS™ 011A.

O sistema de geração de imagens raios X simulada integra-se com o módulo gamificado através do mensageiro MQTT. Para isto, foi criado um *script* intermediário, responsável por receber as mensagens de solicitação de renderização da imagem virtual e por acionar um outro *script* de renderização. O diagrama da Figura 4.10 exibe a sequência de passos e integração do módulo de geração de imagens com o módulo gamificado.

Figura 4.10: Diagrama de sequência representando o procedimento e módulos para realizar a aquisição de imagens dentro do módulo gamificado.

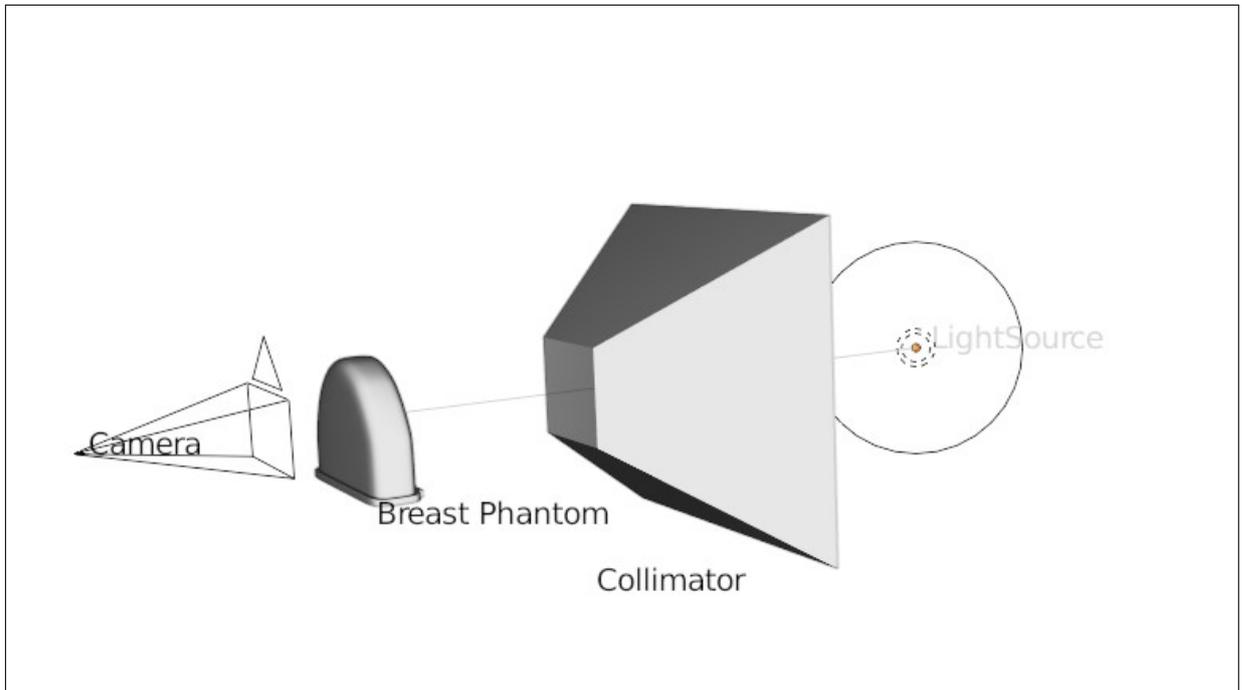


Fonte: O autor (2021).

O *script* gerador de imagens é executado dentro de um ambiente no Blender. Este ambiente

possui as configurações de renderização pré-definidas, como luminosidade da cena (no ambiente do Blender), materiais e parâmetros de renderização. Uma representação deste ambiente para geração de imagens virtuais é apresentada na Figura 4.11.

Figura 4.11: Representação do ambiente para geração de imagens virtuais.

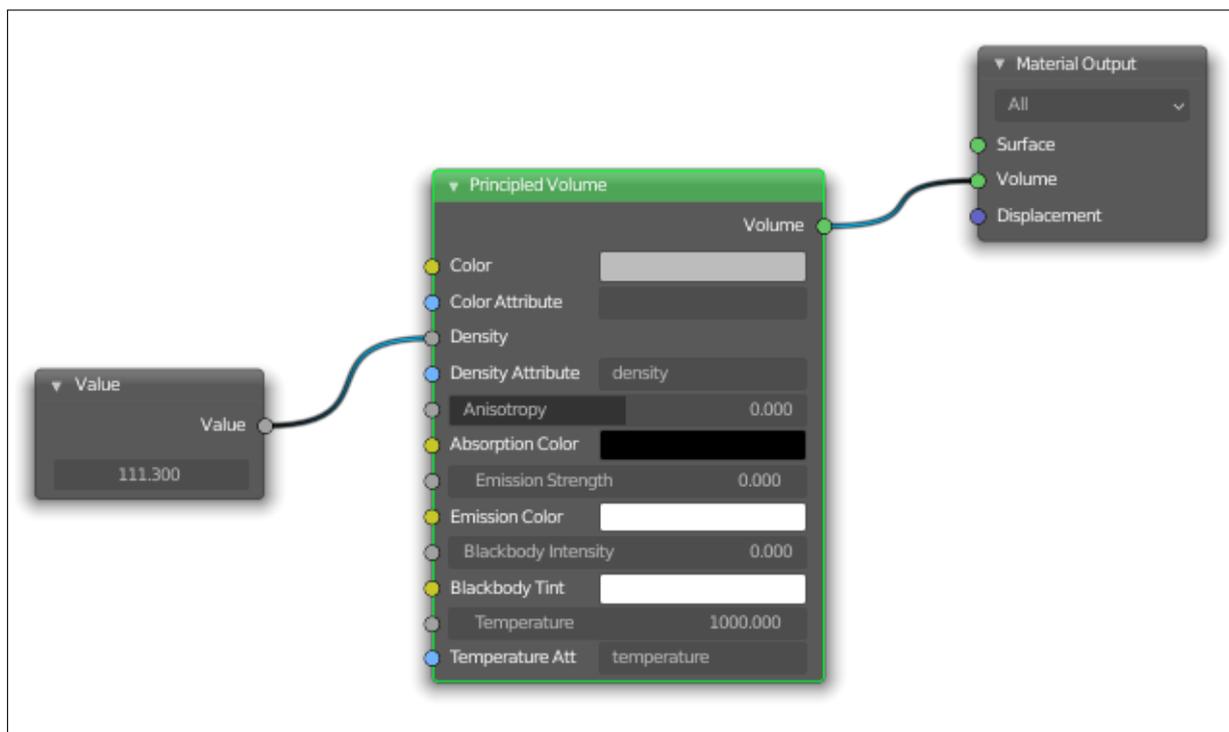


Fonte: O autor (2021).

Para realizar a simulação dos materiais reais internos do *phantom* mamográfico, foram criados materiais volumétricos para cada tipo de estrutura na cena do Blender. Os parâmetros desses materiais volumétricos foram ajustados manualmente para que se assemelhassem à uma imagem mamográfica real do *phantom*.

Por exemplo, para a estrutura interna representando massas na mama foi ajustado a densidade (*density*) de valor 111,3 (sem unidades). Para outras estruturas, diferentes valores de densidade foram escolhidos. A Figura 4.12 apresenta a configuração e parâmetros escolhidos para a estruturas representando uma massa na mama.

Figura 4.12: Configuração e parâmetros do material volumétrico na cena do Blender para estrutura representando massas na mama.



Fonte: O autor (2021).

4.3.4 Distribuição e Ampliação

Utilizando técnicas de containerização com o *Docker*, foi possível desenvolver e criar um sistema para distribuição com o *Docker Compose*. Esta técnica permite que múltiplas imagens de *containers* sejam criadas a partir apenas de um arquivo descritor.

Assim, as *stacks* do Módulo de Gerenciamento e Questionário *front end*, *back end* e banco de dados foram separadas em três *containers*. Para execução do sistema é necessário a instalação e configuração da ferramenta *Docker*¹³ e *Docker Compose*¹⁴.

Com esta ferramenta, usuários podem executar e desenvolver novas funcionalidades ampliando a base de código do Módulo de Gerenciamento e Questionários. Desta forma, a inserção de novas funcionalidades é realizada reutilizando códigos existentes e sem a necessidade de possuir um sistema operacional específico. Isto permite que toda aplicação, juntamente com suas bibliotecas necessárias para execução sejam isoladas do ambiente original (*host*) do usuário.

¹³<https://docs.docker.com/desktop/>

¹⁴<https://docs.docker.com/compose/>

4.4 Validação com Usuários

Este trabalho tem o objetivo apenas de apresentar a metodologia de treinamento em técnicas de mamografia, assim a validação deverá ser realizada em estudos futuros. Assim, sugere-se uma avaliação de múltiplos níveis contendo, mas não se bastando em:

- Avaliação do ambiente virtual (Módulo Gamificado);
- Avaliação da usabilidade do sistema em ambos os módulos;
- Avaliação da efetividade do treinamento com o MEP.

Para uma avaliação do Módulo Gamificado, pode-se aplicar o questionário Questionário de Avaliação de Ambientes Virtuais (QAAV) (LYRA, 2016). Para avaliar o sistema de treinamento com os dois módulos, o questionário *System Usability Scale* (SUS) (BROOKE, 2013) pode ser aplicado.

Como método de avaliação de efetividade do treinamento aplicando o MEP, estudos deverão ser realizados de forma a mensurar elementos como taxa de falhas na aquisição de imagens mamográficas.

Desta forma, sugere-se seguir mecanismos apresentados por outros autores durante implementações de Programas de Controle de Qualidade. Em especial, sugere-se como guia o estudo realizado por (SABINO et al., 2014). O trabalho apresentado pelos autores realiza uma mensuração da taxa de falhas antes e depois da aplicação de treinamentos com médicos e técnicos em radiologia.

4.5 Considerações Finais

Esta seção apresentou os métodos, técnicas e ferramentas desenvolvidas e utilizadas durante a criação do sistema MEP. Foi apresentado em cada módulo como a aplicação de conceitos de desenvolvimento de jogos, RV e desenvolvimento *web* formaram a base para criação do sistema. Por fim, foram sugeridos múltiplos níveis e métodos de avaliação da metodologia e do sistema.

Resultados e Discussões

5.1 Introdução

Nesta seção serão apresentados os dois módulos como resultado da aplicação da metodologia proposta. Serão apresentados no Módulo Gamificado o ambiente virtual, insumos criados e instruções para distribuição. Na subseção do Módulo de Gerenciamento e Questionários serão apresentados o portal *web* do questionários, forma de gerenciamento e distribuição da ferramenta. Por fim, o resultados são comparados com os trabalhos relacionados na Discussão.

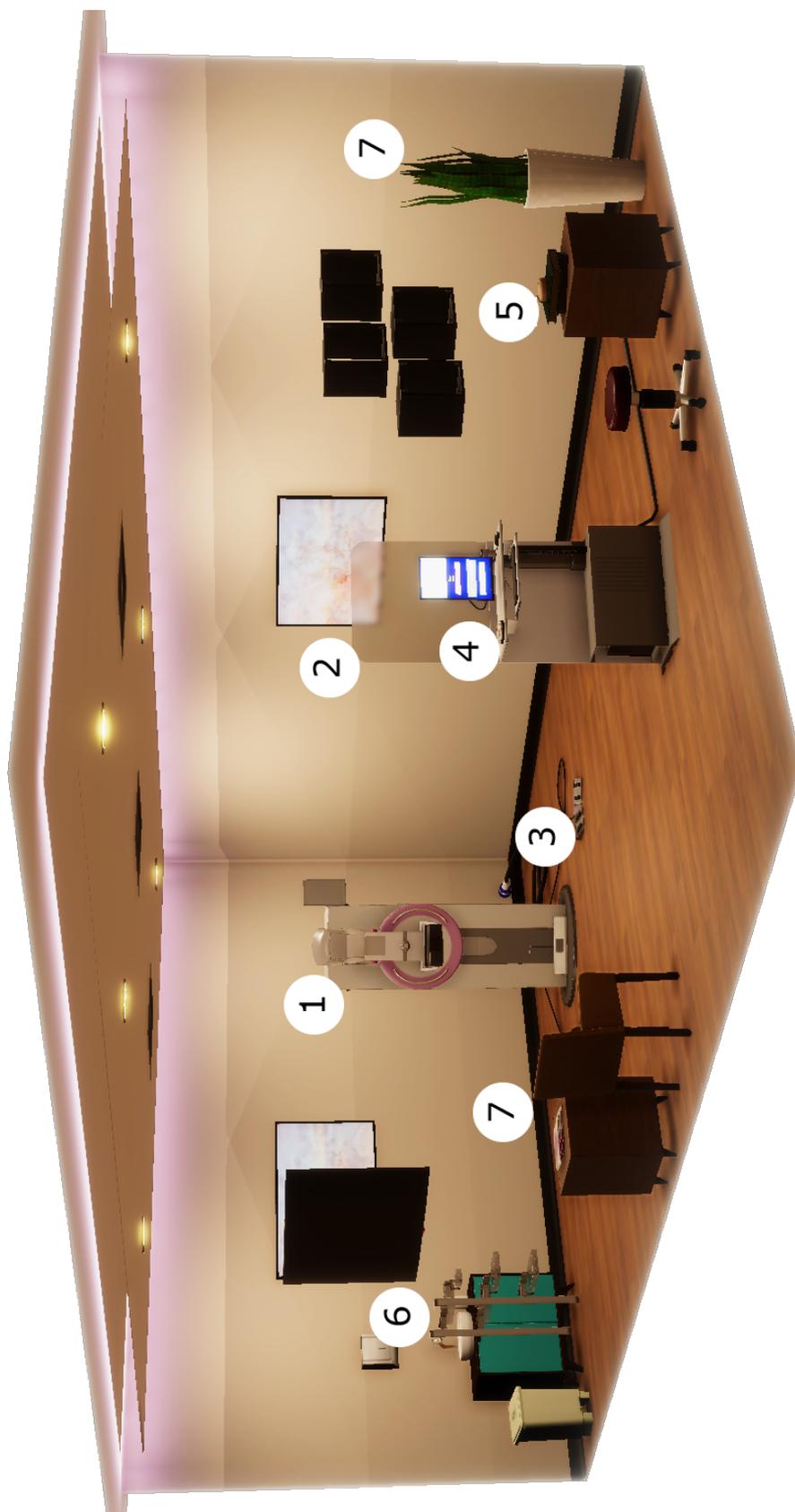
5.2 Módulo Gamificado

5.2.1 Ambiente Virtual

O Módulo Gamificado é constituído de uma sala de mamografia, onde o usuário pode navegar e interagir com seus elementos. Como inspiração para a criação da cena, foram utilizadas fotos de referência de salas de mamografia, nacionais e internacionais.

Buscou-se também aplicar o posicionamento dos elementos na cena seguindo normas de padronização e de radioproteção. Por exemplo, buscou-se respeitar características físicas e dimensões mínimas. O ambiente final produzido é representado pela Figura 5.1.

Figura 5.1: Vista perspectiva do ambiente virtual da sala de mamografia.



Fonte: O autor (2021).

O *assets* criados estão detalhados na seção seguinte (seção 5.2.2).

Com a aplicação de técnicas na modelagem e texturização, para obter-se um bom realismo, foi possível criar modelos com boa fidelidade em relação aos homólogos reais. O realismo do ambiente foi realizado com objetivo de prover um ambiente humanizado e aconchegante, bem como a utilização de elementos comuns de serem encontrados em clínicas brasileiras.

5.2.2 Elementos do Ambiente: *Assets* Produzidos

Os principais modelos produzidos para o ambiente virtual foram o mamógrafo, bem como seus componentes e estação de trabalho, as bandejas de compressão e *phantom* de mama virtual.

Mamógrafo

O modelo 3D do mamógrafo e da estação de trabalho criado foi inspirado no modelo *Mamomat*[®] (Figura 2.2), mundialmente empregado em clínicas de mamografia. O equipamento é fabricado pela Siemens[™].

O equipamento foi escolhido devido ao acesso concedido em uma visita realizada em um hospital local, onde foi possível colher fotos do equipamento real. As fotos foram utilizadas como referência para a modelagem do equipamento. A imagem renderizada dos modelos está representada na Figura 5.2.

Figura 5.2: Modelos 3D do mamógrafo

(a) Modelo 3D do arco do mamógrafo.



(b) Modelo 3D da estação mamógrafo.



Fonte: O autor (2021).

Acessórios de Operação

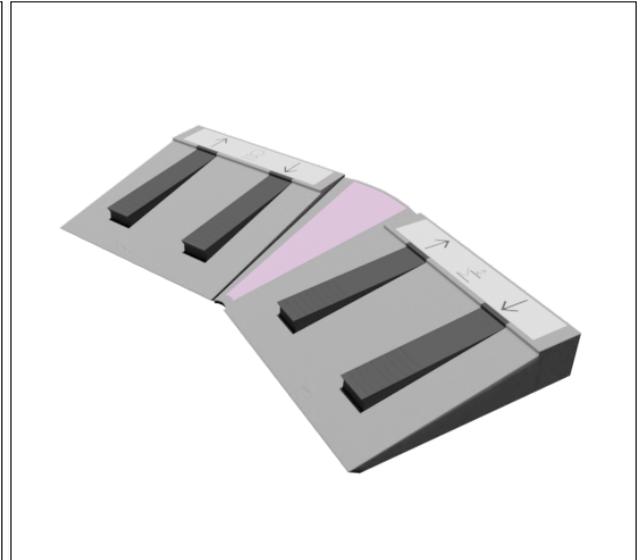
Os acessórios constituem-se parte importante do sistema de mamografia, pois é através dele que o equipamento é operado. Isto é, o posicionamento vertical, ajuste da angulação de incidência e acionamento é realizado por estas ferramentas. A Figura 5.3 exibe uma renderização em perspectiva das ferramentas modeladas.

Figura 5.3: Acessórios do mamógrafo.

(a) Caixa de controle (*control box*).



(b) Pedal



Fonte: O autor (2021).

Phantom Virtual

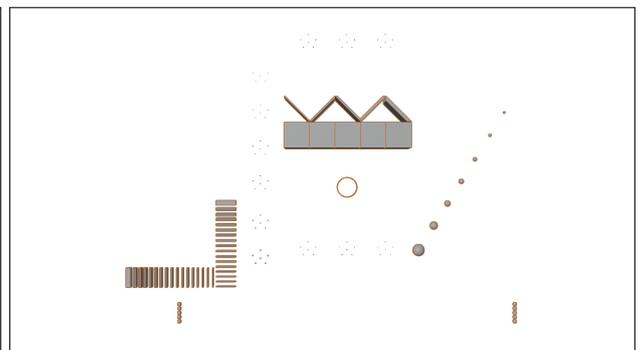
O *phantom* de mama virtual foi criado com base no *phantom* de mama antropomórfico modelo 011A, fabricado pela empresa CIRS™. As estruturas internas e externas foram modeladas seguindo o *datasheet* do simulador. O *phantom* criado, bem como suas estruturas internas são representados na Figura 5.4.

Figura 5.4: Renderização do *phantom* virtual e suas estruturas internas.

(a) Renderização do *phantom* de mama virtual.



(b) Renderização das estruturas internas.



Fonte: Silva, Cyrino, Lamounier et al. (2021a).

Bandejas de Compressão

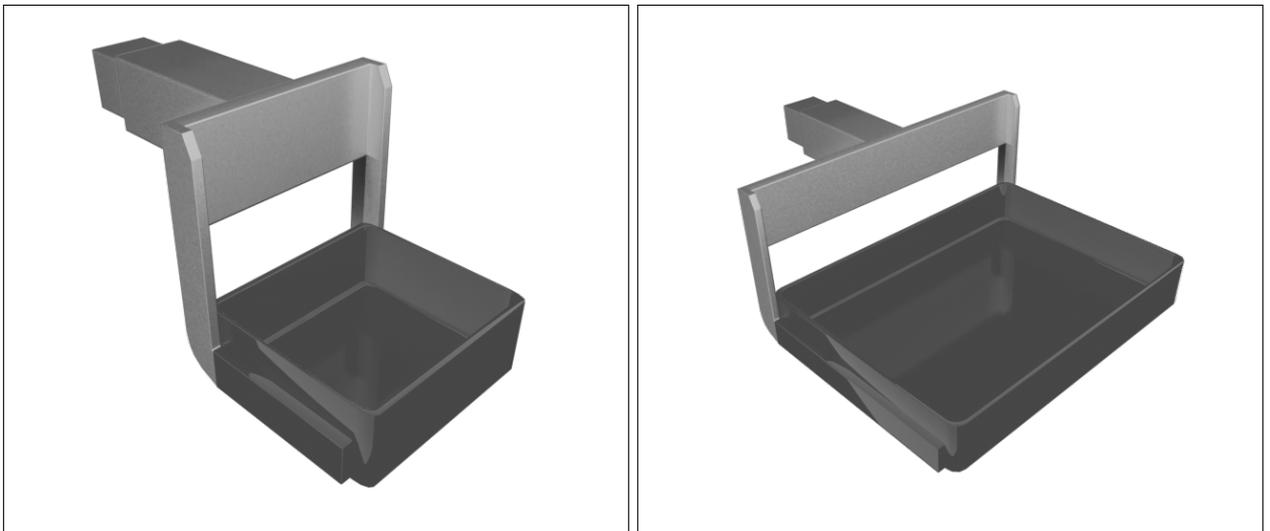
As bandejas de compressão são utilizadas para comprimir a mama durante o exame. Elas possuem diversos tamanhos e formatos, cada uma com aplicação específica, dependendo das características da mama e do tipo de imagem desejada.

A partir do manual do equipamento do mamógrafo *Mamommat*[®], foi criado também as bandejas de compressão com diversos formatos. Normalmente, estes equipamentos são vendidos separadamente.

A Figura 5.5 exibe a renderização de duas bandejas de compressão como exemplo.

Figura 5.5: Renderização dos modelos 3D das bandejas de compressão.

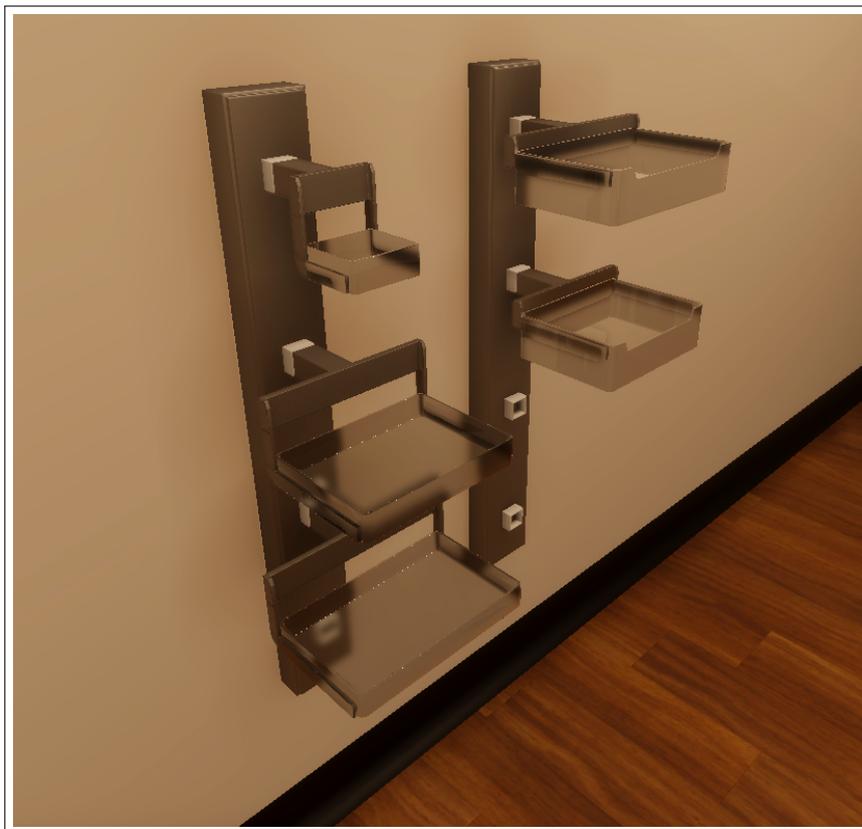
(a) Renderização da bandeja de compressão 9 cm x 9 cm (b) Renderização da bandeja de compressão 18 cm x 24 cm



Fonte: O autor (2021).

A Figura 5.6 exibe as bandejas de compressão dentro do ambiente virtual montadas no suporte.

Figura 5.6: Captura de tela exibindo o suporte com as bandejas de compressão disponíveis no ambiente virtual.



Fonte: O autor (2021).

Elementos Decorativos

De forma a prover um ambiente humanizado, foram criados elementos de decoração para que o ambiente se mostrasse amigável e apresentasse uma sensação de familiaridade para os usuários. Além disso, os elementos foram dispostos em uma forma que permita a fácil circulação pelo personagem.

A Figura 5.7 exhibe alguns exemplos de elementos decorativos presentes no ambiente virtual.

Figura 5.7: Elementos decorativos do no ambiente virtual.



Fonte: O autor (2021).

5.2.3 Navegação e Interação com Elementos do Ambiente

Utilizando o teclado e *mouse*, os usuários podem navegar no ambiente através de um avatar em primeira pessoa. Através do avatar, o usuário pode realizar movimentações horizontais no ambiente.

Ainda, usuários podem interagir com as ferramentas através da seleção e/ou execução de funcionalidades nos elementos como o mamógrafo, estação de trabalho e ferramentas de manipulação.

As ferramentas estão distribuídas no ambiente da mesma forma que um ambiente real. Assim, em um eventual treinamento inicial, estudantes podem aprender a identificar e localizar as ferramentas de forma facilitada.

O posicionamento do correto do usuário dentro do ambiente é essencial, devido ao fato que as ferramentas possuem uma área de atuação, isto é, a atuação nas ferramentas é contextual. Por exemplo, para selecionar uma ferramenta, o usuário deve primeiramente se deslocar até a área de seleção da ferramenta (definida por um *bounding box*).

Todas as ferramentas possuem instruções nas quais, de forma contextualizada, os usuários podem aprender a utilizar. Por exemplo, o pedal possui instruções de manipulação, que podem ser visualizadas ao selecionar a ferramenta ou ao pressionar a tecla de (informações) ao apontar para o equipamento, utilizando o cursor no centro da tela (*ray-casting*).

Como os modelos das ferramentas foram baseadas em seus homólogos reais, as instruções seguem o manual da ferramenta. A Figura 5.8 exibe um exemplo de instrução para uma ferramenta.

Figura 5.8: Captura de tela exibindo as instruções para a ferramenta "Botões de Controle" para movimentação do cabeçote (motor) do mamógrafo.



Fonte: O autor (2021).

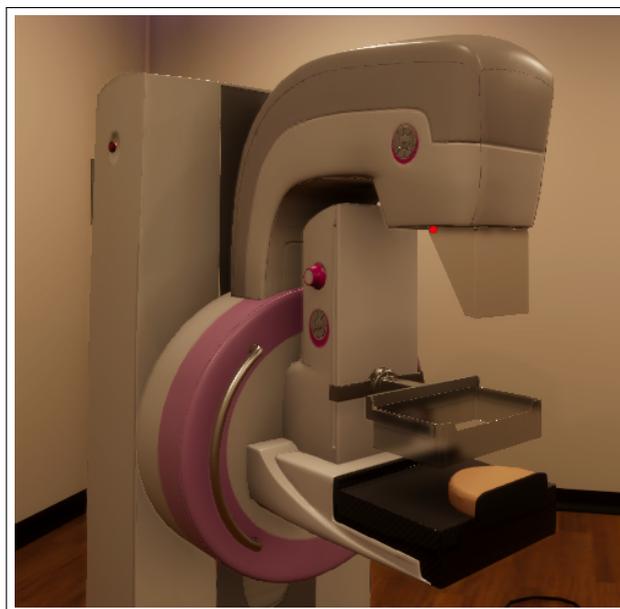
Para selecionar as a ferramentas no ambiente, o usuário deve primeiramente localizar o objeto, apontar o cursor e pressionar a tecla **F** para segurá-los, sacando-o da posição original. O objeto é então fixado ao lado do avatar.

Para acoplar o objeto no local desejado, o usuário deve pressionar a tecla **Y**. O objeto então é fixado na região alvo. Para retornar um objeto seleciona, deve-se sacá-lo e pressionar a tecla **R**.

5.2.4 Geração Virtual de Imagens

Os usuários podem realizar as aquisições de imagens de raios X virtuais no ambiente virtual. Para isto, os usuários devem selecionar o *phantom* virtual de mama, posicioná-lo no mamógrafo, localizar e selecionar a caixa de controle (*control box*) e então efetuar o acionamento. A Figura 5.9 exibe o *phantom* sendo posicionado no mamógrafo.

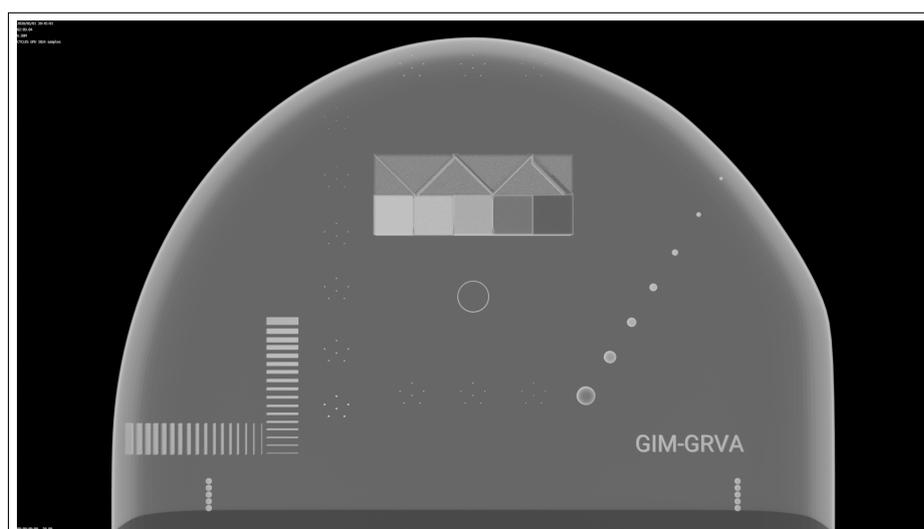
Figura 5.9: Posicionamento do *phantom* virtual no *bucky* do mamógrafo.



Fonte: O autor (2021).

Alguns segundos após o acionamento, a imagem mamográfica do *phantom* é exibida no monitor da estação de trabalho, dentro do ambiente virtual. A Figura 5.10 exibe um exemplo de uma imagem gerada a partir do sistema de geração de imagens virtuais do MEP.

Figura 5.10: Renderização do *phantom* virtual utilizando materiais volumétricos no Blender..



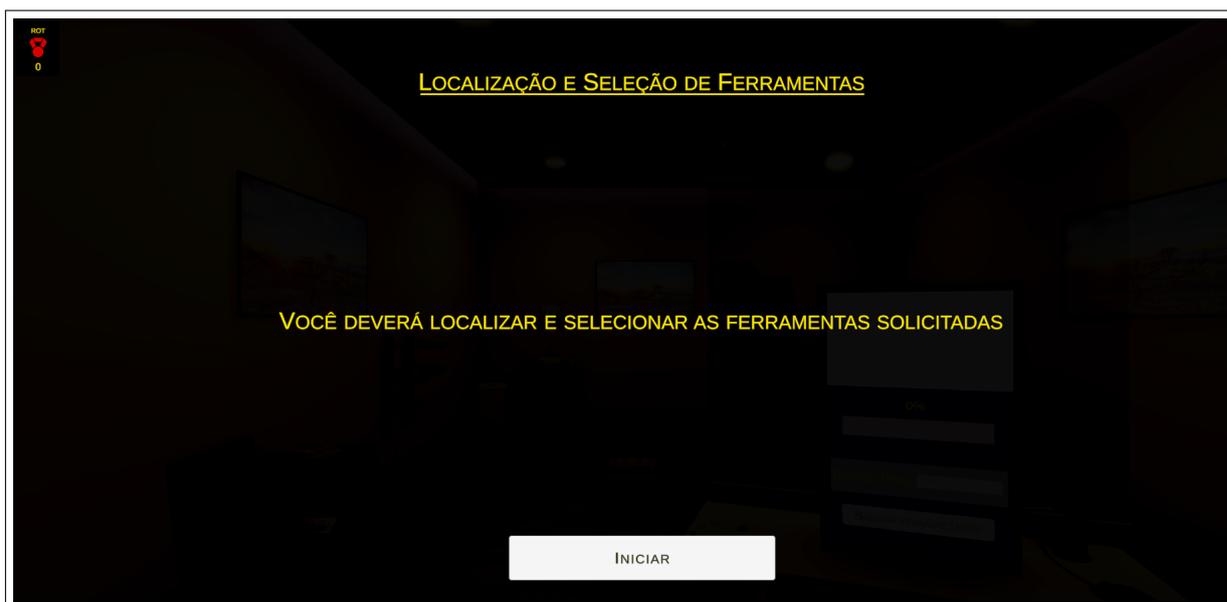
Fonte: O autor (2021).

5.2.5 Gamificação

O ambiente virtual produzido conta ainda com elementos de gamificação, como pontuação e definição de objetivos (metas), aos quais os usuários devem realizar. Os objetivos são separados por tema. Cada fase possui um tema, denominado objetivo geral e uma sequência de objetivos específicos a serem cumpridos.

Por exemplo, na primeira fase os usuários devem realizar a localização e seleção de ferramentas dentro do ambiente virtual. Esta fase tem o objetivo de fazer com que o usuário se habitue com a nomenclatura e posição dos elementos a serem utilizados no ambiente. Os objetivos específicos são atualizados a cada conquista e suas instruções permanecem fixas no topo da tela. A Figura 5.11 exibe uma captura de tela com as instruções gerais do primeiro nível.

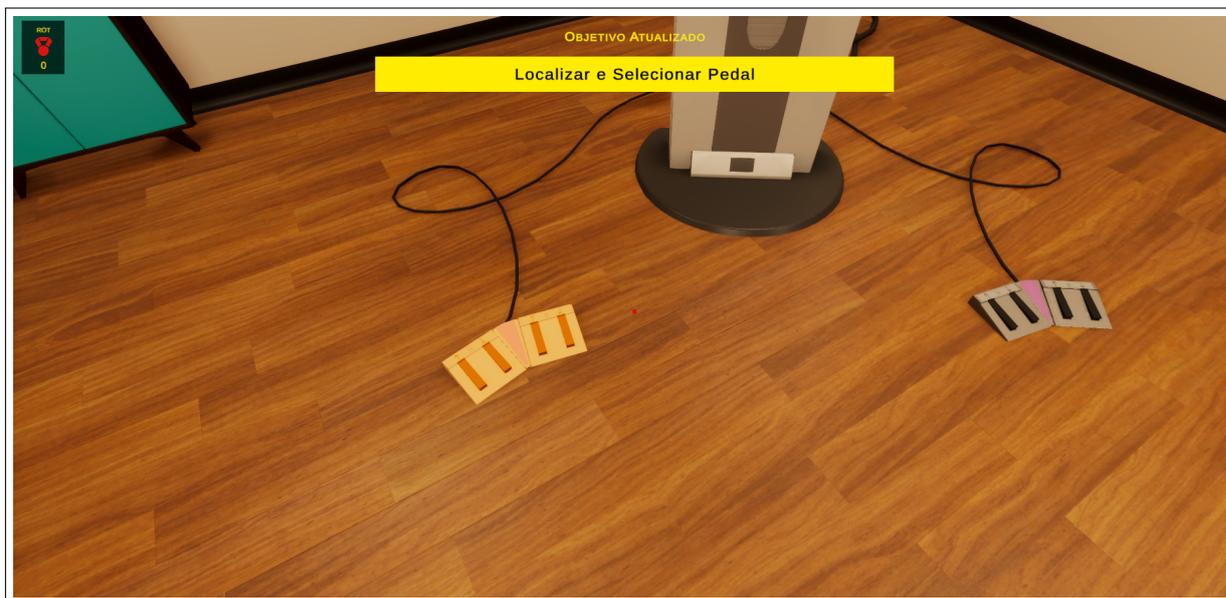
Figura 5.11: Captura de tela do ambiente virtual apresentando o nome e instruções gerais de um nível.



Fonte: O autor (2021).

Nos objetivos específicos, em caso de seleção, o elemento ou ferramenta alvo permanece em modo de destaque, com alternância de cores entre amarelo e a textura original, indicando que este elemento deve ser selecionado no momento. A Figura 5.12 exibe uma captura de tela representando um objetivo específico.

Figura 5.12: Captura de tela do ambiente virtual apresentando "Localizar e Selecionar o Pedal" como objetivo específico.



Fonte: O autor (2021).

Ao executar um objetivo corretamente, o usuário é recompensado com moedas virtuais, denominadas ROT, em homenagem ao físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen, ganhador do Prêmio Nobel de Física em 1901 pela descoberta e produção de raios X. Este mecanismo de pontuação permite ao usuário realizar a troca de pontos por elementos bloqueados, buscando completar a montagem e realizando a configuração (*setup*) completa da sala de mamografia virtual.

5.3 Módulo de Gerenciamento e Questionários

Esta subseção irá apresentar a Módulo de Gerenciamento e Questionários do MEP. Serão demonstrados o mecanismo de gerenciamento e elaboração de treinamentos de usuários. As figuras apresentam a captura de telas deste módulo, contendo informações demonstrativas. Assim, os nomes e informações contidas nas figuras são meramente ilustrativas, contendo nomes e dados fictícios.

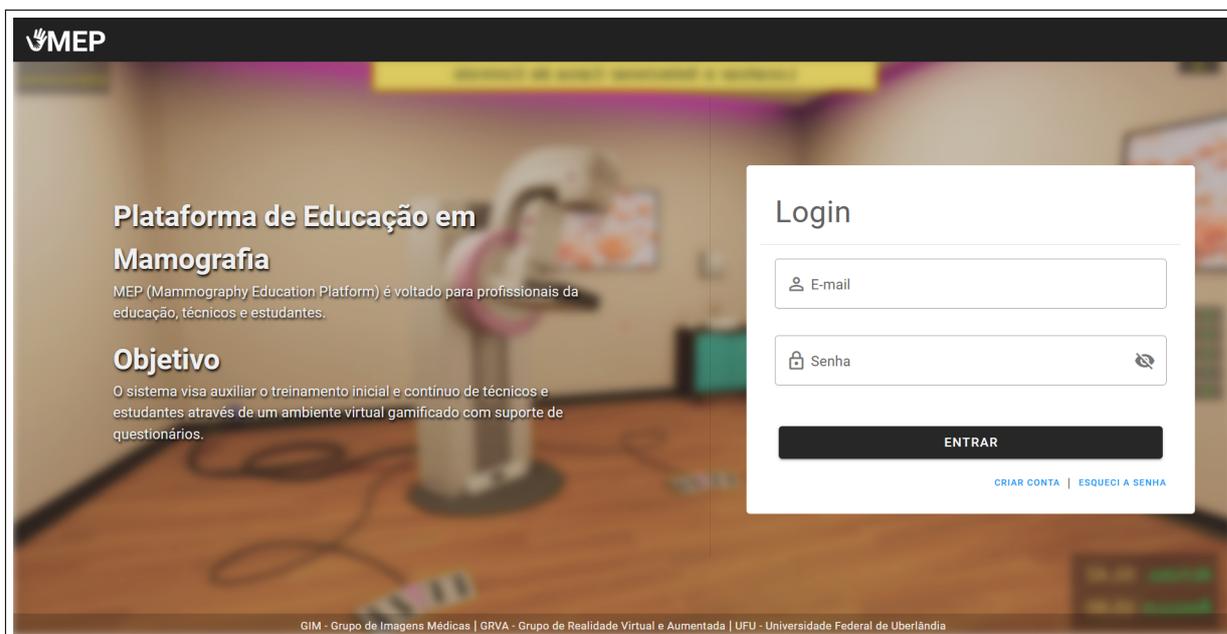
5.3.1 Acesso e Perfis do Sistema

Para acessar o Módulo de Gerenciamento e Questionários, os usuários devem utilizar um navegador de *internet* (*browser*) e realizar o *login* com um *e-mail* e senha previamente cadastrados

por um supervisor. A Figura 5.13 exibe a tela inicial contendo o formulário de *login* do Módulo de Gerenciamento e Questionários.

A Figura 5.13 exibe a tela inicial do módulo de Gerenciamento e Questionários.

Figura 5.13: Tela inicial de *login* do Módulo de Gerenciamento e Questionários.



Fonte: O autor (2021).

O sistema possui de 3 níveis de acesso (perfis) diferentes, cada um com permissões e atribuições específicas. Os perfis são:

Administrador

O administrador é responsável por cadastrar outros administradores, supervisores e/ou *trainees*, em casos específicos. Este usuário também tem permissão de acesso aos dados pessoais e de treinamento dos supervisores e dos *trainees*. Ainda, usuários com este nível de permissão podem realizar a remoção de outros usuários.

Supervisor

Os usuários com nível de acesso de supervisão são responsáveis pelo cadastro de *trainees*, aos quais ficam subordinados. O supervisor é responsável também pelo gerenciamento do treinamento dos *trainees*, realizando o cadastro de exames e realizando atribuições de treinamento.

Trainee

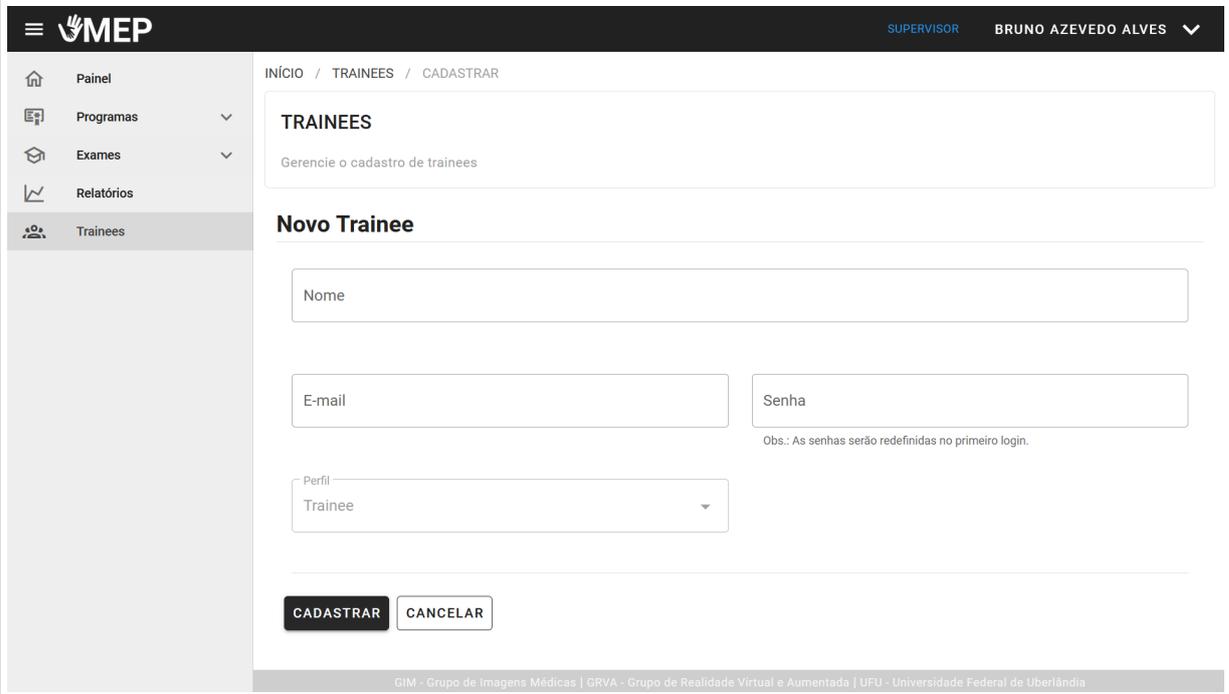
O nível de acesso de *trainee* possui funcionalidades básicas, referentes somente ao seu treinamento. Os usuários com este perfil devem cumprir programas estabelecidos e atribuídos pelo seu supervisor responsável. Isto é, os usuários devem submeter os formulários de questões respondidos e realizar o treinamento no módulo gamificado (quando pertinente), respeitando prazos de cada atribuição.

5.3.2 Cadastro e Gerenciamento de *Trainees*

Para obter acesso ao Módulo de Gerenciamento e Questionários, os *trainees* devem estar devidamente cadastrados por um supervisor responsável. O cadastro requer informações básica como o nome do novo usuário e de credenciais (e-mail e senha).

O acesso a esta seção pode ser feito em [Trainees](#) » [Cadastrar](#). A Figura 5.14 exibe a tela de cadastro de *trainees*, dentro do perfil de supervisor.

Figura 5.14: Tela de cadastro de *trainees* (perfil supervisor).



The screenshot shows a web interface for the 'MEP' system. At the top, there is a navigation bar with the MEP logo on the left and the user's role 'SUPERVISOR' and name 'BRUNO AZEVEDO ALVES' on the right. A sidebar on the left contains a menu with options: Painel, Programas, Exames, Relatórios, and Trainees (which is currently selected). The main content area has a breadcrumb trail 'INÍCIO / TRINEES / CADASTRAR' and a title 'TRINEES' with the subtitle 'Gerencie o cadastro de trainees'. Below this, there is a section titled 'Novo Trainee' containing a form with the following fields: 'Nome' (text input), 'E-mail' (text input), 'Senha' (password input), and 'Perfil' (a dropdown menu currently set to 'Trainee'). A note below the password field states: 'Obs.: As senhas serão redefinidas no primeiro login.' At the bottom of the form are two buttons: 'CADASTRAR' and 'CANCELAR'. The footer of the page contains the text: 'GIM - Grupo de Imagens Médicas | GRVA - Grupo de Realidade Virtual e Aumentada | UFU - Universidade Federal de Uberlândia'.

Fonte: O autor (2021).

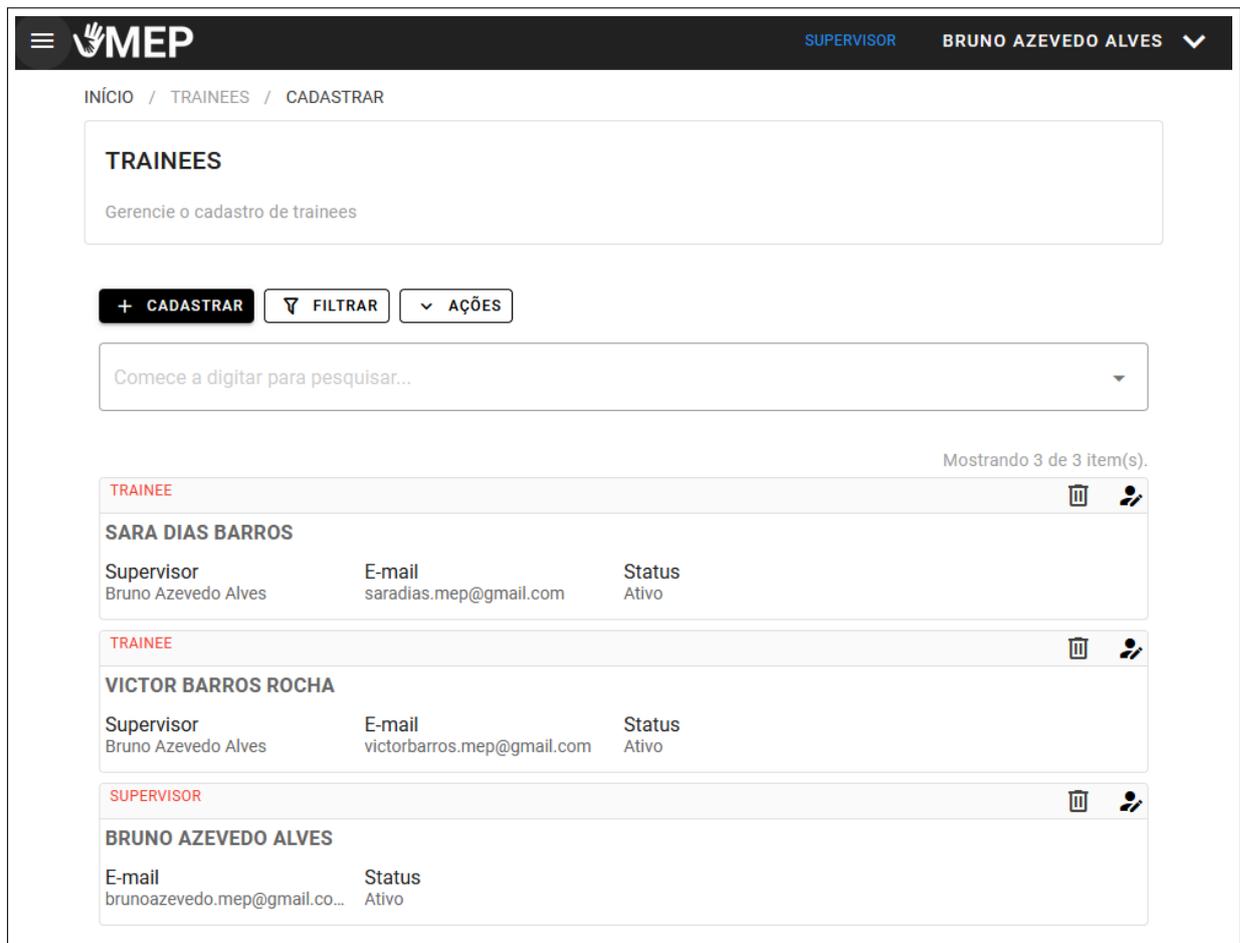
Quando necessário, administradores podem realizar o cadastro de usuários com perfil *trainee*, porém este procedimento é realizado em [Usuários](#) » [Cadastro](#). No momento do cadastro o administrador deve selecionar no formulário o tipo de perfil do novo usuário como *trainee* e

indicar seu supervisor responsável.

Dentro do perfil de administrador, a seção **Usuários** lista todos os usuários (de todos os perfis) cadastrados no MEP. Dentro do perfil de supervisor, a seção **Trainees** lista todos os usuários com perfil *trainee* cadastrados pelo supervisor corrente (conectado).

Isto permite os dados de *trainees* sejam visualizados somente pelo supervisor responsável. A Figura 5.15 exibe uma captura de tela contendo os *trainees* cadastrados por um supervisor.

Figura 5.15: Captura de tela listando os *trainees* cadastrados por um supervisor.

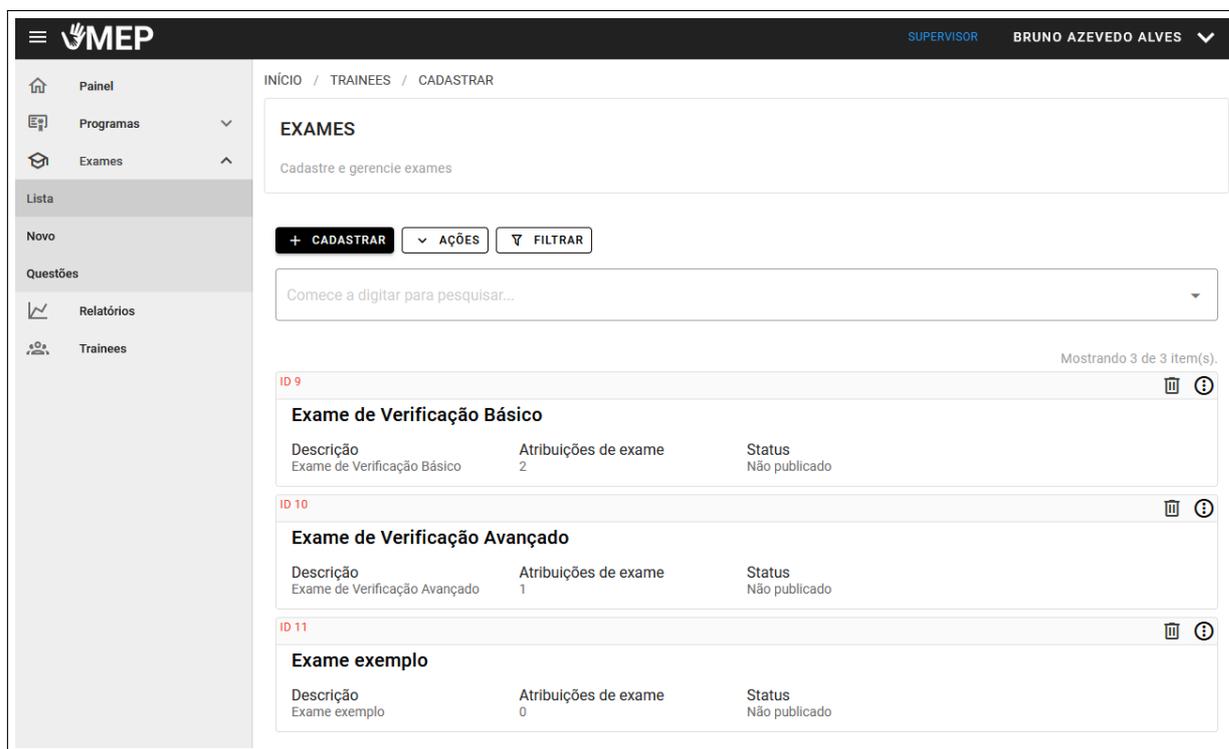


Fonte: O autor (2021).

5.3.3 Exames

Através da tela de **Exames**, os usuários podem listar, cadastrar e visualizar exames e questões. A Figura 5.16 exibe a tela de **Exames**, dentro do perfil de supervisor.

Figura 5.16: Captura de tela listando os exames cadastrados por um supervisor.



Fonte: O autor (2021).

Para realizar o cadastro de um novo exame, o supervisor deverá acessar a seção **Exames** **Novo**. O formulário de novo exame serão então apresentados, ao qual informações deverão ser inseridas e submetidas para associação com questões. A Figura 5.17 exibe a captura de tela para cadastro de exames.

Figura 5.17: Tela de cadastro de exames (perfil supervisor).



Fonte: O autor (2021).

5.3.4 Questões

5.3.4.1 Cadastro

O cadastro de questões é realizado acessando **Exames** » **Questões** » **Nova, Questão**. O formulário de nova questão é então carregado para que o supervisor insira e submeta as informações. A Figura 5.18 exibe a tela de cadastro de questão. Vale destacar que o supervisor deve selecionar um exame ao qual esta nova questão estará associada.

Figura 5.18: Captura de tela apresentando um formulário de cadastro de uma questão.

MEP SUPERVISOR BRUNO AZEVEDO ALVES

Questões

Adicione questões para os exames cadastrados. Associe pelo menos um exame para cadastrar a questão.

Exame

Cabeçalho da questão

Origem ou Referência (opcional)

Local de onde a questão foi retirada (opcional)

Adicionar opções: + 1 + 4

Opção n° 1 Marcar como correta

Opção n° 2 Marcar como correta

Opção n° 3 Marcar como correta

Opção n° 4 Marcar como correta

ADICIONAR QUESTÃO ADICIONAR E INSERIR OUTRA CANCELAR

GIM - Grupo de Imagens Médicas | GRVA - Grupo de Realidade Virtual e Aumentada | UFU - Universidade Federal de Uberlândia

Fonte: O autor (2021).

Neste formulário, os supervisores podem inserir questões de múltipla escolha com 4 opções

de respostas. Durante o cadastro, deve ser indicado qual a alternativa (opção) correta. Esta indicação é obrigatória, pois a avaliação (correção) é realizada através da comparação entre a alternativa escolhida pelo usuário e a selecionada como correta pelo supervisor. Isto permite que a correção seja realizada de forma automática.

A Figura 5.19 exibe uma captura de tela apresentando uma questão cadastrada, durante a realização de exame.

Figura 5.19: Captura de tela apresentando uma questão de um exame (perfil *trainee*).

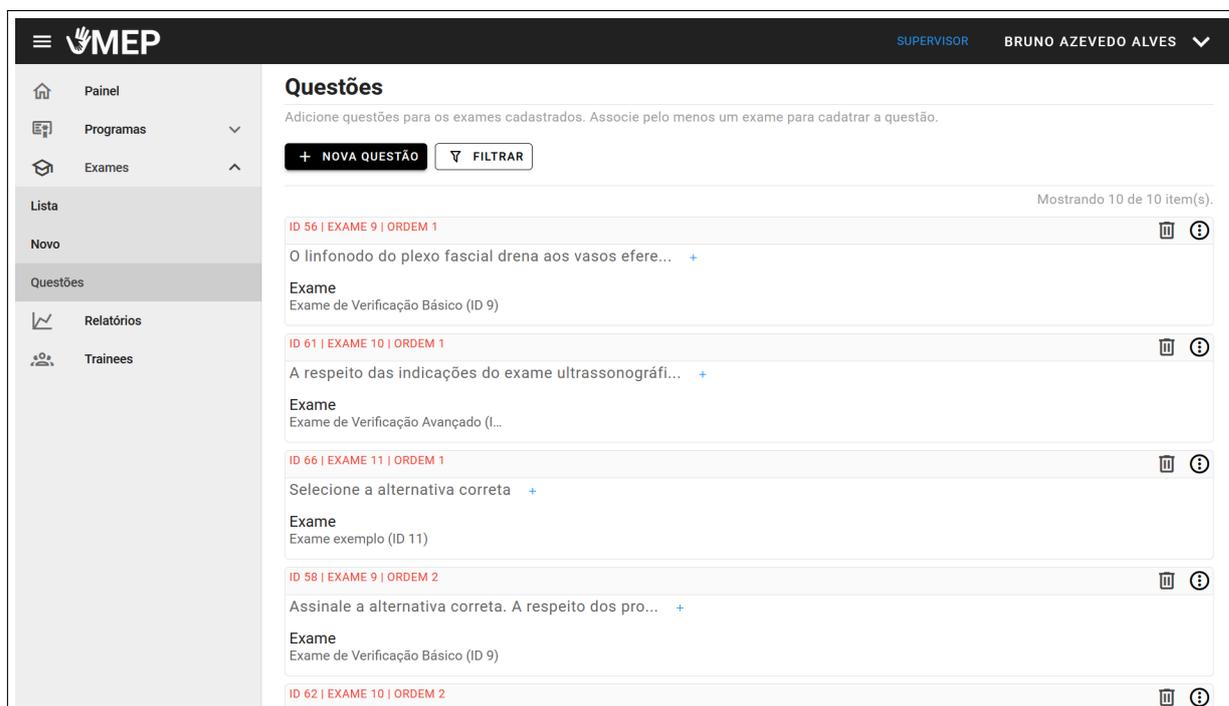


Fonte: O autor (2021).

5.3.4.2 Banco de Questões

O Módulo de Gerenciamento e Questionários conta ainda com um banco de questões. O acesso à seção de questões é realizado em **Exames >> Questões**. Este banco de questões pode ser acrescido através de novas questões através da associação com exames. A Figura 5.20 exibe a tela de listagem de questões.

Figura 5.20: Captura de tela apresentando o banco de questões.



Fonte: O autor (2021).

Através da lista do banco de questões, o supervisor pode visualizar informações básicas sobre cada questão. Podem ser visualizados o enunciado da questão, exame e ordem ao qual dada questão está associada. Também é possível realizar a remoção da questão do banco através desta tela.

5.3.5 Programas

Na seção **Programas** é possível criar programas de treinamento associando-os à um *trainee*. Os programas são baterias (ciclos) de treinamento constituídos de atribuições. Para listar os programas o supervisor deve ir em **Programas** » **Lista**. A Figura 5.21 exibe uma captura de tela de uma lista de programas.

Figura 5.21: Captura de tela exibindo uma lista de programas (perfil supervisor).

INÍCIO / TRAINEES / CADASTRAR

PROGRAMAS

Gerencie programas para os trainees. Os programas são baterias de exames e procedimentos a serem executados.

+ CRIAR PROGRAMA AÇÕES FILTRAR

Comece a digitar para pesquisar...

Mostrando 2 de 2 item(s).

EM ANDAMENTO

PROGRAMA BÁSICO DE VERIFICAÇÃO II (ID 15)

Trainee	Data criação	Data de início	Exames
Victor Barros Rocha	17/6/2021, 17h18	29/6/2021, 21h06	2
Procedimentos (Game)	Status		
0	Aberto		

NÃO INICIALIZADO

PROGRAMA BÁSICO DE VERIFICAÇÃO I (ID 14)

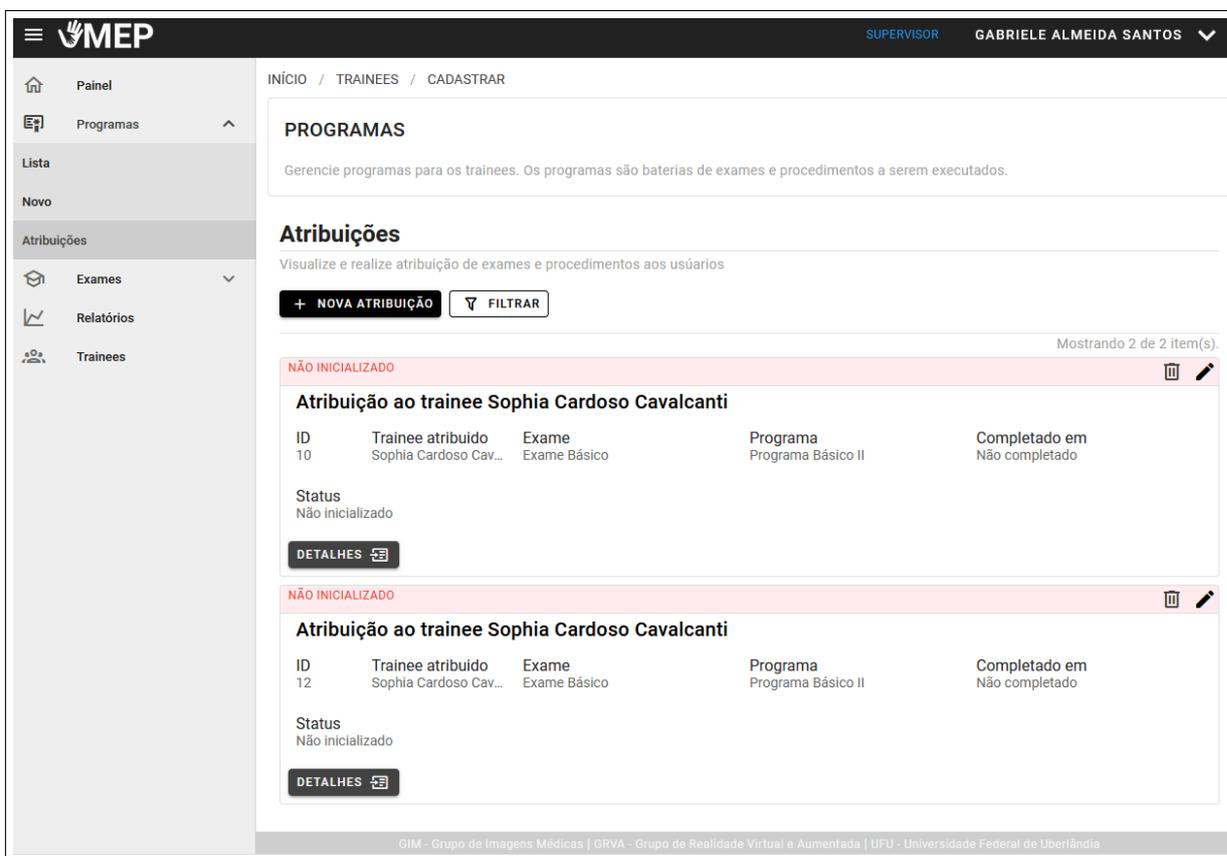
Trainee	Data criação	Data de início	Exames
Sara Dias Barros	17/6/2021, 17h18	Não iniciado	1
Procedimentos (Game)	Status		
0	Aberto		

Fonte: O autor (2021).

5.3.5.1 Atribuição de Treinamento

As atribuições são solicitações criadas por supervisores e demandas aos *trainees*. Estas solicitações podem ser acessadas em **Programas** » **Atribuições** no perfil do supervisor. Nesta seção, o supervisor tem acesso a todas atribuições realizadas aos *trainees* sob sua responsabilidade. A Figura 5.22 exibe uma captura de tela com as atribuições criadas por um supervisor.

Figura 5.22: Captura de tela exibindo uma lista de atribuições cadastradas (perfil supervisor).



Fonte: O autor (2021).

No perfil de *trainee*, as atribuições demandadas pelo seu supervisor são agrupadas dentro de um programa e podem ser acessadas clicando em **Detalhes** e em um dado programa listado em **Programas** » **Meus Programas**. Na tela de detalhes de um programa, é possível ler dados sobre data de criação, início, conclusão e status dos programas. A Figura 5.23 exhibe uma captura de tela contendo os detalhes de um programa, incluindo as atribuições.

Figura 5.23: Captura de tela exibindo detalhes e atribuições de um programa (perfil *trainee*).

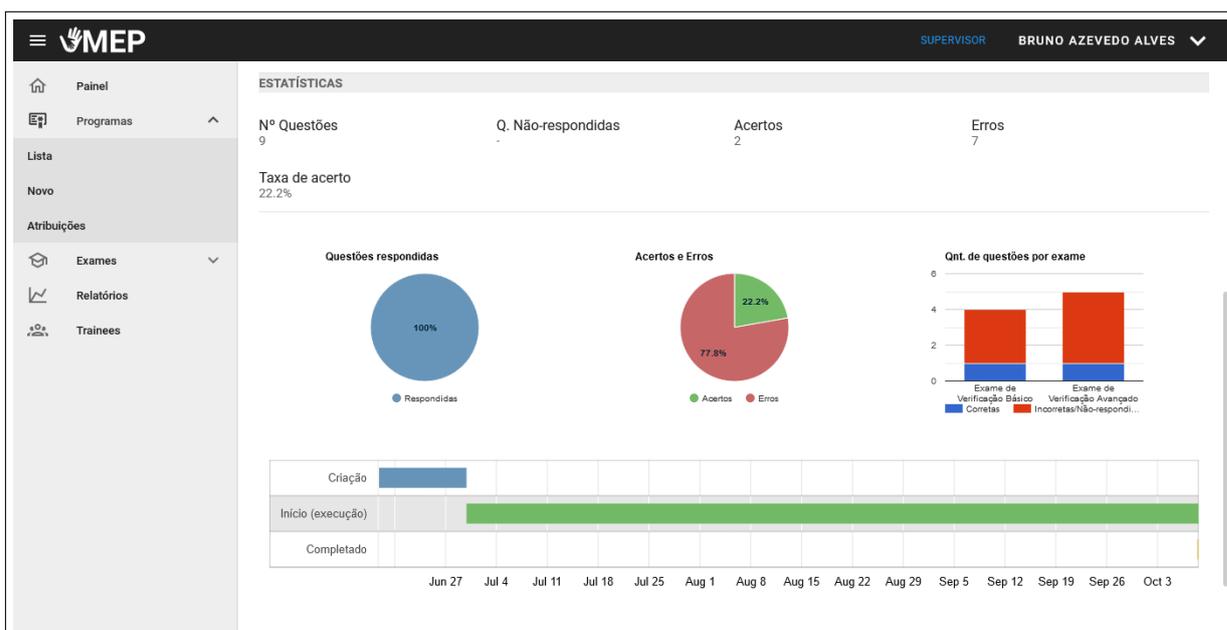


Fonte: O autor (2021).

5.3.5.2 Acompanhamento (Estatísticas)

Dados estatísticos sobre os programas poder ser visualizados na seção **Estatísticas**, dentro dos detalhes dos programas. Esta seção apresenta dados estatísticos sobre as questões e datas dos exames. A Figura 5.24 apresenta uma captura de tela mostrando dados estatísticos de um determinado programa.

Figura 5.24: Captura de tela exibindo estatísticas de um programa (perfil supervisor).



Fonte: O autor (2021).

Nesta seção, é possível acompanhar a quantidade de acertos e erros por exame atribuído,

visualizar a taxa de acerto total, quantidade de questões respondidas, bem como uma linha do tempo apresentando a data de criação do exame, início da execução do programa pelo *trainee* e a conclusão do programa.

5.4 Discussões

A partir dos resultados apresentados, pode-se realizar uma comparação com os trabalhos relacionados apresentados no Capítulo 3. Assim, a Tabela 5.1 apresenta uma comparação destes trabalhos relacionados com o MEP.

Tabela 5.1: Comparação dos sistemas apresentados com o MEP.

Autor	Gamificação	Modificações	Relatório	Autoavaliação	Realismo	Equipamento
(SÜNCKSEN et al., 2018)	✓	✓	✗	✓	Baixo/Médio	Arco C
(BRIDGE et al., 2014)	✗	✗	✗	✗	Alto	Convencional
(WILCOCKS et al., 2018)	✗	✗	✗	✗	Baixo	Arco C
(O'CONNOR et al., 2021)	✗	✗	✓	✓	Médio/Alto	Arco C
(SAPKAROSKI; BAIRD et al., 2018)	✗	✗	✓	✓	Médio	Convencional
MEP	✓	✓	✓	✓	Alto	Mamografia

Em nosso trabalho, propomos a inserção desses elementos no ambiente para formar uma narrativa mais lúdica e de entretenimento, ao mesmo tempo educativa. A geração de relatório é considerada parte importante no MEP, que conta com um sistema de armazenamento de banco de dados local para persistência das informações dos usuários.

A adição ou modificação de tarefas e conteúdo é facilitada no MEP para permitir que o sistema esteja sempre atualizado e que o treinamento possa corresponder às necessidades momentâneas. Assim, a partir de pequenas modificações utilizando herança e *prefabs*, desenvolvedores podem adicionar novos conteúdos no Módulo Gamificado e supervisores podem inserir novos questionários no Módulo de Gerenciamento e Questionários.

O sistema MEP pode ser considerado inovador na utilização do mamógrafo como ferramenta de treinamento, pois não foram encontrados trabalhos na literatura com este equipa-

mento. O ambiente possui um realismo relativamente elevado, quando comparado a outros trabalhos de treinamento e simulação, como o de Süncksen et al. (2018) e Wilcocks et al. (2018) (ver seções 3.2 e 3.4).

A partir de validações a serem realizadas através de questionários sobre o ambiente virtual e de usabilidade, espera-se que usuários tenham um maior engajamento e satisfação durante o treinamento. Com a aplicação da metodologia e extensão de níveis (fases), pode-se treinar técnicas específicas como incidências e compressões de mama. Em um contexto maior, espera-se que a avaliação da metodologia leve profissionais a um maior nível de conhecimento bem como uma maior facilidade de acesso à informações sobre técnicas mamográficas.

5.5 Considerações Finais

Esta seção apresentou como resultado o MEP, descrevendo o Módulo Gamificado e o Módulo de Gerenciamento e Questionários. No Módulo Gamificado foram exibidos os modelos 3D principais, técnicas de navegação, interação e modos de aprendizado do ambiente virtual. No Módulo de Gerenciamento e Questionários foram demonstrados os mecanismos gerenciamento de usuários, atribuição e acompanhamento de treinamentos, incluindo os questionários. A Seção 5.4 apresentou uma comparação do MEP com os trabalhos relacionados. Por fim, foi apresentado o que se esperar de uma possível validação do sistema e da metodologia.

Conclusões

6.1 Considerações Finais

Com a pesquisa realizada para este trabalho, foi possível destacar a importância da mamografia em programas de rastreamento e diagnóstico do câncer de mama (INCA, 2018, 2021). Foi possível observar também lacunas no treinamento inicial e contínuo de estudantes e técnicos em mamografia (SABINO et al., 2014). Estas lacunas afetam diretamente a qualidade das imagens mamográficas e consequentemente a taxa de sucesso no diagnóstico do câncer de mama (CHEVALIER et al., 2012).

Considerando fatores em treinamentos iniciais como o tempo reduzido de treinamento nos cursos de radiologia e falta de especialização na área da mamografia e considerando fatores para treinamento de técnicos como a distância entre unidades de mamografia com suas sedes e falta de recursos para implementação de programas de controle de qualidade, este modelo de treinamento pode auxiliar tanto em treinamento inicial como em programas contínuo para área da mamografia, entretanto uma avaliação da efetividade do sistema deve ser efetuada, como trabalho futuro.

A RDC N° 330 traz exigências de treinamentos contínuos nos serviços de radiodiagnósticos, o que poderia ser facilitado com a ferramenta MEP, pois o ela oferece também um suporte aos supervisores no gerenciamento de aplicações de treinamento contínuo de técnicos de mamografia, utilizando o cadastro e acompanhamento dentro do Módulo de Gerenciamento e Questionários.

Além disso, a possibilidade de utilização do sistema MEP em navegadores e computadores como sistema operacional *Windows*, permite que treinamentos sejam aplicados e acompanha-

dos à distância, atendendo aos formatos da *Web 3.0*. Assim, esta metodologia pode fornecer uma possibilidade de solução à falta de treinamento em unidades distantes das suas sedes, mitigando a falta de treinamento contínuo nestes locais.

A partir dos objetivos definidos no trabalho e com as ferramentas utilizadas no desenvolvimento deste sistema, foi possível desenvolver um sistema com bom nível de realismo gráfico com elementos assemelhando-se aos elementos cotidianos de um estabelecimento de radiologia. Com a aplicação de técnicas de RV, foi possível criar mecanismos de navegação e interação consistentes. O uso do teclado e *mouse* e monitor de vídeo como interface de navegação e interação permite ao sistema uma utilização rápida, sem necessidade de adaptação e aprendizado de novas ferramentas de interação.

A metodologia apresentada para criação de novos níveis (fases) no ambiente virtual, com objetivos educacionais diferentes, facilita a implementação e ampliação do escopo de treinamento do MEP, assim como a possibilidade de ampliação do banco de questões pelos supervisores.

Em comparação com outros trabalhos, o sistema apresenta atributos de gamificação, modificação, geração de relatório, autoavaliação, alto realismo gráfico e utilização do mamógrafo como equipamento de treinamento. A junção destes aspectos no MEP pode ser considerado uma vantagem com relação aos trabalhos encontrados na literatura.

Por fim, os objetivos propostos de criação da metodologia para treinamento em mamografia foram realizados. O sistema MEP apresenta um ambiente virtual com sala de mamografia no Módulo Gamificado e o Módulo de Gerenciamento e Questionário possui recursos para criação e execução de questionários, bem como possibilita o registro de treinamentos.

6.2 Trabalhos Futuros

Em continuidade ao projeto MEP, novas funcionalidades podem ser implementadas e métodos de avaliação do sistema podem ser realizados. Por exemplo, a integração automática entre os módulos deverá ser implementada, de forma a permitir uma integração contínua de informações.

Procedimentos de compressão de mama poderão ser adicionados ao ambiente virtual utilizando ferramentas de apoio como o *SOFA*¹. Ainda, questionários de usabilidade e de métodos

¹<https://www.sofa-framework.org/>

de avaliação (QAAV (LYRA, 2016), SUS (BROOKE, 2013)) podem ser aplicados para avaliar a metodologia proposta.

Bibliografia

BIGDELI, Shoaleh; KAUFMAN, David. Digital games in medical education: Key terms, concepts, and definitions. **Medical journal of the Islamic Republic of Iran**, Iran University of Medical Sciences, v. 31, p. 52, 2017. DOI: 10.14196/mjiri.31.52.

BRASIL. **Portaria nº 453/GM/MS**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, jun. 1998.

_____. **RESOLUÇÃO - RDC Nº 330**. 249. ed. Brasília, DF: Diário Oficial da União, dez. 2019. p. 92.

BRAY, Freddie et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. **CA: a cancer journal for clinicians**, Wiley Online Library, v. 68, n. 6, p. 394–424, 2018. DOI: 10.3322/caac.21492.

BRIDGE, Pete et al. The development and evaluation of a medical imaging training immersive environment. **Journal of Medical Radiation Sciences**, v. 61, n. 3, p. 159–165, 2014. ISSN 20513909. DOI: 10.1002/jmrs.60.

BRNIĆ, Zoran et al. Image quality of mammography in Croatian nationwide screening program: Comparison between various types of facilities. **European journal of radiology**, Elsevier, v. 81, n. 4, e478–e485, 2012. DOI: 10.5772/30973.

BROOKE, John. SUS: A Retrospective. Usability Professionals' Association, Bloomington, IL, v. 8, n. 2, 2013. ISSN 1931-3357.

CALDAS, Flávio Augusto Ataliba et al. Quality control and artifacts in mammography. **Radiologia Brasileira**, SciELO Brasil, v. 38, n. 4, p. 295–300, 2005. DOI: 10.1590/S0100-39842005000400012.

CARDOSO, Alexandre; KIRNER, C et al. Tecnologias e ferramentas para o desenvolvimento de sistemas de realidade virtual e aumentada. **Editora Universitária UFPE**, p. 1–19, 2007.

CARDOSO, Alexandre; SILVEIRA, Ismar F. et al. Development of educational resources with virtual and augmented reality: Challenges and perspectives. In: IEEE. 2017 XLIII Latin American Computer Conference (CLEI). [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–6. DOI: 10.1109/CLEI.2017.8226390.

CHEVALIER, Margarita et al. Image quality requirements for digital mammography in breast Cancer screening. **Imaging of the Breast-Technical Aspects and Clinical Implication**,(May 2014), p. 115–132, 2012. DOI: 10.5772/30973.

COOP, P; COWLING, C; LAWSON, C. Tomosynthesis as a screening tool for breast cancer: A systematic review. **Radiography**, Elsevier, v. 22, n. 3, e190–e195, 2016. DOI: 10.1016/j.radi.2016.03.002.

COPELAND, Rick. **MongoDB Applied Design Patterns: Practical Use Cases with the Leading NoSQL Database**. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2013. DOI: 9781449340049.

CORRÊA, Cléber Gimenez et al. Virtual reality simulator for dental anesthesia training in the inferior alveolar nerve block. **Journal of Applied Oral Science**, v. 25, n. 4, p. 357–366, 2017. ISSN 16787765. DOI: 10.1590/1678-7757-2016-0386.

DÖRNER, Ralf et al. (Ed.). **Serious Games - Foundations, Concepts and Practice**. [S.l.]: Springer International Publishing, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-40612-1.

ELKIN, Elena B. Geographic Influences on Screening Mammography. In: GEOSPATIAL Approaches to Energy Balance and Breast Cancer. [S.l.]: Springer, 2019. p. 285–311. DOI: 10.1007/978-3-030-18408-7_12.

FIELDING, Roy T; TAYLOR, Richard N. **Architectural styles and the design of network-based software architectures**. [S.l.]: University of California, Irvine Irvine, USA, 2000. v. 7.

GORE, Anthony. **Full-Stack Vue.js 2 and Laravel 5: Bring the frontend and backend together with Vue, Vuex, and Laravel**. [S.l.]: Packt Publishing Ltd, 2017. ISBN 9781788299589.

GRUBER, Aurel et al. Interactive Sculpting of Digital Faces Using an Anatomical Modeling Paradigm. In: WILEY ONLINE LIBRARY, 5. COMPUTER Graphics Forum. [S.l.: s.n.], 2020. v. 39, p. 93–102. DOI: 10.1111/cgf.14071.

HALILI, Festim; RAMADANI, Erenis. Web services: a comparison of soap and rest services. **Modern Applied Science**, v. 12, n. 3, p. 175, 2018. DOI: 10.5539/mas.v12n3p175.

INCA, Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. **Estimativa 2020: incidência de câncer no Brasi**. Rio de Janeiro: Serviço de Educação e Informação Técnico-Científica Área de Edição e Produção de Materiais Técnico-Científicos, 2019. ISBN 978-85-7318-389-4.

_____. **Atualização em mamografia para técnicos em radiologia**. Rio de Janeiro: Serviço de Educação e Informação Técnico-Científica Área de Edição e Produção de Materiais Técnico-Científicos, 2019. ISBN 978-85-7318-372-6.

_____. **ABC do câncer: abordagens básicas para o controle do câncer**. Rio de Janeiro: Serviço de Educação e Informação Técnico-Científica Área de Edição e Produção de Materiais Técnico-Científicos, 2018. ISBN 978-85-7318-351-1.

_____. **Detecção precoce do câncer**. Rio de Janeiro: Serviço de Educação e Informação Técnico-Científica Área de Edição e Produção de Materiais Técnico-Científicos, 2021. ISBN 978-65-88517-22-2.

OMS, Organização Mundial da Saúde. **CID-10 - Classificação estatística internacional de doenças e problemas relacionados à saúde**. 10. ed. São Paulo: Edusp, 2017. ISBN 9788531401930.

KARL WIEGERS, Joy Beatty. **Software Requirements**. 3. ed. [S.l.]: Microsoft Press, 2013. (Developer Best Practices). ISBN 0735679665, 978-0735679665.

LYRA, J. O. M. Jogos Sérios para reabilitação de membros inferiores de paciente pós-AVC utilizando Kinect, ambientes virtuais e sinais mioelétricos, 2016.

MACHADO, Liliane dos Santos et al. Serious games baseados em realidade virtual para educação médica. **Revista brasileira de educação médica**, SciELO Brasil, v. 35, p. 254–262, 2011. DOI: 10.1590/S0100-55022011000200015.

MALHOTRA, Varun M; KABRA, Pratyush R; MALHOTRA, Ritika. Attitudes and practices of medical students regarding video-games: should community medicine educationists get serious about serious games. **International Journal of Community Medicine and Public Health**, v. 4, n. 3, p. 729, 2017. DOI: 10.18203/2394-6040.ijcmph20170748.

MARTENS, Alke; DIENER, Holger; MALO, Steffen. Game-based learning with computers–learning, simulations, and games. In: TRANSACTIONS on edutainment I. [S.l.]: Springer, 2008. p. 172–190. DOI: 10.1007/978-3-540-69744-2_15.

MILDNER, Philip; CAMPBELL, Christopher; EFFELSBURG, Wolfgang. Word domination. In: SPRINGER. INTERNATIONAL Conference on Serious Games. [S.l.: s.n.], 2014. p. 59–70. DOI: 10.1007/978-3-319-05972-3_7.

NGUYEN, Hubert. **GPU Gems 3**. 3. ed. [S.l.]: Addison-Wesley Professional, 2007. p. 1008. ISBN 978-0-321-51526-1. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.5555/1536934>>.

O'CONNOR, M. et al. 3D virtual reality simulation in radiography education: The students' experience. **Radiography**, Elsevier Ltd, v. 27, n. 1, p. 208–214, 2021. ISSN 15322831. DOI: 10.1016/j.radi.2020.07.017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.radi.2020.07.017>>.

OBE, Regina O; HSU, Leo S. **PostgreSQL: Up and Running: a Practical Guide to the Advanced Open Source Database**. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2017. ISBN 1491963360, 9781491963364.

OPAS, Organização Pan-Americana de Saúde. **Câncer**. [S.l.: s.n.], 2021. <https://www.paho.org/pt/topicos/cancer>. Acessado em: 03/10/2021.

POULTON, Nigel. **Docker deep dive**. [S.l.]: JJNP Consulting Limited, 2019.

RAGGETT, Dave; LE HORS, Arnaud; JACOBS, Ian et al. HTML 4.01 Specification. **W3C recommendation**, v. 24, 1999.

REDINGTON, Rowland W.; BERNINGER, Walter H. **Medical imaging systems**. [S.l.: s.n.], 2018. v. 34, p. 36–44. ISBN 9783319965192. DOI: 10.1063/1.2914691.

RIBEIRO, Rodolfo dos Santos et al. Desenvolvimento de uma ferramenta para treinamento em leituras de mamografias digitais. Universidade Federal de Uberlândia, 2016. DOI: 10.14393/ufu.di.2016.566.

RICHARDSON, Chris. **Microservices patterns: with examples in Java**. [S.l.]: Simon e Schuster, 2018. ISBN 9781617292439.

SABINO, Silvia Maria Prioli De Souza et al. Implementation of a clinical quality control program in a mammography screening service of Brazil. **Anticancer research**, International Institute of Anticancer Research, v. 34, n. 9, p. 5057–5065, 2014.

SAPKAROSKI, D.; MUNDY, M.; DIMMOCK, M. R. Virtual reality versus conventional clinical role-play for radiographic positioning training: A students' perception study. **Radiography**, Elsevier Ltd, v. 26, n. 1, p. 57–62, 2020. ISSN 15322831. DOI: 10.1016/j.radi.2019.08.001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.radi.2019.08.001>>.

SAPKAROSKI, Daniel; BAIRD, Marilyn et al. The implementation of a haptic feedback virtual reality simulation clinic with dynamic patient interaction and communication for medical imaging students. **Journal of Medical Radiation Sciences**, v. 65, n. 3, p. 218–225, 2018. ISSN 20513909. DOI: 10.1002/jmrs.288.

SCOTT JR, Emmit A. **SPA Design and Architecture: Understanding single-page web applications**. [S.l.]: Simon e Schuster, 2015.

SILVA, Paulo Camargos; CYRINO, Gabriel Fernandes; LAMOUNIER, Edgard et al. Recurso Educacional Aberto para Treinamento Inicial e Contínuo em Mamografia Utilizando Questionário Virtual e Técnicas de Gamificação. In: SBIE 2021 - Trilha 2 (). [S.l.: s.n.], nov. 2021. Disponível em: <<http://XXXXX/218396.pdf>>.

_____. _____. In: SBC. ANAIS do XXXII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. [S.l.: s.n.], 2021. p. 381–391. DOI: 10.5753/sbie.2021.218396.

_____. Virtual Mammography Environment with Gamification Elements for Simulation and Training. In: UFU. ANAIS do XIII Simpósio de Engenharia Biomédica. [S.l.: s.n.], 2021.

SILVA, Paulo Camargos; CYRINO, Gabriel Fernandes; LELIS BARRETO JR, Camilo de et al. Treinamento em radiologia utilizando técnicas de realidade virtual: uma breve revisão do estado da arte. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, e55101522507–e55101522507, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i15.22507.

SOMMERVILLE, Ian. **Software Engineering**. 10. ed. [S.l.]: Pearson Australia Pty Limited, 2016. ISBN 1292096136, 9781292096131.

STONEBRAKER, Michael. **Readings in database systems**. [S.l.]: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1988.

SÜNCKSEN, Matthias et al. Gamification and virtual reality for teaching mobile x-ray imaging. **2018 IEEE 6th International Conference on Serious Games and Applications for Health, SeGAH 2018**, p. 1–7, 2018. DOI: 10.1109/SeGAH.2018.8401364.

THOMAZ, RL; CROZARA, MG Nirschl; PATROCINIO, AC. Training system for digital mammographic diagnoses of breast cancer. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICS e PHOTONICS. MEDICAL Imaging 2013: Advanced PACS-based Imaging Informatics and Therapeutic Applications. [S.l.: s.n.], 2013. v. 8674, 86740q. DOI: 10.1117/12.2008252.

TORI, Allan; TORI, Romero; NUNES, Fatima. Gamificação e imersão como elementos de engajamento para simuladores: uma proposta de aplicação em realidade virtual para a Odontologia. In: SBC. ANAIS Estendidos do XXII Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada. [S.l.: s.n.], 2020. p. 9–10. DOI: /10.5753/svr_estendido.2020.12945.

TORI, Romero; SILVA HOUNSELL, Marcelo da. Introdução a realidade virtual e aumentada. **Interação**, v. 7, p. 11, 2020. DOI: doi.org/10.5753/sbc.6654.2.

W3C, World Wide Web Consortium. **What is CSS?** [S.l.: s.n.], 2016.
<https://www.w3.org/standards/webdesign/htmlcss>. Acessado em: 27/10/2021.
Disponível em: <<https://www.w3.org/standards/webdesign/htmlcss#whatcss>>.

WANG, Ryan et al. A systematic review of serious games in training health care professionals. **Simulation in Healthcare**, LWJ, v. 11, n. 1, p. 41–51, 2016. DOI: 10.1097/SIH.000000000000118.

WILCOCKS, K. et al. A virtual cardiac catheterization laboratory for patient education: The angiogram procedure. **2017 8th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications, IISA 2017**, 2018-Janua, p. 1–4, 2018. DOI: 10.1109/IISA.2017.8316384.

Publicações

Este trabalho resultou nas seguintes publicações:

SILVA, Paulo Camargos; CYRINO, Gabriel Fernandes; LELIS BARRETO JR, Camilo de et al. Treinamento em radiologia utilizando técnicas de realidade virtual: uma breve revisão do estado da arte. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, e55101522507–e55101522507, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i15.22507

SILVA, Paulo Camargos; CYRINO, Gabriel Fernandes; LAMOUNIER, Edgard et al. Recurso Educacional Aberto para Treinamento Inicial e Contínuo em Mamografia Utilizando Questionário Virtual e Técnicas de Gamificação. In: SBC. ANAIS do XXXII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. [S.l.: s.n.], 2021. p. 381–391. DOI: 10.5753/sbie.2021.218396

SILVA, Paulo Camargos; CYRINO, Gabriel Fernandes; LAMOUNIER, Edgard et al. Virtual Mammography Environment with Gamification Elements for Simulation and Training. In: UFU. ANAIS do XIII Simpósio de Engenharia Biomédica. [S.l.: s.n.], 2021 (Aceite definitivo)