

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PERSPECTIVAS DO DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DE  
AMBIENTES VIRTUAIS EM GAME ENGINE PARA ERGONOMIA

ESDRAS PARAVIZO DE BRITO

SÃO CARLOS  
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PERSPECTIVAS DO DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DE  
AMBIENTES VIRTUAIS EM GAME ENGINE PARA ERGONOMIA

ESDRAS PARAVIZO DE BRITO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, como requisito parcial à obtenção de título de Mestre em Engenharia de Produção.

*Orientação: Prof. Dr. Sergio Luís da Silva (orientador) e Prof. Dr. Daniel Braatz Antunes de Almeida Moura (coorientador)*

SÃO CARLOS  
2021



# UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

---

## Folha de Aprovação

---

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Esdras Paravizo de Brito, realizada em 23/09/2021.

### Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Sergio Luis da Silva (UFSCar)

Prof. Dr. Daniel Braatz Antunes de Almeida Moura (UFSCar)

Profa. Dra. Fabiane Letícia Lizarelli (UFSCar)

Prof. Dr. Raoni Rocha Simões (UFOP)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha mãe, Fátima e meu pai, Geovani, cujo amor e apoio são o alicerce de todas minhas conquistas.*

## AGRADECIMENTOS

Dado o meu percurso particular durante graduação e mestrado na UFSCar, tive o privilégio de interagir com diversas pessoas que contribuíram sobremaneira para a construção da minha trajetória. Aqui meramente destaco algumas das pessoas que me acompanharam nesse período e que, espero, me acompanharão nos desafios que virão. Assim agradeço:

Ao mestre Daniel Braatz, pela confiança, apoio e ensinamentos nesses longos anos de parceria. Aos amigos Tonin e Renato com quem muito aprendi nas discussões de projetos e conceitos ou ainda nas conversas sobre a vida e afins.

Ao professor Sérgio Luis da Silva, orientador e professor que despertou meu interesse por filosofia da ciência, apoiando e contribuindo não só para a evolução do trabalho como da minha prática enquanto pesquisador.

Aos docentes da banca, professor Raoni Rocha e professora Fabiane Lizarelli, não só pelas contribuições ao trabalho, mas pelo exemplo e inspiração, por mostrarem como a docência universitária, a pesquisa e extensão podem fazer a diferença na vida dos alunos e da sociedade.

Aos colegas do DEP, Murilo, Robson, Lucas, Silvia – pela paciência e colaboração todos esses anos

Aos amigos de São Carlos: Hugo, Cesar, Felipe – obrigado pelas conversas, risadas, flashes e apoio. Às amigas do PPGEP, Bruna e Karina, pela compreensão, disposição e suporte durante essa reta final. A Débora, pela parceria inabalável, apoio incondicional e por me incentivar a sonhar (e passar nas matérias).

A melhor irmã do mundo, Donds, que me inspira a ir além e que compartilha comigo tanto os bons momentos, quanto os nem tão bons assim. A minha mãe, Fátima, que com seu amor imensurável me passou o gosto por cuidar e ensinar. Ao meu pai, Geovani, pelo apoio inabalável e amor constante.

Por fim, às políticas públicas de permanência estudantil e promoção da ciência de uma época tal que o sonho de um país mais justo, pautado na valorização da ciência e educação, parecia alcançável. Em particular, a CAPES pelo fomento ao presente projeto.

*“You have to be in a state of play  
to design. If you’re not in a state of  
play, you can’t make anything.”*

Paula Scher

## RESUMO

À medida que a popularização de tecnologias digitais inovadoras se consolida, novas possibilidades surgem para sua utilização em contextos diversos, inclusive em situações de pesquisa e ensino. Esse é o contexto das *Game Engines* (GEs) – ferramentas digitais comumente empregadas para o desenvolvimento de jogos eletrônicos, mas que podem ser mobilizadas para criação de ambientes virtuais com objetivos diversos. O presente trabalho busca compreender como ambientes virtuais criados em *game engine* podem contribuir para o campo da ergonomia enquanto ferramenta de simulação e ensino. Para tanto, 4 estudos foram desenvolvidos e articulados: o primeiro se aprofundou na discussão dos AV em GE para a simulação e análise de situações de trabalho, indicando as potencialidades e limitações dessa abordagem. O segundo apresentou uma tentativa inicial de investigação sistemática do uso de AV em GE em contexto de ensino a partir da estruturação de um estudo comparativo experimental. A partir da experiência consolidada com esses artigos e identificação de gap na literatura com relação a padronização do desenvolvimento de AV em GE, o terceiro estudo foi elaborado para contribuir com um framework para sistematizar a criação de AV em GEs. O último estudo valida esse framework ao implementá-lo para desenvolver um AV para ensino de ergonomia que foi validado em teste piloto e em entrevistas com especialistas. Assim, entende-se que o presente trabalho contribui para uma melhor compreensão do potencial de utilização de AV em GE para ergonomia, tanto em contextos de simulação e análise do trabalho, como em contextos de ensino. Os resultados alcançados aqui contribuem tanto para o campo teórico da simulação em ergonomia, como para a sua prática e ensino, o que é particularmente relevante em um contexto em que o Brasil e o mundo buscam novas formas de ensinar.

Palavras-chave: ergonomia; ensino; projeto; game engine; framework.

## **ABSTRACT**

As the popularization of innovative digital technologies consolidates, new possibilities emerge for their use in diverse contexts, including in research and teaching situations. This is the context of Game Engines (GEs) - digital tools commonly used for the development of electronic games, but that can be mobilized to create virtual environments with various objectives. This paper seeks to understand how virtual environments created in game engines can contribute to the field of ergonomics as a tool for simulation and teaching. To do so, four studies were developed and articulated: the first one deepened the discussion about the VE in GE for the simulation and analysis of work situations, indicating the potentials and limitations of this approach. The second presented an initial attempt to systematically investigate the use of VE in GE in teaching contexts by structuring a comparative experimental study. Based on the consolidated experience with these articles and the identification of a gap in the literature regarding the standardization of the development of VE in GE, the third study was designed to contribute with a framework to systematize the creation of VEs in GEs. The last study validates this framework by implementing it to develop a VE for teaching ergonomics that was validated in pilot testing and in interviews with experts. Thus, it is understood that the present work contributes to a better understanding of the potential of using VEs in GE for ergonomics, both in work simulation and analysis contexts, and in teaching contexts. The results achieved here contribute both to the theoretical field of simulation in ergonomics, and to its practice and teaching, which is particularly relevant in a context in which Brazil and the world seek new ways of teaching.

Keywords: ergonomics; education; design; game engine; framework.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Enfoque da pesquisa - ambientes virtuais, criados em GE - no contexto da simulação em ergonomia.....	17
Figura 2 - Estrutura da dissertação .....	20
Figura 3 – Posicionamento dos artigos da dissertação com base no referencial teórico mobilizado .....	31
Figura 4 - ilustração da área disponível para o projeto do espaço de trabalho.....	80
Figura 5 - Visão geral da criação do AV na Unreal Engine, com destaque para as ferramentas de edição e customização do ambiente 3D existentes na GE .....	83
Figura 6 - Exemplo de programação visual para implementação de funcionalidade (arrastar objeto), sendo que cada caixa ( <i>node</i> ) equivale a uma instrução (e.g., o <i>node SetActorLocation</i> define a posição do objeto no ambiente).....	83
Figura 7 – Ambiente de edição de personagem dentro da Unreal Engine (com funcionalidades para customização de posturas, aparência, animações).....	85
Figura 8 – Estrutura do processo de validação do AV, contemplando teste piloto com estudantes e entrevistas com especialistas .....	86
Figura 9 – Síntese respostas as questões dos blocos “experiência no tema/ferramentas” e do bloco “percepção de conhecimento no tema” .....	94
Figura 10 - Síntese respostas questões pós-uso AV .....	95
Figura 11 - Estrutura do protocolo .....	111

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS .....	17
1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	18
<b>2. DELINEAMENTO DO REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>21</b>
2.1. ERGONOMIA .....	21
2.2. ERGONOMIA E CONCEPÇÃO .....	23
2.3. ENSINO DE ERGONOMIA .....	25
2.4. APRENDIZADO BASEADO EM JOGOS .....	27
2.5. GAME ENGINES .....	29
<b>3. ARTIGO 1 – “USING A GAME ENGINE FOR SIMULATION IN ERGONOMICS ANALYSIS, DESIGN AND EDUCATION: AN EXPLORATORY STUDY”</b> .....	<b>32</b>
<b>4. ARTIGO 2 – “LEVERAGING VIRTUAL ENVIRONMENTS AND 3D MODELS IN A WORKSPACE DESIGN: IMPLICATIONS AND POSSIBILITIES”</b> .....	<b>33</b>
<b>5. ARTIGO 3 – “TOWARDS A FRAMEWORK FOR DEVELOPING GAME ENGINE-BASED VIRTUAL ENVIRONMENTS FOR ERGONOMICS AND HUMAN FACTORS”</b> .....	<b>34</b>
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>34</b>
1.1. GAME ENGINES OVERVIEW .....	35
1.2. GAME ENGINES IN EHF .....	36
1.3. STUDY GOAL .....	37
<b>2. METHODOLOGY</b> .....	<b>37</b>
2.1. LITERATURE SEARCH METHOD .....	38
2.2. REVIEW PROCEDURE.....	38
2.3. DATA ANALYSIS .....	40
<b>3. RESULTS</b> .....	<b>41</b>
3.1. RESULTS FROM THE QUALITATIVE DATA ANALYSIS.....	43
<b>3.1.1 Objective Category</b> .....	<b>43</b>
<b>3.1.2 Software Category</b> .....	<b>43</b>
<b>3.1.3 Hardware Category</b> .....	<b>44</b>
<b>3.1.4 Participants Category</b> .....	<b>45</b>
<b>3.1.5 Technology Choice Category</b> .....	<b>45</b>
<b>3.1.6 Challenges Category</b> .....	<b>47</b>

<b>3.1.7 Benefits Category</b> .....	<b>48</b>
<b>3.1.8 Features Category</b> .....	<b>48</b>
<b>3.1.9 Evaluation Category</b> .....	<b>49</b>
<b>3.1.10 Method Design and VE Application Procedure Categories</b> .....	<b>50</b>
<b>4. TOWARDS A FRAMEWORK FOR GE-BASED VEs</b> .....	<b>51</b>
4.1. PROPOSED FRAMEWORK PRESENTATION.....	53
<b>5. DISCUSSION</b> .....	<b>56</b>
5.1. IMPLICATIONS FOR EHF RESEARCHERS AND PRACTITIONERS .....	56
5.2. IMPLICATIONS FOR USERS .....	58
<b>6. CONCLUSION</b> .....	<b>59</b>
<b>7. ACKNOWLEDGEMENTS</b> .....	<b>60</b>
<b>8. REFERENCES</b> .....	<b>60</b>
<b>APPENDIX</b> .....	<b>69</b>
TABLE A.1 – DISTRIBUTION OF THE PAPERS ANALYZED ACROSS THE INDUSTRY, EHF DOMAIN AND APPLICATION TYPE CATEGORIES .....	69
TABLE A.2 – SYNTHESIS OF METHODS FOR VE DEVELOPMENT FROM PAPERS ANALYZED .....	71
<b>6. ARTIGO 4 – “UTILIZAÇÃO DE AMBIENTE VIRTUAL PARA ENSINO DE ERGONOMIA: ESTUDO PILOTO E PROTOCOLO QUASI- EXPERIMENTAL”</b> .....	<b>77</b>
6.1. OBJETIVO.....	77
6.2. INTRODUÇÃO E LITERATURA RELEVANTE .....	77
6.3. MATERIAIS E MÉTODO.....	78
<b>6.3.1. Desenvolvimento do AV</b> .....	<b>79</b>
6.3.1.1. Objetivos de Aprendizagem da Atividade.....	79
6.3.1.2. O Caso Real Base do AV .....	79
6.3.1.3. Fontes de Informação sobre o Caso.....	81
6.3.1.4. Criação do AV Seguindo o Framework Proposto .....	83
<b>6.3.2. Teste Piloto</b> .....	<b>86</b>
6.3.2.1. Participantes - Alunos.....	86
6.3.2.2. Procedimento .....	87
6.3.2.3. Questionários .....	88
6.3.2.4. Análise dos Resultados .....	91
<b>6.3.3. Entrevistas com Especialistas</b> .....	<b>91</b>
6.3.3.1. Participantes - Especialistas.....	91
6.3.3.2. Procedimento .....	91

6.3.3.3. Análise dos Resultados .....	92
6.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	92
<b>6.4.1. Resultados Teste Piloto .....</b>	<b>92</b>
<b>6.4.2. Resultados das Entrevistas .....</b>	<b>100</b>
<b>6.4.3. Temas Recorrentes Identificados .....</b>	<b>101</b>
6.4.3.1. Maior detalhamento do caso.....	101
6.4.3.2. Questão dimensional .....	102
6.4.3.3. Definição de requisitos para o projeto.....	102
6.4.3.4. Impacto da estética .....	103
6.4.3.5. Potencial de Incorporação de Funcionalidades .....	103
6.4.3.6. Tutoriais.....	104
6.4.3.7. Condução da Atividade de Ensino.....	104
6.4.3.8. Link com Situação Real.....	105
6.4.3.9. Problemas de Usabilidade .....	105
6.5. DELINEAMENTO DO PROTOCOLO QUASI-EXPERIMENTAL.....	106
<b>6.5.1. Recrutamento de Participantes .....</b>	<b>107</b>
<b>6.5.2. Realização do Estudo .....</b>	<b>107</b>
<b>6.5.3. Hipóteses do Estudo .....</b>	<b>108</b>
<b>6.5.4. Instrumentos de Coleta de Dados .....</b>	<b>109</b>
<b>6.5.5. Análises Previstas .....</b>	<b>111</b>
6.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO ARTIGO .....	111
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>113</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>115</b>
<b>APÊNDICE 1 - USING A GAME ENGINE FOR SIMULATION IN ERGONOMICS ANALYSIS, DESIGN AND EDUCATION: AN EXPLORATORY STUDY.....</b>	<b>124</b>
<b>APÊNDICE 2 - LEVERAGING VIRTUAL ENVIRONMENTS AND 3D MODELS IN A WORKSPACE DESIGN: IMPLICATIONS AND POSSIBILITIES .....</b>	<b>125</b>
<b>APÊNDICE 3 – CONFIRMAÇÃO DE SUBMISSÃO DO ARTIGO “TOWARDS A FRAMEWORK FOR DEVELOPING GAME ENGINE-BASED VIRTUAL ENVIRONMENTS FOR ERGONOMICS AND HUMAN FACTORS” .....</b>	<b>126</b>
<b>APÊNDICE 4 – RESULTADOS COMPLETOS DAS PROPOSTAS DE PROJETO DOS PARTICIPANTES DO ESTUDO PILOTO .....</b>	<b>127</b>
<b>APÊNDICE 5 – ANOTAÇÕES REALIZADAS DURANTE ENTREVISTAS....</b>	<b>152</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A temática do ensino de engenharia tem (re)despertado interesse devido ao surgimento e adoção de novas tecnologias e mudanças socioeconômicas atuais. Tradicionalmente, o processo de ensino e aprendizagem nas engenharias é dominado pelo estilo “giz e fala”, onde docentes ministram palestras para turmas numerosas de uma única disciplina (CAMPUS; PENRITH, 2003). Segundo os autores, em decorrência dessas abordagens tradicionais, habilidades importantes para egressos de engenharia como comunicação, trabalho em equipe, visão holística (em termos sociais, ambientais e econômicos) e aplicação de conhecimentos na prática são pouco desenvolvidas no decorrer dos cursos.

Dada essa problemática, diversos estudos nos últimos anos apresentam tentativas de empregar novas abordagens para o ensino de engenharia, desde iniciativas relacionadas ao aprendizado baseado em problemas ou projetos (*problem-based learning* e *project-based learning*) (CAMPUS; PENRITH, 2003; PEREIRA; BARRETO; PAZETI, 2017), sala de aula invertida (KARABULUT-ILGU; JARAMILLO CHERREZ; JAHREN, 2018) e ensino baseado em jogos (*game-based learning*) e simulação (BODNAR; CLARK, 2017; BRAGHIROLI et al., 2016; DESPEISSE, 2018a), visando uma maior integração do desenvolvimento das competências técnicas e sociais dos discentes, pautado pelo viés prático dessas abordagens.

As discussões acerca dessa temática no país culminaram, em abril de 2019, com a instituição pelo Ministério da Educação das novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) de Cursos de Engenharia no Brasil, atualizando e redefinindo o perfil dos egressos dos cursos, suas competências esperadas e as atividades de avaliação e acompanhamento dos discentes.

Em paralelo, os impactos que as novas DCNs terão sobre o ensino das engenharias já começaram a ser explorados, buscando-se a identificação das potencialidades e limitações dessa nova formulação. Braatz et al. (2019), por exemplo, relacionam as contribuições da cultura *maker*, manifesta a partir de atividades práticas em cursos de engenharia de produção, para o ensino de projeto no contexto das novas DCNs. De forma similar, Veloso et al. (2019) discutem a aplicação de metodologias ativas e ensino híbrido (combinando métodos de ensino e aprendizagem presenciais e a distância, utilizando-se ferramentas digitais de apoio) em cursos de engenharia, ressaltando a sua aderência às novas DCNs e o potencial de prover aos alunos situações práticas análogas às que se aproximam de problemas reais.

O foco do presente trabalho é o ensino de ergonomia e projeto nas engenharias, estando esse objeto de interesse circunscrito à temática do ensino de engenharia e discussões apontadas acima. Um dos pontos das novas DCNs que possuem certa relação com a disciplina de ergonomia, versa sobre o perfil do egresso em engenharia, indicando que deve “considerar os aspectos globais, políticos, econômicos, sociais, ambientais, culturais e de **segurança e saúde no trabalho**” (BRASIL, 2019, p. 43, grifo nosso). A menção à “segurança e saúde no trabalho” se apresenta como uma oportunidade, ainda que tênue, para a construção e consolidação do ensino de ergonomia nas engenharias, uma vez que a ergonomia figura no regramento normativo da segurança do trabalho (i.e. NR-17).

Uma característica marcante da ergonomia é sua aproximação com as disciplinas de projeto. A orientação ao projeto é uma das três características fundamentais da ergonomia apontadas por Dul et al. (2012), juntamente com uma abordagem de sistemas, e foco em resultados de desempenho operacional e bem-estar de forma conjunta. Essa relação intrínseca com o projeto apresenta desafios para o ensino dessa disciplina que, idealmente, contempla aspectos teóricos e práticos. Dessa forma, surge a necessidade da discussão da temática do ensino de engenharia com relação aos conteúdos relacionados a ergonomia e projeto, campo de interesse do presente estudo.

Tradicionalmente, o ensino de ergonomia, em nível universitário, está pulverizado entre diversos campos do conhecimento: desde as engenharias até a medicina, passando pela fisioterapia, terapia ocupacional, psicologia, design industrial e áreas correlatas (OAKMAN et al., 2020). Em cursos de graduação, temas relacionados a ergonomia tendem a aparecer como disciplinas pontuais, articuladas ou não aos outros conhecimentos do curso.

A formação formal do profissional de ergonomia é alcançada através de cursos de especialização (pós-graduação) e certificações de órgãos de classe. Os programas desses cursos englobam de forma sistemática conceitos, métodos e ferramentas da disciplina, seguindo em maior ou menor grau o delineamento da Associação Internacional de Ergonomia (IEA) das sete competências chave para a ergonomia: “conhecimento de base”, “medições e análises”, “avaliação”, “recomendação”, “implementação”, “abordagem científica” e “postura profissional” (IEA, 2021). No entanto, o contexto da formação profissional na área é assolado por uma série de desafios dada a natureza de baixa demanda pela indústria e alta especialização da disciplina (OAKMAN et al., 2020).

Nos últimos anos a discussão do ensino de ergonomia e disciplinas relacionadas ao trabalho nos cursos de engenharia tem sido intensificada. No Brasil, uma articulação entre universidades públicas (UFSCar, UNICAMP e UFOP), o Ministério Público do Trabalho da 15ª Região e o CEREST de Piracicaba instituiu um fórum para discussão da Engenharia do Trabalho (ENGENHARIA DO TRABALHO, 2021). Além da criação desse espaço para discussão entre docentes, estudantes e representantes de entidades de vigilância e fiscalização em saúde e segurança do trabalho, a iniciativa fomentou a criação de um livro voltado para o ensino da Engenharia do Trabalho (incluindo temas relacionados ao trabalho, saúde, segurança, ergonomia e projeto)<sup>1</sup>. Um desdobramento desse movimento foi um estudo exploratório a respeito da oferta de disciplinas relacionadas a ergonomia e áreas afins em cursos de graduação em engenharia brasileiros (PARAVIZO et al., 2021). Tal estudo identificou uma preponderância da oferta de disciplinas relacionadas de ergonomia e tópicos relacionados em cursos de engenharia de produção e, de maneira geral, uma necessidade de ampliar a inserção dessas disciplinas nas engenharias em geral.

Uma iniciativa similar desenvolvida no Canadá - Ergo@Large – sob a organização da Associação Canadense de Ergonomia, estabeleceu uma rede de docentes, pesquisadores, profissionais e estudantes para fortalecer a profissão e expandir seu reconhecimento e impacto no país (GUÉRIN, 2022). Um dos eixos estruturantes dessa iniciativa é a realização de pesquisas para identificação de tendências, inclusive a respeito da temática do ensino de ergonomia em cursos de graduação em engenharia, buscando compreender o porquê de a ergonomia não ser tão disseminada na engenharia, conforme apresentado em exposição oral durante o Congresso da Associação Internacional de Ergonomia (IEA 2021)<sup>2</sup>.

A disciplina da ergonomia é vasta, tanto em termos das abordagens teóricas, ferramentas e métodos existentes, quanto ao seu campo de interesse que contempla diversas indústrias, áreas e setores. Nesse sentido, é necessário determinar o recorte do trabalho – nosso foco está sob a temática da simulação em ergonomia, técnica comumente utilizada por pesquisadores e profissionais no campo da ergonomia.

---

<sup>1</sup> O livro citado é o: *Engenharia do Trabalho: saúde, segurança, ergonomia e projeto*, organizado por Daniel Braatz, Raoni Rocha e Sandra Gemma. No atual momento o livro está em fase final de edição.

<sup>2</sup> A apresentação oral citada é: *Engineering Project: Ergo Education in Engineering*, realizada por Nancy Black no âmbito do simpósio *Ergo@Large: A Canadian multidisciplinary committee on Human Factors/Ergonomics*.

Para operacionalizar a realização das simulações, diferentes objetos e modelos podem ser empregados. Entre as ferramentas analógicas figuram os rascunhos e plantas bidimensionais (2D) (DANIELLOU, 2007) que podem elaboradas em software de desenho assistido por computador (CAD, do inglês *computer-aided design*). Essas plantas utilizam diversos símbolos e representações gráficas de cunho técnico que permitem aos engenheiros e projetistas discutir o projeto e especificar as vistas, o layout, os sistemas hidráulicos, elétricos, etc. para sua posterior implementação. Eventualmente, realizam-se representações ou modelagens 3D, mas, em geral, em um momento de fechamento do projeto e apresentação para o cliente.

No entanto, quando se deseja incentivar e promover a participação dos trabalhadores do local (atual ou futuro) e de outros especialistas e no processo de concepção do ambiente de trabalho, surgem dificuldades ao se utilizar somente essas representações tradicionais da engenharia. Em geral, estes profissionais não possuem formação técnica para o entendimento de plantas CAD, o que limita sua compreensão das propostas e inviabiliza sua participação no processo de projeto. Para tanto, surgem alternativas ainda analógicas como, por exemplo, uso de desenhos em conjunto com figuras e peças de montar do tipo LEGO, modelos 3D em escala reduzida ou em escala real do novo local (ANDERSEN; BROBERG, 2015; BLIGÅRD; BERLIN; ÖSTERMAN, 2018). Essas representações podem facilitar a participação dos trabalhadores quando empregadas em processos participativos, mas apresentam limitações em termos de baixa fidelidade dos modelos (para uso de modelos 3D em escala, uso de LEGO) e custos (para modelos em escala real).

No âmbito das ferramentas virtuais empregadas para simulação em ergonomia, tradicionalmente discute-se o uso de softwares específicos para modelagem digital humana (DHM, do inglês *digital human modelling*) que possuem representações biomecânicas com alta fidelidade permitindo uma série de análises de situações de trabalho em termos de posturas, acesso, campo de visão e fadiga, podendo inclusive incluir protocolos de verificação ergonômica (ALEXANDER; PAUL, 2008; HARARI et al., 2017; PAUL; QUINTERO-DURAN, 2015).

Por outro lado, as técnicas computacionais e softwares disponíveis para simulação em ergonomia e suporte à concepção também possuem limitações no âmbito das formas de interação com o cenário proposto por parte de pessoas outras que não os projetistas, sendo tradicionalmente realizada através de vídeo gravado pelo projetista. Essa impossibilidade de interação com o cenário limita a participação efetiva dos trabalhadores

no processo de compreensão e discussão de propostas. Diversos estudos abordam a importância da participação efetiva dos atores (trabalhadores, gestores, projetistas, etc.) no processo de projeto – e.g. Darses e Reuzeau (2007) – incluindo investigações a respeito das diferentes ferramentas de simulação para promoção da participação (ANDERSEN; BROBERG, 2015). No entanto o foco do presente trabalho são as ferramentas computacionais inicialmente utilizadas para criação de jogos eletrônicos.

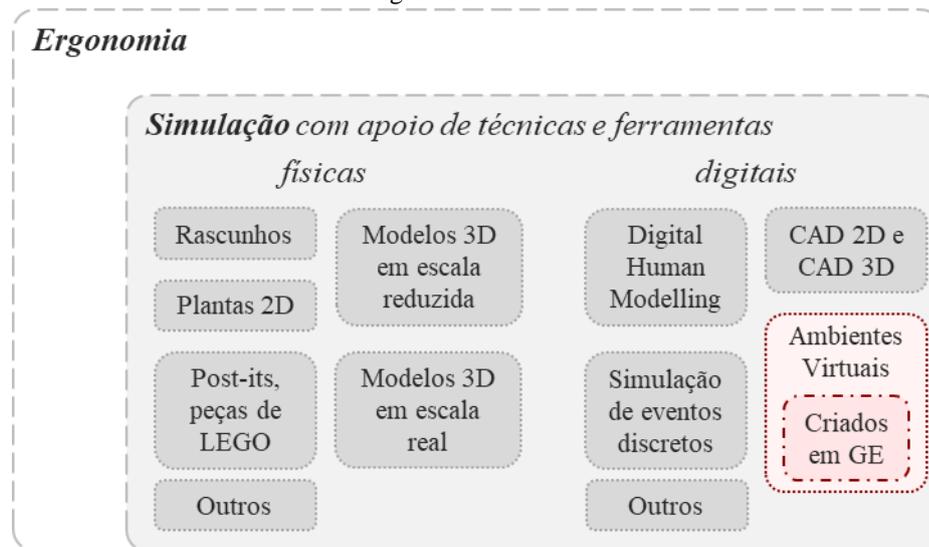
Recentemente, outras ferramentas computacionais como as *Game Engines* (GE, softwares comumente utilizados para desenvolvimento de jogos) (GATTO et al., 2013a; PARAVIZO; BRAATZ, 2019b) e softwares de simulação de sistemas (usualmente empregados no contexto da simulação de processos com foco em otimização e identificação de gargalos) (QURESHI; PURDY; NEUMANN, 2016; NEUMANN, 2015), têm sido estudadas enquanto possíveis ferramentas para simulação em ergonomia. As GEs em particular têm recebido cada vez mais atenção no campo da ergonomia, com destaque para recentes estudos utilizando-as para processos de avaliação de produtos (AROMAA; GORIACHEV; KYMÄLÄINEN, 2020), treinamento de trabalhadores (AKANMU et al., 2020), avaliação de postos de trabalho existentes (BRUNO; BARBIERI; MUZZUPAPPA, 2020) e possíveis configurações (WOLFARTSBERGER, 2019).

Dada essa problemática, as GEs aparecem como uma outra ferramenta possível de ser empregada, uma vez que possuem suporte a interações elaboradas (através de mouse e teclado, *joystick*, óculos de realidade virtual, etc.) e representações gráficas com alto grau de realismo e fidelidade, facilitando a compreensão e discussão do projeto por parte dos envolvidos.

O presente estudo se insere especificamente nesse contexto, com o intuito de investigar sistematicamente como os ambientes virtuais criados em GEs podem ser empregados nas simulações em ergonomia, com foco em objetivos de aprendizagem (ensino de ergonomia e conceitos relacionados) e de projeto (no sentido de análise e concepção de ambientes e situações de trabalho). A Figura 1 localiza o recorte da pesquisa: ambientes virtuais criados em GE no contexto da simulação em ergonomia.

Assim, a questão de pesquisa norteadora do trabalho pode ser articulada através da indagação: **como ambientes virtuais criados em *game engine* podem contribuir para o campo da ergonomia enquanto ferramenta de simulação e ensino?**

**Figura 1** – Enfoque da pesquisa - ambientes virtuais, criados em GE - no contexto da simulação em ergonomia.



\* Ferramentas e técnicas de simulação citadas não são exaustivas.

### 1.1. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Dado o contexto apresentado, o objetivo geral do trabalho é **compreender como ambientes virtuais criados em game engine podem contribuir para o campo da ergonomia enquanto ferramenta de simulação e ensino.**

Para alcançar esse objetivo geral delineiam-se os seguintes objetivos específicos:

- Investigar o uso de um ambiente virtual criado em *game engine* para simulação e análise de situação de trabalho;
- Investigar o uso de ambiente virtual em *game engine* como atividade de ensino de ergonomia e projeto de situação de trabalho;
- Propor um *framework* para o desenvolvimento de ambientes virtuais em *game engine* para simulação em ergonomia;
- Desenvolver, a partir do *framework* proposto, ambiente virtual em *game engine* e protocolo de aplicação em contexto de ensino de ergonomia.

## 1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação é realizada no formato de artigos, tendência que tem se popularizado para teses de doutorado e que tem sua adoção incentivada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSCar. Desse modo, o presente trabalho se constrói a partir da articulação de artigos que, conjuntamente, pretendem responder à questão de pesquisa e aos objetivos do trabalho. Nesse formato, as seções iniciais do texto – em especial o referencial teórico - da dissertação são condensadas para evitar repetições, uma vez que cada artigo apresentado na dissertação resgata o referencial teórico que os sustenta. De forma análoga, as questões metodológicas da dissertação são descentralizadas, sendo abordadas em profundidade em cada artigo. A síntese da relação entre os objetivos específicos da dissertação, os artigos e seus respectivos métodos é apresentada na Tabela 1.

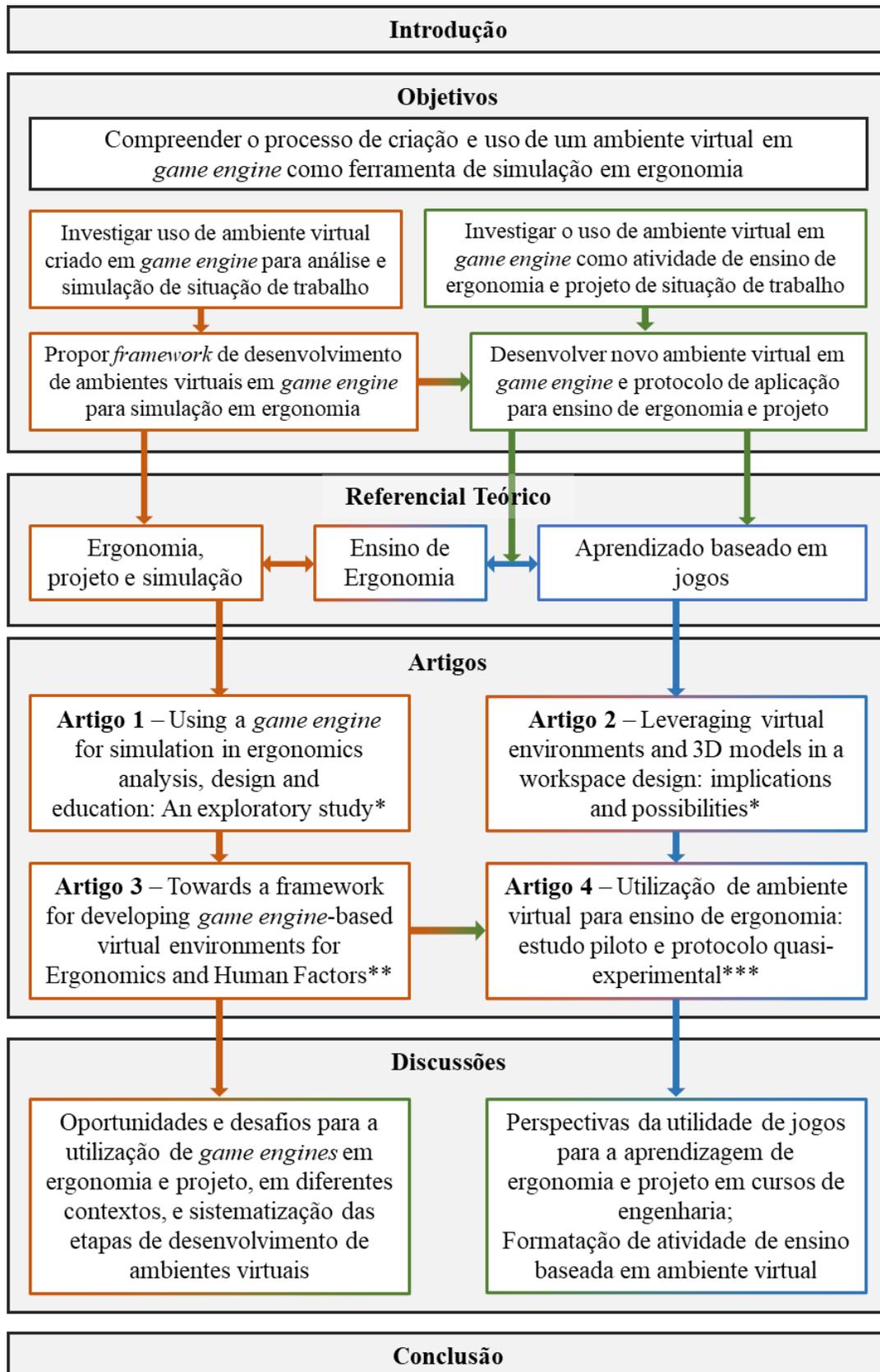
**Tabela 1** - Síntese da relação entre objetivos específicos e artigos

<b>Objetivo Específico</b>	<b>Artigo Relacionado</b>	<b>Abordagem</b>	<b>Método</b>
Investigar o uso de um ambiente virtual criado em game engine para simulação e análise de situação de trabalho	Artigo 1 - Using a Game Engine for Simulation in Ergonomics Analysis, Design and Education: an Exploratory Study	Mista (predominante quantitativa)	Quasi-experimental
Investigar o uso de ambiente virtual em game engine como atividade de ensino de ergonomia e projeto de situação de trabalho	Artigo 2 - Leveraging virtual environments and 3D models in a workspace design: implications and possibilities	Mista (predominante quantitativa)	Experimental
Propor um <i>framework</i> para o desenvolvimento de ambientes virtuais em <i>game engine</i> para simulação em ergonomia	Artigo 3 - Towards a Framework for Developing Game Engine-Based Virtual Environments for Ergonomics and Human Factors	Qualitativa	RBS
Desenvolver, a partir do <i>framework</i> proposto, ambiente virtual em <i>game engine</i> e protocolo de aplicação em contexto de ensino de ergonomia	Artigo 4 - Utilização de Ambiente Virtual para Ensino de Ergonomia: Teste Piloto e Protocolo Quasi-Experimental	Mista (predominante qualitativa)	Quasi-experimental

Ademais, convém destacar o contexto da pesquisa que está vinculada aos desenvolvimentos do projeto de inovação “Desafio ErgoPRO de Inovação em Ergonomia e Projeto” oficializado junto à UFSCar através da Agência de Inovação da Universidade.

Por fim, a presente dissertação contará com quatro artigos: os dois primeiros, realizados previamente ao ingresso formal do aluno na pós-graduação, mas já no âmbito do projeto de inovação mencionado, e que subsidiam a estruturação dos dois artigos subsequentes. A Figura 2 apresenta uma visão geral da estrutura da dissertação. Destaca-se que na figura o símbolo \* indica os artigos já elaborados e publicados em revista internacional de alto impacto e congresso internacional. O símbolo \*\* indica artigo elaborado e disponível no presente documento, que foi submetido à revista *Applied Ergonomics*, conforme Apêndice 3. O símbolo \*\*\* denota o artigo elaborado com base nos desenvolvimentos recentes da presente pesquisa.

**Figura 2 - Estrutura da dissertação**



Fonte: Autor. \* artigos publicados. \*\* artigo submetido. \*\*\* artigo elaborado.

## 2. DELINEAMENTO DO REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção são apresentados os principais conceitos e abordagens associadas aos campos do conhecimento mobilizados na construção desse trabalho, partindo de uma contextualização geral sobre ergonomia, com subsequente aprofundamento no tópico da ergonomia e projeto. Em seguida apresenta-se um panorama da discussão sobre o ensino de ergonomia e, por fim, a abordagem de aprendizado baseado em jogos.

### 2.1. ERGONOMIA

O surgimento da ergonomia enquanto disciplina do conhecimento remonta ao período da Segunda Guerra Mundial, que mobilizou o interesse de pesquisadores às relações entre as pessoas e as tecnologias desenvolvidas no período (MEISTER, 1999). O exemplo clássico do período é o estudo de Fitts e Jones (1947), no qual analisam 460 erros de operação de aeronaves e concluem que esses erros podem ser substancialmente reduzidos pelo projeto e posicionamento dos controles da aeronave de acordo com os requisitos das pessoas.

A origem da disciplina se deu nos países de língua anglo-saxônica: a primeira associação profissional de ergonomia fundada foi a do Reino Unido em 1949 e a *Human Factors and Ergonomics Society* dos Estados Unidos é instituída em 1957 (MEISTER, 1999). Nesse primeiro momento, a disciplina possuía forte proximidade com a psicologia experimental, sendo que sua expansão e consolidação alcança status de um campo do conhecimento interdisciplinar integrando engenharia, segurança e saúde, entre outras áreas.

Em paralelo, na Rússia, o campo da Ergonomia também se desenvolve de forma consistente a partir da Segunda Guerra, tendo o ano de 1967 como marco de criação da ergonomia soviética (MEISTER, 1999). A tradição da ergonomia soviética é pautada na teoria da atividade de Vygotsky, diferenciando-se da abordagem anglo-saxônica (ibid).

A ergonomia francófona constrói, a partir de desenvolvimentos próprios e articulação com as bases soviéticas, uma abordagem pautada no conceito da atividade (DANIELLOU, 2005). Laville (2001) apresenta o desenvolvimento da ergonomia francesa no período pós 2ª Guerra Mundial a partir da confluência de três linhas principais: relacionadas aos efeitos do trabalho na saúde das pessoas, a eficiência do trabalho humano (em geral físico) e a evolução da psicologia do trabalho. Essa confluência propiciou o estabelecimento da ergonomia em países de língua francesa (e.g. França, Suíça, Bélgica).

O desenvolvimento da ergonomia brasileira foi fortemente influenciado pela escola francófona; nos anos 1970 o professor Alain Wisner do *Conservatoire National des Arts et Métiers*, França, formou uma geração de pesquisadores brasileiros que expandiram e desenvolveram a disciplina no país (SOARES, 2006). O presente trabalho subscreve à abordagem teórica da ergonomia da atividade e, portanto, seus conceitos fundamentais são apresentados aqui.

Daniellou e Rabardel (2005) apresentam uma síntese do que o conceito da atividade contempla:

- A atividade é orientada ao objeto para alcançar objetivos;
- A relação entre sujeito e objeto é mediada por dispositivos técnicos, esquemas psicológicos e organização, construídos socio-culturalmente e situados em seu contexto histórico;
- A atividade é sempre única, específica aos sujeitos em dado contexto. As variabilidades inter-individuais, intra-individuais e do próprio sistema produtivo e contexto implicam em um distanciamento entre a prescrição das tarefas pela gestão, na medida em que a atividade é uma resposta específica ao determinado contexto;
- A atividade é impactada pelas experiências de vida do sujeito e, portanto, constantemente revisada e reinvestida.;
- A atividade vai além da relação entre sujeito e objeto, considerando relação com outros sujeitos (presentes fisicamente ou através de sistemas, ferramentas e instrumentos), com regras e procedimentos que mediam a atividade e do próprio sujeito consigo mesmo(a);
- A abordagem da atividade requer que o(a) analista busque compreender como o sujeito constrói sua atividade “de dentro”, demandando, portanto, uma interação entre analista e sujeito;
- A atividade é integradora, articulando os motivos e objetivos do sujeito e diversos determinantes e condicionantes relacionados ao espaço de trabalho ou contexto do sujeito e empresa.

A partir da compreensão e análise da atividade, nos termos expostos acima, no início do século XXI um dos objetivos principais de uma intervenção ergonômica para a ergonomia francófona era a transformação do trabalho para melhoria das condições de trabalho, saúde, bem-estar dos trabalhadores, permitindo que exerçam suas competências

e valorizem suas capacidades ao mesmo tempo em que se alcança os objetivos econômicos da organização (GUÉRIN et al., 2001). Discussões mais recentes sobre o papel da ergonomia (ergonomia construtiva) apontam não somente para a transformação e melhoria das condições de trabalho, mas para a promoção do desenvolvimento: dos trabalhadores, suas habilidades, conhecimentos e saberes e da organização promovendo processos de reflexão para criação de espaços de inovação (FALZON, 2015). A ergonomia e sua relação com a concepção são discutidas no tópico seguinte.

## 2.2. ERGONOMIA E CONCEPÇÃO

A transformação do trabalho no contexto da ergonomia francófona é considerada um processo de concepção, independentemente do seu escopo, seja a compra de um novo equipamento até o projeto de uma planta industrial (GUÉRIN et al., 2001). De forma similar, Dul et al. (2012) reiteram a natureza orientada ao projeto das intervenções ergonômicas em geral.

No âmbito da concepção em ergonomia, surge uma aparente contradição: para projetar a nova situação de trabalho, seria necessário conhecer a atividade de trabalho real, que pode, ou não, existir. Para dar conta dessa realidade particular, o ergonomista-projetista pode valer-se de métodos como o da Abordagem da Atividade Futura (AAF), buscando prever as margens de manobra que o projeto impõe aos modos operatórios futuros e realizar prognóstico dos custos (DANIELLOU, 2007).

A AAF descrita em detalhe por Daniellou (2007), contempla 2 etapas principais: a análise de situações de referência (situações existentes) para a identificação de situações de ação típica que se manterão no sistema futuro; e a simulação da atividade futura com base nas situações de ação típicas identificadas e ferramentas de apoio a simulação (e.g. maquetes, plantas) (JACKSON, 1999). Ademais, verifica-se que é papel do ergonomista promover a participação dos trabalhadores na concepção (ibid.).

Em especial com relação à simulação, Daniellou (2007) sinaliza que o planejamento das simulações está condicionado à disponibilidade dos suportes disponíveis (maquetes em escala, protótipo em tamanho real, plantas, etc.), distinguindo uma simulação de experimentação (em que os sujeitos realizaram os roteiros, possibilitando a análise da atividade durante a simulação) e uma simulação narrativa, em que os modos operatórios são imaginados e discutidos verbalmente.

Nesse contexto, entre os diversos métodos e técnicas empregados nessa disciplina para compreensão e transformação do trabalho, a simulação é frequentemente utilizada

com intuito de permitir maior compreensão da situação e auxiliar no projeto de novas situações (BÉGUIN; WEILL-FASSINA, 2002). Maline e Pretto (1994) discutem o papel da simulação na facilitação da condução de projetos, conceituando a simulação como a “construção de uma representação da realidade de um sistema para compreender seu comportamento futuro”. Os autores ressaltam ainda características recorrentes das simulações como as etapas de análise e modelagem dos dados disponíveis para a criação da simulação, da validação do modelo e do uso de cenários (MALINE; PRETTO, 1994).

O realizar da simulação demanda determinados suportes (MALINE; PRETTO, 1994) ou mídias (ANDERSEN; BROBERG, 2015), que podem ser físicos (rascunhos, plantas 2D, maquetes, modelos 3D em escala ou tamanho real, protótipos, etc.) ou digitais (ambientes virtuais, realidade virtual, simulação humana digital, realidade aumentada, etc.). Torna-se, portanto, de suma importância escolher a mídia adequada para realização das simulações pretendidas para o atingir os objetivos das pesquisas e intervenções profissionais.

A consideração da mídia (ou suportes) de simulação, invariavelmente leva à discussão a respeito do objeto (seja físico ou virtual) em si, que é utilizado no “ato” da simulação e, portanto, no processo de projeto. Bucciarelli (1988), ao analisar o processo de projeto de engenharia, ressalta que o projeto é, em sua essência, um processo social. Na medida em que o projeto não é passível de ser descrito ou definido unicamente, os participantes possuem visões e percepções fragmentadas a respeito do projeto em si, amparadas pelos artefatos, desenhos, planilhas e listas que eles interpretam como o projeto (BUCCIARELLI, 1988).

Outra característica intrínseca do processo de projeto é o envolvimento de diferentes pessoas e participantes (atores) em seu desenvolvimento. Cada participante provém de um “mundo-objeto” – universo da sua especialidade técnica, regida por um determinado conjunto de regras, com linguagem (jargão) próprios, símbolos, metáforas, instrumentos, interesses e preocupações característicos (BUCCIARELLI, 1988). Durante o processo de projeto, os participantes devem transitar entre “mundos-objetos” para efetivamente atingirem o objetivo proposto. No entanto, surge o desafio de se comunicar entre as fronteiras desses distintos mundos, e então o papel dos objetos que fazem essa intermediação – objetos intermediários – toma centralidade (BLANCO; BOUJUT, 2003).

Blanco e Boujut (2003) ainda propõem que os objetos intermediários podem ser entendidos como aqueles empregados no processo de projeto, apresentando 3 características: mediação (utilizados para mediar discussões, incentivar a cooperação e

entendimento entre participantes), transformação ou translação (mudando o estado do projeto em si) e representação (que permitem e limitam os modos de interação com o projeto em si).

Dado esse panorama, evidencia-se o desafio posto ao campo da ergonomia. Por um lado, é necessária a compreensão efetiva de conceitos teóricos, não-triviais, que pretendem contemplar a subjetividade dos sujeitos e contemplar os aspectos da atividade de trabalho em situação. E, ao mesmo tempo, tem-se a necessidade de mobilizar esse processo de geração de conhecimento, de forma articulada aos diversos envolvidos no processo de análise e concepção, em especial os trabalhadores, visando a transformação concreta da situação de trabalho. Tal desafio é vivenciado de forma marcante no contexto do ensino de ergonomia, onde as limitações temporais podem limitar a abordagem dos aspectos teóricos-conceituais em conjunção com aspectos práticos, relacionados a transformação e concepção.

### 2.3. ENSINO DE ERGONOMIA

Em um levantamento recente sobre a oferta de disciplinas relacionadas a ergonomia, projeto, saúde, trabalho e segurança, Paravizo et al. (2021) analisaram as matrizes curriculares de engenharia de produção, mecânica, química, elétrica e civil, de universidades federais brasileiras, identificando uma maior preponderância da oferta de disciplinas na temática em cursos de engenharia de produção. Ademais, dentre as 89 disciplinas encontradas, a ocorrência do termo “ergonomia” no título da disciplina contabilizou 22 ocorrências (15% do total, atrás somente dos termos “trabalho” e “segurança”). Esse levantamento indica a necessidade de uma maior articulação de disciplinas de ergonomia e áreas correlatas aos cursos de engenharia brasileiro.

De forma similar, mas a partir de uma *survey* que coletou planos de ensino de disciplinas de ergonomia de universidades americanas, Garneau e Parkinson (2016) buscaram identificar o grau de discussão de tópicos relacionados a antropometria nas disciplinas. Os autores reportam que, apesar de o tópico “antropometria” ser abordado em 89% das disciplinas analisadas, pouca cobertura é dada às questões de simulação (uso de DHM), e problemas multivariados. Os autores propõem ainda que expor os alunos a problemas reais podem trazer benefícios aos estudantes que se familiarizarão com o uso dessas ferramentas e abordagens (GARNEAU; PARKINSON, 2016).

Reinert e Gontijo (2017) realizaram um estudo empírico visando compreender a incorporação de conceitos de ergonomia à disciplina de projeto e desenvolvimento de

produto (PDP) em universidade brasileira, através de questionário com 148 alunos de engenharia. As autoras identificaram que apenas 29,7% dos respondentes empregavam conceitos de ergonomia na disciplina de PDP e que não havia relação entre uso ou não de ergonomia e as metodologias de PDP empregadas pelos alunos.

Uma pesquisa de satisfação a respeito de disciplina de ergonomia oferecida em curso de desenho industrial em universidade da Turquia, identificou alto grau de insatisfação de discentes com a disciplina, primordialmente devido ao aspecto muito teórico e pouco prático da disciplina (CIFTER; EROGLU; OZCAN, 2013). De forma similar, Page e Stanley (2014) reportam uma transição do modelo de ensino tradicional de ergonomia (tarefas, provas, etc.), em curso de engenharia de produção, para uma modalidade de aprendizado por projeto, em que discentes participavam de projetos reais com instituições da região. As autoras reportam ainda uma melhoria nos resultados relacionados as habilidades técnicas e profissionais do novo formato do curso.

Uma iniciativa similar de reformulação de conteúdo e formato de ensino em disciplina de ergonomia na República Tcheca é apresentada por Bures (2015). Nesse estudo a disciplina de ergonomia tradicional (baseada na memorização de conteúdo, com a figura do docente como detentora do saber que será passado aos estudantes que não têm conhecimento) foi reformulada com base na teoria construtivista, visando a preparação de discentes para cenário de resolução de problemas em ambientes complexos. Assim, a disciplina foi reformulada para conter grande parte de conteúdo de caráter prático, com foco na resolução de projeto prático em ergonomia durante 7 semanas (ibid.).

Também pautada na abordagem construtivista para o ensino de ergonomia e sua relação/natureza projetual, Safin, Pintus e Elsen (2020) estabeleceram um contexto de ensino de ergonomia através de atividade coletiva, baseada em “estúdio” (remetendo aos estúdios de arquitetura e design). A atividade desenvolvida foi um projeto real, para reprojeto de um centro de serviços médicos, colocando estudantes de ergonomia, design de interiores e stakeholders da empresa em processo de co-concepção (ibid.). A abordagem de ensino baseada em “estúdio” também foi aplicada por Moody (2011), reformulando disciplinas relacionadas a ergonomia pautadas em PBL para um contexto com maior interação com instrutores, revisões frequentes e *feedback* dos desenvolvimentos dos estudantes, efetivamente criando um espaço para engajamento ativo dos estudantes com o problema apresentado.

Uma proposição de framework para o ensino de ergonomia pautado em projetos é apresentada por Astolfi et al. (2016), aplicando-a em contexto de ensino de engenharia

de materiais e manufatura em universidade brasileira. A aplicação do framework proposto na disciplina conduzida pelas autoras foi pautada na interação com empresa que apresentou o caso do projeto que deveria ser desenvolvido pelos discentes durante a disciplina. Os resultados dessa iniciativa indicam a evolução das propostas dos estudantes durante o curso da disciplina e do profundo envolvimento e compreensão por parte dos estudantes das necessidades dos usuários e possíveis soluções (ibid.).

Outras iniciativas, pautadas em ferramentas específicas (e.g. protótipos, jogos) também foram verificadas na literatura. A utilização de protótipos em tamanho real em contexto de ensino de longo prazo foi estratégia empregada por Wanberg, Caston e Berthold (2019) para abordar a temática de antropometria e uso de dados demográficos no processo de projeto de produtos. Rebelo e Filgueiras (2012) reportaram o uso de um jogo digital para ensino de conceitos e relacionados a ergonomia (manuseio de carga, trabalho sentado) com foco na sensibilização de crianças e adolescentes de 8 a 14 anos de idade a essa temática. Paravizo e Braatz (2017) reportam um workshop com foco no ensino de ergonomia e projeto, utilizando estratégias de gamificação (como rodadas, tabuleiro de jogo, ambiente virtual, etc.) como atividade prática de ensino da temática. Mayer et al. (2021) descrevem o desenvolvimento de uma aplicação de realidade virtual, baseada em GE, para o ensino de ergonomia (com foco na configuração de posto de trabalho).

O reduzido número de relatos a respeito do ensino de ergonomia encontradas apontam um estado inicial que tende a ser pautado em estratégias tradicionais de ensino (exposições orais, avaliações, memorização) e que pesquisadores identificam essa situação como passível de ser melhorada. Entre as estratégias para aprimorar o processo pedagógico de ergonomia figuram as abordagens baseadas em problemas, projetos e estúdio, além de desenvolvimento de atividades pontuais e jogos. A seção seguinte se aprofunda na discussão da utilização de jogos em contextos de ensino.

#### 2.4. APRENDIZADO BASEADO EM JOGOS

Considerando a importância dos objetos intermediários no contexto do projeto, a segunda base teórica fundamental do presente estudo tem como foco a utilização de jogos enquanto intermediários no processo de aprendizagem, ou ainda, o aprendizado baseado em jogos (do inglês, *game-based learning*). O interesse no papel que os jogos desempenham para a aprendizagem remonta ao início do século XXI com destaque para a discussão trazida por Gee (2003) que aponta um total de trinta e seis princípios de

aprendizagem que estão intrinsecamente relacionados a jogos (e.g. agência e aprendizado crítico, prática - incentivada e não maçante, recorte – situação de jogo simplifica e apresenta recorte da situação real, etc.).

A definição adotada aqui para aprendizado baseado em jogos é baseada em Qian e Clark (2016):

“a aprendizagem baseada em jogos descreve um ambiente no qual conteúdo e ações do jogo aumentam a aquisição de conhecimento e habilidades e, no qual as atividades do jogo envolvem espaços de resolução de problemas e desafios que dão aos jogadores/estudantes um sentimento de realização” (QIAN; CLARK, 2016).

É importante precisar as terminologias recorrentes nessas discussões, em especial gamificação e *game design*. A gamificação é uma estratégia de promoção de engajamento que se utiliza de elementos de jogos (e.g. pontos, emblemas, *rankings*, colaboração/competição, etc.) em contextos sérios, i.e. que não são jogos (WERBACH; HUNTER, 2012). Exemplos cotidianos da gamificação vão desde os avatares e interações promovidas no aplicativo de rotas Waze até as estratégias de pontuação e progressão no aplicativo de ensino de línguas Duolingo.

Pesquisadores em áreas relacionadas à engenharia de produção se utilizam da gamificação em uma série de contextos, como por exemplo na adoção de práticas/modelos de servitização (SHI et al., 2017), negócios e gestão (WANICK; BUI, 2019) e ensino/aprendizagem de manufatura sustentável e indústria 4.0 (DESPEISSE, 2018b; PARAVIZO et al., 2018).

Em seu livro sobre a aplicação da gamificação em contextos de negócios, Werbach e Hunter (2012) apresentam uma hierarquia dos elementos de jogos que podem ser empregados. Segundo os autores essa hierarquia é composta pelas dinâmicas (aspectos de alto nível do sistema gamificado que guiam seu desenvolvimento), mecânicas (processos básicos que promovem o engajamento das pessoas e geram um sentimento de evolução) e os componentes que são aspectos pontuais que implementam as mecânicas e dinâmicas. Werbach e Hunter (2012) listam ainda alguns exemplos de dinâmicas (narrativa, relacionamento, etc.), mecânicas (desafios, competição, turnos, cooperação, sorte, etc.) e componentes (avatares, *rankings*, desafios, emblemas, pontuação, etc.) que podem ser incorporados em sistemas gamificados.

Por outro lado, o *game design* é o campo do conhecimento que discute o processo de concepção e desenvolvimento de jogos, sendo que o objetivo primário de um jogo é a

diversão dos jogadores. Schell (2014) apresenta em seu livro uma série de lentes pelas quais se pode analisar e compreender o processo de desenvolvimento de jogos.

Para o autor, 4 elementos básicos são articulados no desenvolvimento de jogos: as mecânicas (relacionadas às regras e processos do jogo que apresentam as possibilidades de jogabilidade aos jogadores), a narrativa (contemplando a história e sequência de eventos que se desenrolam no jogo), a estética (associada aos aspectos visuais, sonoros, táteis e até mesmo sentimentais relacionados ao jogo) e a tecnologia (materiais físicos ou softwares usados para o desenvolvimento e uso de fato do jogo).

Dado o potencial de engajamento que jogos apresentam, pesquisadores investigam seu uso enquanto ferramenta no processo de ensino/aprendizado, conforme discutido por Gee (2005). Nesse contexto, é cunhado o termo *serious games*, jogos cujo objetivo principal não é a diversão, mas sim a transmissão de algum conhecimento ou formação dos participantes (USKOV; SEKAR, 2014).

Cabe ressaltar que o processo de *game design* (seja orientado à diversão ou objetivos de aprendizado) visa obter um jogo completo, que proporcione uma experiência planejada e com temporalidade específica aos jogadores. Tal objetivo difere da gamificação na medida em que seu resultado é a aplicação das mecânicas de jogo em um sistema que não é um jogo em si (como, por exemplo, os aplicativos gamificados Waze e Duolingo).

Considerando-se o desenvolvimento de jogos e estratégias de gamificação, pode-se buscar uma apropriação das ferramentas e técnicas comumente usadas nessas situações para criação de AVs com objetivos de aprendizado.

## 2.5. GAME ENGINES

O uso de GE para criação de AVs pressupõe que um ambiente virtual pode ser um objeto intermediário empregado enquanto mídia (suporte) de simulação. Assim, surge o interesse de investigar sistematicamente essa tecnologia enquanto ferramenta para prática profissional e científica no campo da EHF.

A conceituação de GE é apresentada por Lewis e Jacobson (2002) como módulos pré-programados e reutilizáveis de *input* (interpretação do hardware como teclado e mouse), renderização 3D/2D, sons e física do jogo. Atualmente, as GEs vão além do desenvolvimento de jogos. São plataformas que possibilitam criação de visualizações arquitetônicas; aplicações de engenharia, manufatura e treinamento; produções cinematográficas, entre outras aplicações. Entre as funcionalidades existentes nas GEs

que auxiliam o desenvolvimento de ambientes virtuais figuram ferramentas de edição de terrenos, iluminação e sombras em tempo real; criação e animação de personagens (incluindo integração a sistemas de captura de movimentos); suporte a diferentes modos de interação (e.g. RV/RA, Kinect); alto realismo visual (renderização do tipo “*ray tracing*” em tempo real); suporte a diversas plataformas (desde computadores e consoles até dispositivos móveis e em *browser*) e a ambientes multiusuários<sup>3</sup>.

Para o presente estudo, as GEs são o meio – a plataforma através da qual pessoas podem desenvolver ambientes virtuais. Os AVs são a ferramenta de interesse para aplicação – seja para a análise de situação de trabalho, projeto de situação futura, ou como jogo educacional. As particularidades das GEs que motivam um estudo detalhado sobre seu potencial para criação de AVs é aprofundada no Artigo 3.

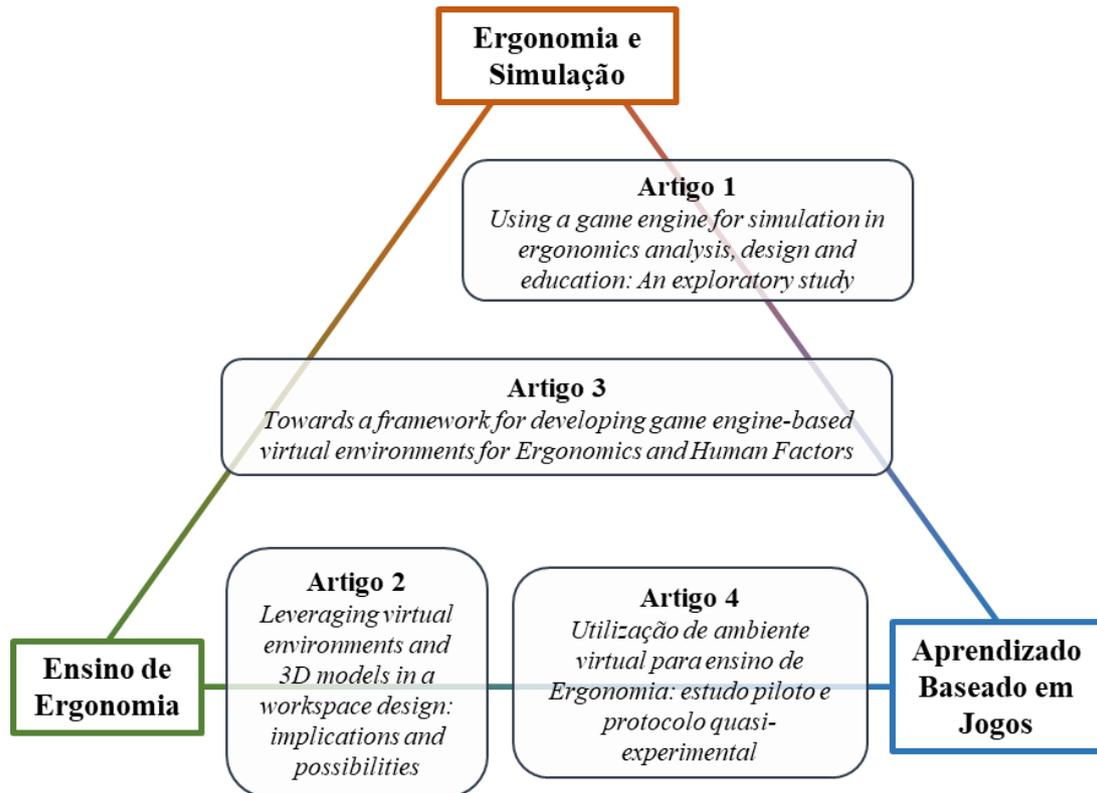
Assim, a pesquisa proposta pretende expandir e aprofundar a compreensão dos benefícios e limitações do uso dessa ferramenta para criação de ambientes virtuais, alinhados com os princípios da aprendizagem baseada em jogos, para o ensino de ergonomia.

Conforme discutido no início da seção, as questões apontadas aqui são uma síntese do referencial teórico que perpassa o desenvolvimento da dissertação e seus artigos. Cada artigo aborda em maior profundidade suas bases teóricas. Naturalmente, os artigos propostos mobilizam em maior ou menor grau os campos teóricos apresentados, sendo essa configuração ilustrada na Figura 3. As seções seguintes apresentam os artigos apresentados para a presente dissertação.

---

<sup>3</sup> Para maior compreensão da amplitude das aplicações de GE sugere-se visitar os sites da Unreal Engine: [www.unrealengine.com](http://www.unrealengine.com) e Unity: [www.unity.com](http://www.unity.com).

**Figura 3** – Posicionamento dos artigos da dissertação com base no referencial teórico mobilizado



### **3. ARTIGO 1 – “USING A GAME ENGINE FOR SIMULATION IN ERGONOMICS ANALYSIS, DESIGN AND EDUCATION: AN EXPLORATORY STUDY”**

Artigo publicado na revista Applied Ergonomics, v.77, p. 22 - 28, 2019. Disponível pelo DOI <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.01.001>. Abstract apresentado abaixo e artigo disponibilizado no Apêndice 1. Download direto [clikando aqui](#).

#### **Abstract**

Among the possible approaches for building virtual environments (VE), researchers have recently started employing game engines (GE). Although there are already studies reporting the usage of GE-based VEs, their potential for supporting a more comprehensive workspace analysis (considering the physical, organizational and cognitive aspects of work) has yet to be better understood. The main goal of this paper is to investigate how a GE-based simulation of a real workplace (a local control room in an oil refinery) can be used as a tool by practitioners and researchers in evaluating work conditions. Participants (n=38) were recruited to explore the simulation and evaluate the workplace dimensions represented. A comparison between the scores participants attributed to the work dimensions and the scores assigned by the ergonomics consultant was performed through a statistical test to verify whether they significantly differed or not. Out of the 10 aspects evaluated, only 3 presented significant differences, thus showing that GE suitability for ergonomics analysis is conditioned to the aspects represented. Qualitative data analysis highlighted participants' perception of GEs potential as an analysis and educational tool, as well as a medium for fostering communication and stakeholder involvement in the design process.

#### **4. ARTIGO 2 – “LEVERAGING VIRTUAL ENVIRONMENTS AND 3D MODELS IN A WORKSPACE DESIGN: IMPLICATIONS AND POSSIBILITIES”**

Artigo publicado nos anais da 26th EurOMA Conference – Operations Adding Value to Society. p. 1 - 7, 2019. Artigo apresentado no Apêndice 2. Download direto [clikando aqui](#).

##### **Abstract**

This paper presents the initial test of two Virtual Environments (VE) and 3D models as learning tools for workspace design education. A quasi-experiment was designed in which 27 students were assigned to one of four groups (control, physical, digital, physical and digital) and were prompted to read a case and design improvements proposals with the materials available to them. Results showed no significant differences among the groups, which could be partially due to the experiment setting, since participants comments highlight, they greatly appreciated the VEs and the activity in general, due to its practical, reality-based and teamwork nature.

## 5. ARTIGO 3 – “TOWARDS A FRAMEWORK FOR DEVELOPING GAME ENGINE-BASED VIRTUAL ENVIRONMENTS FOR ERGONOMICS AND HUMAN FACTORS”

Artigo submetido para publicação na revista *Applied Ergonomics* (confirmação de submissão no Apêndice 3).

### **Towards a framework for developing game engine-based virtual environments for Ergonomics and Human Factors**

**Abstract.** Game Engines (GEs) are digital platforms that support the development of 3D games and applications as well as virtual and augmented reality applications. Scholars in the ergonomics and human factors (EHF) field have shown a growing interest in GEs' utilization in several contexts and with diverse goals, including for the analysis and design of workspaces as well as education and training initiatives across many industries. A systematic literature review enabled analyzing current trends, challenges, opportunities, and methods for employing GEs in EHF processes. From this analysis, we identified a lack of a systematic method to enable GE-based VE development, which led to the proposal of a framework for the creation of such VEs for EHF applications. The framework is presented in detail, and the implications for both EHF practitioners and researchers and VE users are discussed. The proposed framework is a necessary step for streamlining the incorporation of these powerful tools into the EHF tools and methods.

**Keywords:** Game Engines, Simulation, Virtual Environments, Framework, Systematic Literature Review.

### **1. INTRODUCTION**

Simulation – in its many shapes and forms - is an intrinsic aspect of Ergonomics and Human Factors (EHF) research and practice. Researchers have long employed simulation for assessing biomechanical aspects of work postures (CAPUTO et al., 2019; ZHOU et al., 2016), designing future workstations and workplaces (ANDERSEN; BROBERG, 2015; AZIZI; GHAFORPOOR YAZDI; HASHEMIPOUR, 2018) organizational and managerial simulation (VAN BELLEGHEM, 2019), product evaluation (AROMAA; GORIACHEV; KYMÄLÄINEN, 2020; PARK; REED, 2019) and in educational and professional-training contexts (LANZOTTI et al., 2019; MCNAMARA; PROETSCH; LERMA, 2016).

The studies employing simulation activities have been conducted across a multitude of fields such as healthcare (ANDERSEN; BROBERG, 2015), maritime industry (BLIGÅRD; BERLIN; ÖSTERMAN, 2018), manufacturing (AZIZI; GHAFORPOOR YAZDI; HASHEMIPOUR, 2018) and aviation (BERNARD et al., 2019), to cite a few. The variety of existent simulation media, both physical and digital,

is also noted highlighted by several authors (ANDERSEN; BROBERG, 2015; BLIGÅRD; BERLIN; ÖSTERMAN, 2018; DANIELLOU, 2007b; HETTINGER et al., 2015).

Within the broad theme of simulation in EHF, in this paper, we focus on digital simulations that employ virtual environments (VEs). The discussion of VE use in EHF is a longstanding one. Wilson (1999) defines a VE as *a computer-generated, three-dimensional model where participants and users are able to freely and intuitively interact in real time with the environment and objects present in it, having a feeling of presence in the VE*. Early VE solutions presented were usually built from scratch focusing on collaborative design and training (Wilson, 1999; Wilson and D'Cruz, 2006).

When discussing VEs, several nomenclatures such as virtual reality (VR), augmented reality (AR) and mixed reality (MR) are frequently used. A "virtuality continuum" where VEs are positioned along a continuous axis from the completely virtual (virtuality), incorporating the fully immersive head-mounted displays (HMD), to the completely real (reality), which can be augmented with varying levels of digital inputs and virtual representations, is proposed by (MILGRAM; KISHINO, 1994). In this paper we follow Wilson's (1999) definition of VEs considering VR and AR as subsets of VEs that have particular modes of interaction (such as head-mounted displays – HMDs or CAVE settings for VR and mobile-based visualization or AR glasses for AR).

### 1.1. GAME ENGINES OVERVIEW

While different approaches can be realized for creating VEs, Game Engines (GEs) provide an alternative approach, by tapping into resources largely developed and employed in the games industry for achieving high-end graphics and to speed up the games design process (WESTHOVEN; ALEXANDER, 2015).

The origins of GEs date back to the mid-1990s within the context of the development of the "first-person shooter" (FPS) genre, with the separation of games' core functionalities from the gameplay, 3D models and characters (GREGORY, 2018). This characteristic raised scholars' interests as early as in 2002 when Lewis and Jacobson (2002) discussed GE potential for research activities.

The technical aspects of GE architecture are discussed in depth by Gregory (2018). Among those, the core features of GEs that enable VE creation are related to collision and physics, human interface devices, low-level and game-specific rendering, skeletal animations, gameplay foundations and game specific subsystems.

There is a significant number of GE solutions available such as Unity (Unity Technologies), Unreal Engine (Epic Games), CryEngine (Crytek), GameMaker Studio (YoYo Games), and Construct 2 (Scirra Ltda), to cite a few. For this study, we work under the premise that EHF VE applications are 3D environments in which different modalities of interactions (e.g., VR/AR) must be supported. Thus, exclusively 2D focused engines such as GameMaker Studio and Construct 2 would not be suitable for creating EHF-focused VEs.

From this overview, the definition of GE undertaken for this study builds from that of Lewis and Jacobson (2002) and from the technical aspects discussed by Gregory (2018), considering them as *cross platform software solutions, congregating a variety of underlying systems and modules (from low level hardware and operational system interface to high level gameplay and content editing) that enable a faster and easier development of custom VEs.*

## 1.2. GAME ENGINES IN EHF

The use of GEs to create VE in the EHF field is reported in a series of studies. Gaisbauer et al. (2018) report a combined use of a GE and a DHM tool to develop assembly tasks simulation, improving realism and incorporating the specialized aspects of the DHM into the GE-based VE. Park and Reed (2019) used a GE to create a mobile AR application to assess vehicle occupant accommodation, with results opening up possibilities for interaction analyses between digital manikins and physical objects. For the assessment of reach, visibility and tools usage in virtual prototyping processes, Aromaa and Väänänen (2016) employed both VR and AR applications built in a GE.

GEs have also been used for control room design (Zamberlan et al., 2012) and operational simulation in nuclear industry (GATTO et al., 2013b). Lanzotti et al. (2019) present a combined use of CAD, DHM and GE for the development of an ergonomics training tool. Other studies highlight the potential of GE for training such as the reported by Aziz et al. (2015) which employed a GE for assembly tasks training and Passos et al. (2017, 2016) where GE was used for security agents training in big events.

Other applications of GEs are seen during design processes. For instance, Madni (2015) employed a GE for fostering stakeholder involvement in system engineering design through storytelling in VEs. Hjelseth et al. (2015) used GE for design and simulation in the maritime sector, highlighting GE value as a design tool to model user

scenarios in complex systems and in fostering convergence in conceptual phases of design.

In a recent study, Paravizo and Braatz (2019a) discuss three GE-based VEs, summarizing the main affordances GEs bring to EHF analysis, design and education. These affordances include the high-quality graphics 3D environments created, the real-time nature of GE-based VEs, the agency concept (where the user is the agent of exploration, being able to freely explore and interact with the objects and environments), the support for custom digital human manikins, the possibility of implementing simulation routines, the multitude of possible interactions to be implemented and finally the support for deploying VR and AR applications.

Nonetheless, despite its relatively widespread use and growing interest from researchers in GEs for developing VEs in EHF, there is still no systematic framework or method that can help researchers and practitioners to realize GEs potential for EHF applications.

### 1.3. STUDY GOAL

This paper aims to contribute toward a framework for systematizing the development of GE-based VEs for EHF. To that extent, we perform a systematic literature review focusing on studies reporting the use GEs to develop EHF-focused VEs. From the review results we synthesize the core features of reported VEs, highlighting the steps undertaken by researchers to build the VEs. This analysis subsidizes the creation of the proposed framework.

This paper is structured as follows: Section 2 details the method employed for the literature review and papers analysis. Section 3 presents the results from the literature review. In Section 4 we propose the framework for GE-based VE design. Section 5 discusses the framework, and the main findings of the literature survey and section 6 draws conclusions indicating possible avenues for future studies and the limitations of the paper.

## 2. METHODOLOGY

To achieve the goal of his paper we conducted a systematic literature review. A combination of quantitative and qualitative data analysis approaches was employed to provide an in-depth understanding of GE use cases distribution. The quantitative analysis comprised aspects of publication year and publication outlet, whereas the qualitative

analysis aimed to identify the related EHF domains, the industries in which VEs for EHF were employed, the focus of the VE application and other relevant aspects of the VE development and use processes for developing a coding scheme for the literature analysis.

## 2.1. LITERATURE SEARCH METHOD

The literature search aimed to identify how GEs are being employed in EHF to create VEs. To investigate that, two sets of keywords were defined, one focusing on GE and VE related terms and the other on EHF-related terminology. The definition of the search string combined those keywords to ensure that a broad, yet within-scope, review could be performed. As such, the string for database search was defined as: *("ergonomics" OR "human factors") AND ("game engine" OR "virtual environment" OR "virtual reality" OR "augmented reality" OR "mixed reality")*). Two databases of scientific articles were searched for the string: Scopus and Web of Science. Additional criteria for the database search included papers' publication year (last 10 years, due to the rapidly evolving nature of the technological solutions analyzed) and only peer-reviewed journal articles were searched for so that we focused on high-quality studies with significant contributions.

## 2.2. REVIEW PROCEDURE

The review procedure followed the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis – PRISMA (MOHER et al., 2009) which aims to ensure transparency and consistency when carrying out and reporting of review results. This procedure can be easily customized to fit the particularities of the current study, especially in terms of the relevance criteria established for this research. The overall PRISMA flowchart of the study is shown on Figure 1.

The combined search of the databases yielded 837 papers matching the specified criteria. Since there is an overlap in terms of the journals indexed by the databases, duplicate papers were removed resulting in 571. Then, papers without digital object identificatory (DOI) were removed from the dataset as we considered it a proxy for paper availability. Thus, the total of papers eligible for screening was 546.

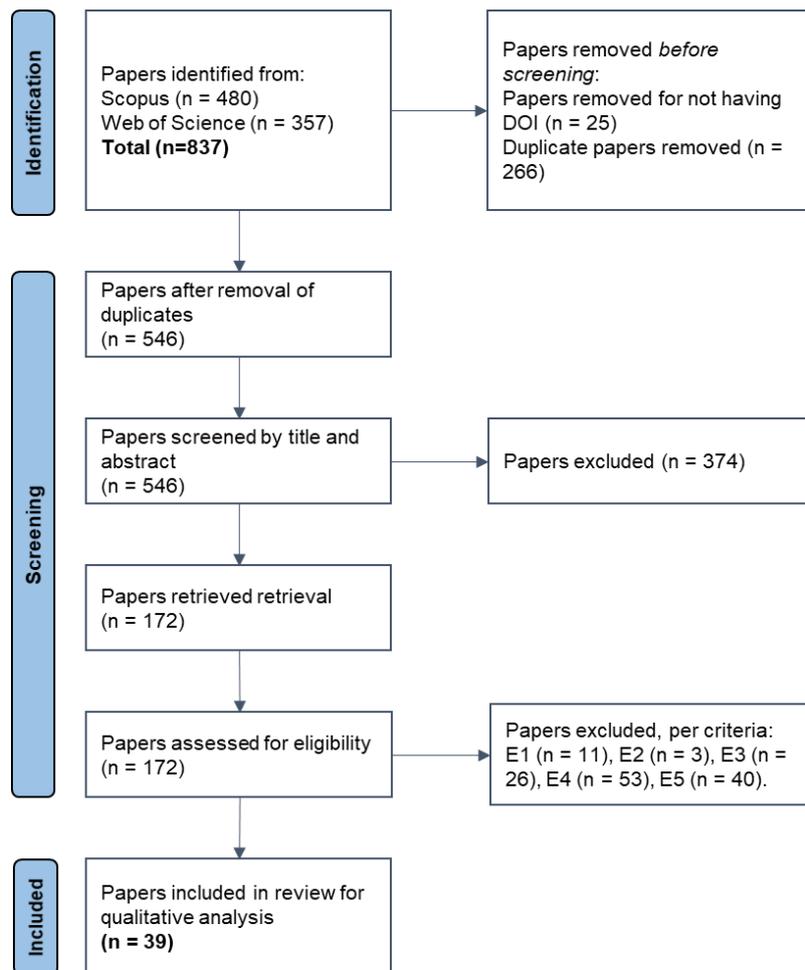
In sequence, the first screening comprised exclusion of papers that did not report studies focusing on GE-based VEs for EHF. After this initial screening, 374 papers were removed from the interest pool. The remaining 172 papers were retrieved from online repositories and databases through institutional access granted from the authors'

institution. The final screening step assessed papers' eligibility based on their title, abstract and conclusion, considering the exclusion criteria synthesized on Table 1. The final 39 relevant documents were read in full and analyzed qualitatively as will be described in the following section.

**Table 1 - Synthesis of exclusion criteria for studies' screening**

Code	Exclusion criteria	Example papers excluded
E1	Paper focused on the evaluation of EHF of VEs.	Papers employing EHF tools and methods to assess the comfort of an HMD application.
E2	Paper focused on healthcare simulations.	Papers assessing EHF aspects of surgical simulators.
E3	Paper did not focus on GE-based VEs.	Papers discussing use traditional virtual learning environments (e.g. Moodle).
E4	Paper focused on traditional DHM.	Papers employing VR application using Jack software.
E5	Paper reported VE creation from scratch.	Papers that did not employ GE to create VEs.

**Figure 1 - PRISMA Flowchart of the review process**



### 2.3. DATA ANALYSIS

The quantitative focused analysis was performed in Excel, focusing on understanding the interest evolution on the topic of GE-based VEs for EHF and in the mapping of the journals where this research was usually published. On the other hand, to analyze how researchers are employing GEs in EHF a qualitative analysis of the material was performed using Atlas.ti 9 software.

The qualitative process carried out followed the template analysis coding process (BROOKS et al., 2015). In this process we use an initial template with a defined coding hierarchy based on relevant literature (Table 2). The overall coding process followed Thomas (2006) inductive approach for qualitative data analysis, so that recurring themes could naturally emerge from the data. During the coding process new subcategories emerged. Finally, the coding was reviewed across the publications and the main findings were summarized as shown in Section 3.

**Table 2 - Summary of the initial coding template employed in the data analysis.**

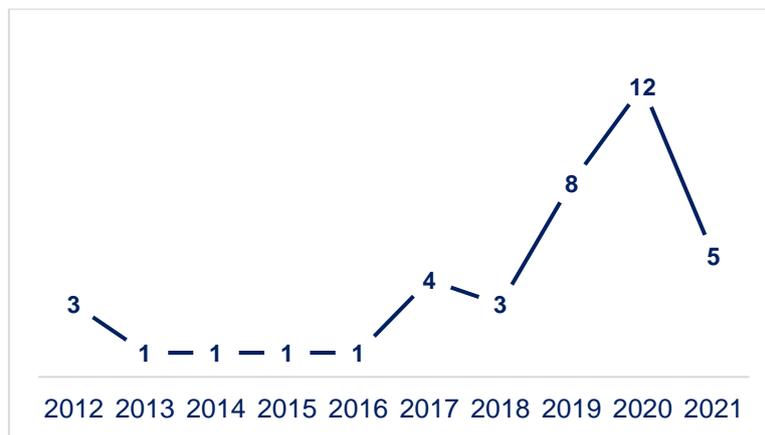
<b>Categories</b>	<b>Subcategories</b>	<b>Source</b>
<b>Industry</b>	Aerospace; Agriculture; Building, Construction and Architecture; Manufacturing; Mining; Nuclear; Robotics; Shipbuilding; Transport	Based on IEA Technical Committees
<b>EHF Domains</b>	Cognitive; Organizational; Physical	Based on IEA EHF domains and Kadir et al. (2019)
<b>Type of Application</b>	AR; VR; Mixed; VE	Based on overall literature on the theme, following the definitions presented earlier
<b>Objective</b>	Study Goal; VE Goal; Focus	Based on Wilson (1997)
<b>Software</b>	GE Used; Support Software; Additional Software	Based on overall literature on the theme
<b>Hardware</b>	Enabler Device; Interaction Device	Based on overall literature on the theme
<b>Participants</b>	Users; Developers	Based on Wilson (1997)
<b>Technology Choice</b>	GE-related Reasons; Interaction Type Reasons	Based on Wilson (1997)
<b>Challenges</b>	Limited animations: Time Required for 3D Modelling; VE Less Precise	Based on overall literature on the theme
<b>Benefits</b>	Avoiding Design Errors; Better Communication Among Stakeholders; Engaging users; Improved Workspace Design; Interface with Traditional Software	Based on overall literature on the theme
<b>Features</b>	Emergency Simulation; Possible Future Improvements; Input User Data; Integration with Other Software; Interaction with VE; Layout Evaluation; Direct Measurements in the VE; Multiuser Interaction; NPC Interaction	Based on overall literature on the theme
<b>Design Method</b>	Overall; VE	Based on Wilson (1997)

<b>Evaluation</b>	Comparison with other Methods; Comparison with Real Situation; Completion Time; User Errors; User Questionnaire	Based on overall literature on the theme
<b>VE Application Procedure</b>	Duration; Familiarization; Instructions; Repetition	Based on overall literature on the theme

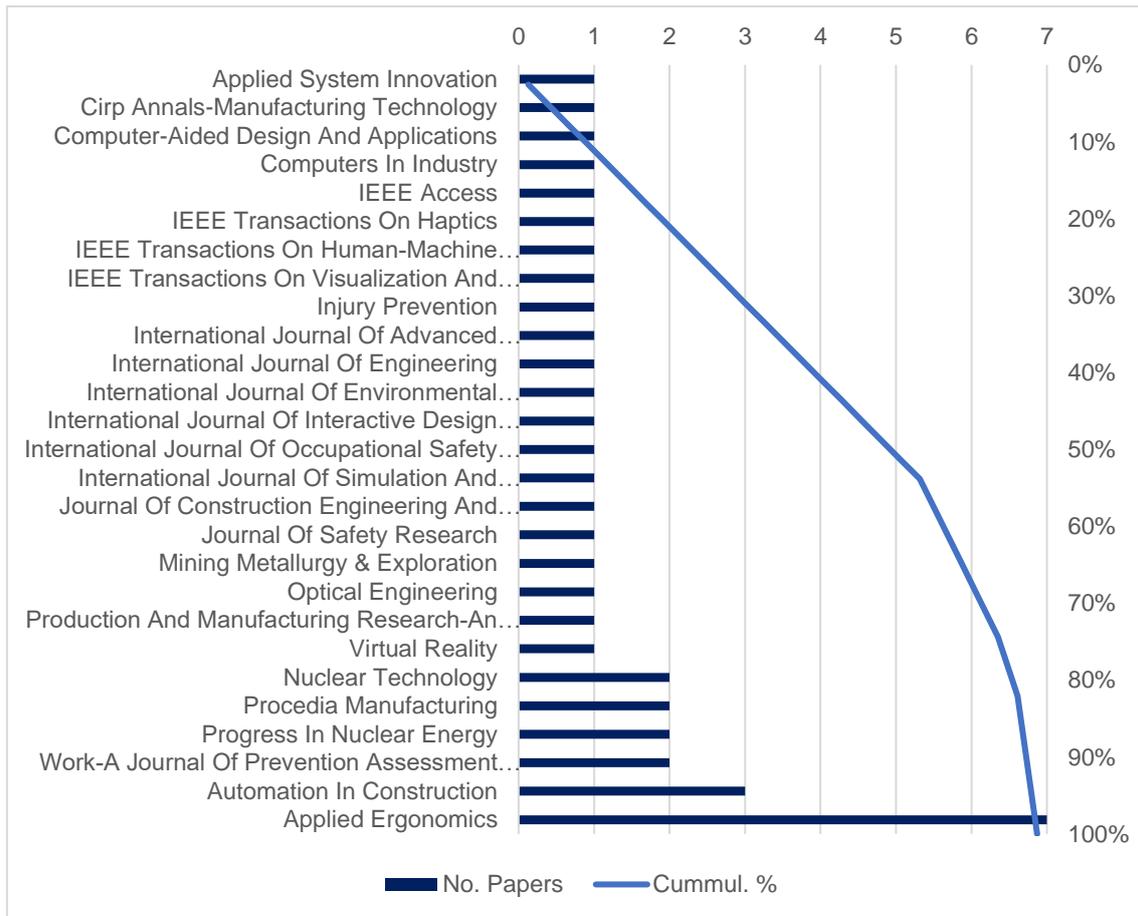
### 3. RESULTS

The focus of the quantitative data analysis was to uncover the overall evolution of the interest on GE-based VEs for EHF. Figure 2 shows the distribution of the reviewed papers per publication year. Although the literature search was performed in the first semester of 2021, it is clear the crescent interest on GE-based applications for EHF. Additionally, a synthesis of the publication outlets of the papers analyzed is presented in Figure 3.

**Figure 2 - Distribution of reviewed papers' publication year**



**Figure 3 - Reviewed papers' outlets distribution**



A core aspect of the qualitative analysis was the categorization of the papers in terms of the industry targeted, the EHF domain focused and the type of application, as shown in Table 2. Each paper was codified only once in terms of these categories and the results are in Table 3. For the type of application, Aromaa and Väänänen (2016) employed both AR and VR applications which lead to the sum of 40 occurrences. The distribution of the papers in each of these 3 main categories is presented in detail summarized in Table A.1 in the Appendix.

Overall, these results highlight the increasing interest of GE-based VEs for EHF applications, not only in manufacturing contexts, but also in safety critical industries as construction, nuclear and oil and gas. Furthermore, most applications developed employed were based on VR interactions (i.e., using immersive HMD or CAVE setups).

**Table 3 - Synthesis of Industry focused, EHF domains and type of application of the papers analyzed**

<b>Category</b>	<b>Subcategory</b>	<b>No. occur.</b>	<b>% occur.</b>
<b>Industry</b>	Manufacturing	13	33,3%
	Construction and Architecture	6	15,4%
	Nuclear	5	12,8%
	Oil and Gas	4	10,3%
	Transport	4	10,3%
	Aerospace	2	5,1%
	Mining	2	5,1%
	Other	3	7,7%
	<i>Total</i>	<i>39</i>	<i>100,0%</i>
<b>EHF Domains</b>	Physical	20	51,3%
	Cognitive	17	43,6%
	Organizational	2	5,1%
	<i>Total</i>	<i>39</i>	<i>100,0%</i>
<b>Type of Application</b>	VR	25	62,5%
	VE	7	17,5%
	AR	6	15,0%
	Mixed	2	5,0%
	<i>Total</i>	<i>40</i>	<i>100,0%</i>

### 3.1. RESULTS FROM THE QUALITATIVE DATA ANALYSIS

This section reports in detail on the results from the coding to the remaining categories, providing an overview of the coding frequency and the core findings that support the framework development and discussion.

#### 3.1.1 Objective Category

In this category the overall goal of the papers and the VEs reported was analyzed. The goal of the VEs is further detailed in Analysis (when the VEs were designed to support the evaluation of EHF aspects), Design (when the VE was created to support design activities), Education and Training (when the VE aimed to develop skills and knowledge in EHF) and Operational Aid (when the VE was created to assist workers in their work tasks). All papers explicitly reported their Study Goal and VE Goal subcategories. Results for the coding of this category is summarized in Table 4.

#### 3.1.2 Software Category

This category enables the understanding of what are the most recurrent software and GEs employed in VE development for EHF. The subcategories comprised Additional Software, GEs Used and Support Software. The coding summary for this category is

shown in Table 4. This analysis showed that the GE Unity is the most popular solution for VE design for EHF being employed by 29 studies (74,4%) and Unreal Engine (5; 13%) being far less popular, but still significantly employed.

**Table 4 - Synthesis of objective, software and hardware categories**

<b>Category</b>	<b>Subcategory</b>	<b>Codes</b>	<b>No. occur.</b>	<b>% occur.</b>	
<b>Objective</b>	Focus	Analysis	20	51,3%	
		Design	10	25,6%	
		Education and Training	7	17,9%	
		Operational Aid	2	5,1%	
		<i>Total</i>	<i>39</i>	<i>100,0%</i>	
<b>Software</b>	GE Used	Unity	29	74,4%	
		Unreal Engine	5	12,8%	
		Other	5	12,8%	
		<i>Total</i>	<i>39</i>	<i>100,0%</i>	
	Additional	DHM	9	33,3%	
		Scripting Tools	9	33,3%	
		Data Collection	7	25,9%	
		Other	2	7,4%	
		<i>Total</i>	<i>27</i>	<i>100,0%</i>	
	Support Software	CAD	18	66,7%	
		BIM	2	7,4%	
		Other	7	25,9%	
		<i>Total</i>	<i>27</i>	<i>100,0%</i>	
	<b>Hardware</b>	Interaction Devices	VR Headset and Controller	22	36,1%
			Mocap	10	16,4%
Joystick			7	11,5%	
3D Projector			6	9,8%	
3D Glasses			3	4,9%	
Hand Tracking			3	4,9%	
Specific Controller			6	9,8%	
AR Glass			2	3,3%	
Other			6	9,8%	
<i>Total</i>			<i>61</i>	<i>100,0%</i>	

### 3.1.3 Hardware Category

This category aimed to identify the hardware devices employed for supporting and interacting the GE-based VEs. The category was subdivided in Enabler Devices (reported 19 times, focusing on required hardware to run the VEs) and Interaction Devices ranging from VR headsets to joysticks and Mocap systems. The coding results for this category are summarized in Table 4.

The most striking feature of this analysis is the diversity of interaction devices that can be employed in the context of GE-based VEs. This variety is supported by the GEs functionality that enable multi-interaction support as an off-the-shelf feature. VR headsets

and controllers were the go-to choice, either as the main interaction device, e.g. in Liu et al. (2021), or in combination with other mocap or hand tracking systems (e.g. Leap Motion) as reported in Geiger et al. (2020).

Finally, in terms of computer hardware requirements, the enabler device category highlighted the technical needs of computers and workstations that are employed for developing and running GE-based VEs. These applications, especially the VR environments, usually require dedicated graphics cards, high-end processors, and good RAM memory availability. While not prohibitively expensive, such hardware is not necessarily cheap, which is a factor that should also be considered in GE-related decisions.

#### **3.1.4 Participants Category**

In terms of the participants category, the initial idea was to gather insight on the developers and users of the VEs. However only Havard et al. (2019) explicitly mentioned the developers of the VE – "Virtual Reality and IT engineers". In terms of the users, both students and workers took part in using and testing the VEs reported in the literature analyzed. A few particularities of the studies were identified: some papers reported running a pilot study with a participant group and the actual intervention with another group, e.g. (ERNST et al., 2019).

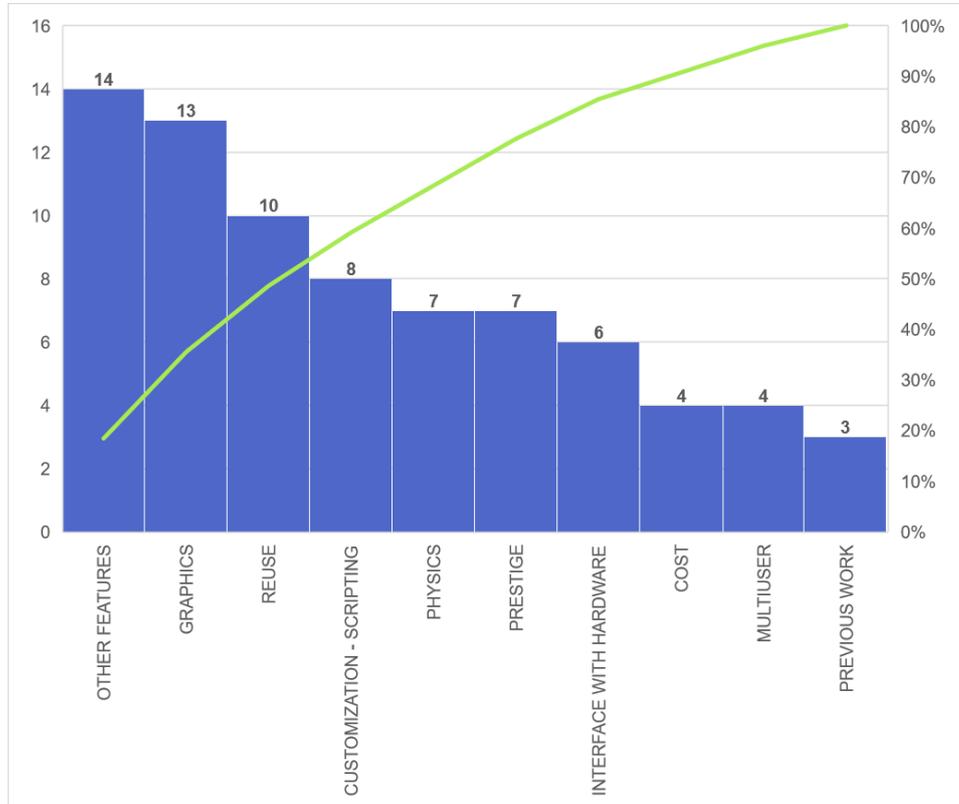
The coding of this category also enabled the identification of researchers' concerns related to participants' demographics (age, sex, etc.), eyesight condition (color blindness, use of corrective lenses), experience (both with games, VEs and interaction devices) and background (students, workers, etc.).

#### **3.1.5 Technology Choice Category**

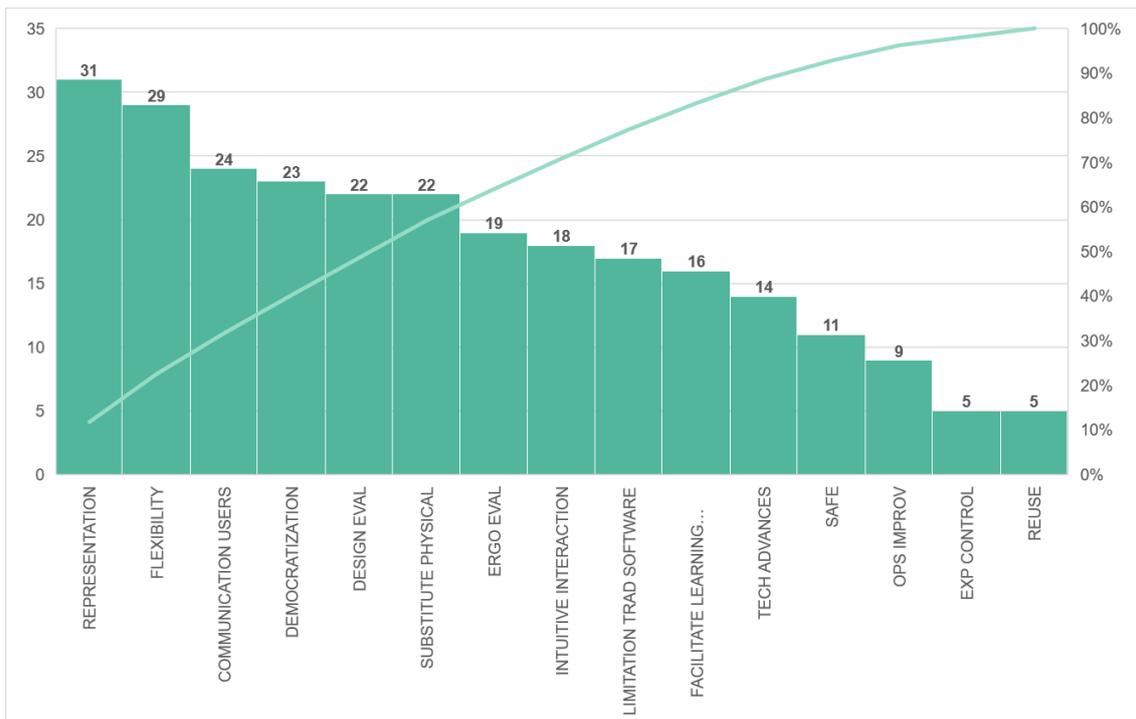
Findings from the technology choice category were crucial to achieve a better understanding of the rationale behind researchers' decisions to use their GE of choice and the interaction type decided for their VE. For GE choice, graphics capabilities were the most recurrent reason, followed by the reuse and customization/scripting possibilities offered by the GEs and low development costs. Other features included the ability to add advanced audio features and multimedia content in the VE, customization of the engine itself, a large and active user base and community, among others. Similarly, the decision for employing the interaction forms for the VEs (VR, AR, etc.) revolved around the need for realistic representation, the flexibility of the applications designed, and expected

benefits for communication among users. Figure 4 provides a summary of codes occurrences for GE choice and Figure 5 for the VE interaction type decision.

**Figure 4 - Summary of codes frequencies for GE choice**



**Figure 5 - Summary of codes frequencies VE interaction decision**

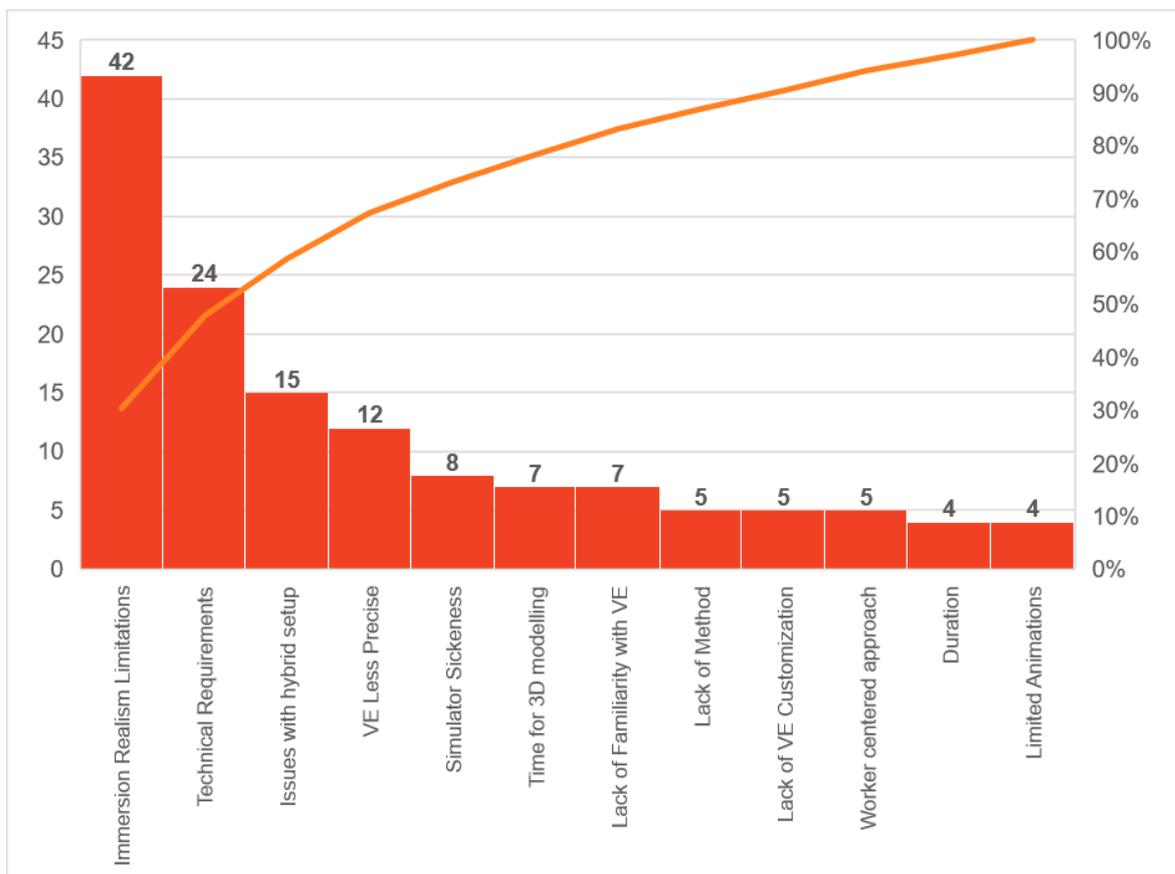


It is worth noting that in safety critical industries the technologies were chosen to enable the simulation of emergency scenarios in a safe and controlled environment, e.g. Deb et al. (2020). Additionally, the possibility of substituting physical prototypes (which can be costly or time consuming to make), for GE-based VEs was also highlighted as a driver for technology choice.

### 3.1.6 Challenges Category

Among the most reported challenges faced in GE-based VEs use was related to the lack of realism and immersion in the VE, mainly in terms of lack of haptic feedback and differences of how people interact with VE and perform the tasks in the virtual world when compared to the way it is done in reality. Figure 6 presents a summary of code occurrences in this category.

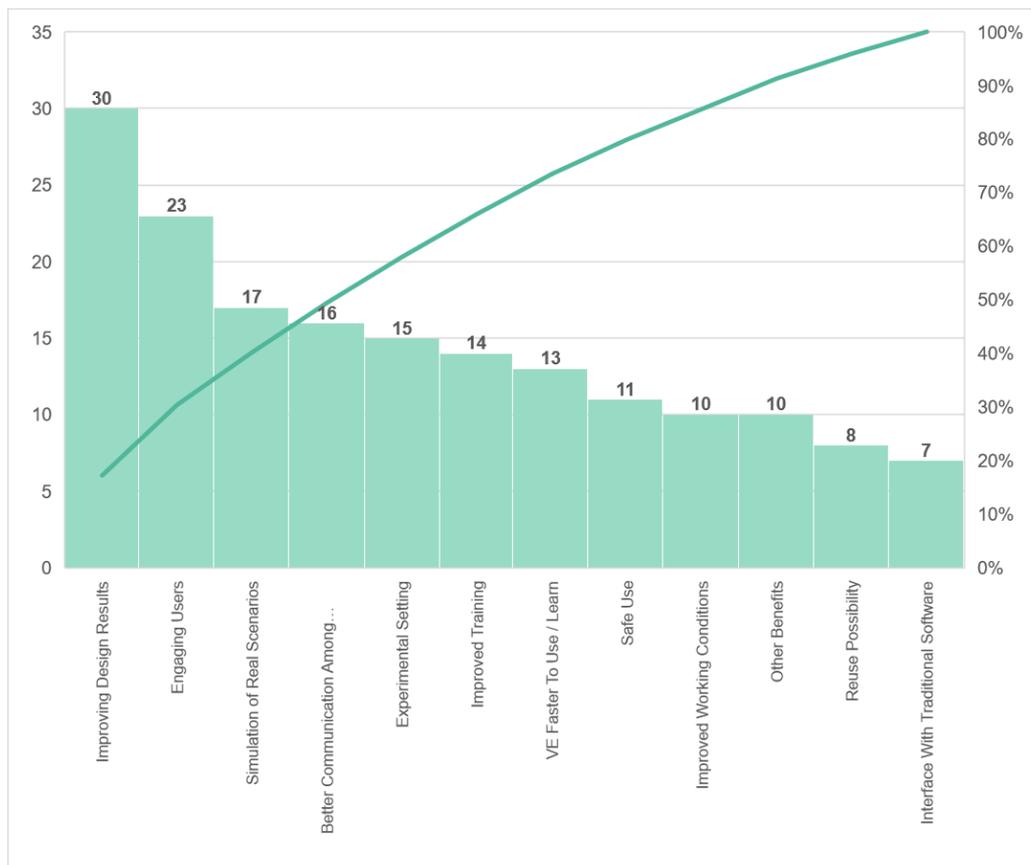
**Figure 6 - Summary of coded occurrences of issues in the Challenges category**



### 3.1.7 Benefits Category

Despite the challenges and issues mentioned previously, the benefits derived from the immersive and realistic VEs are seen in the improvement of design results (avoiding errors, identifying problems in advance, etc.), simulating real scenario, engaging users and fostering the design communication among stakeholders. Figure 7 shows the summary of codes' occurrence in this category.

**Figure 7 - Summary of coded occurrences of issues in the Benefits category**

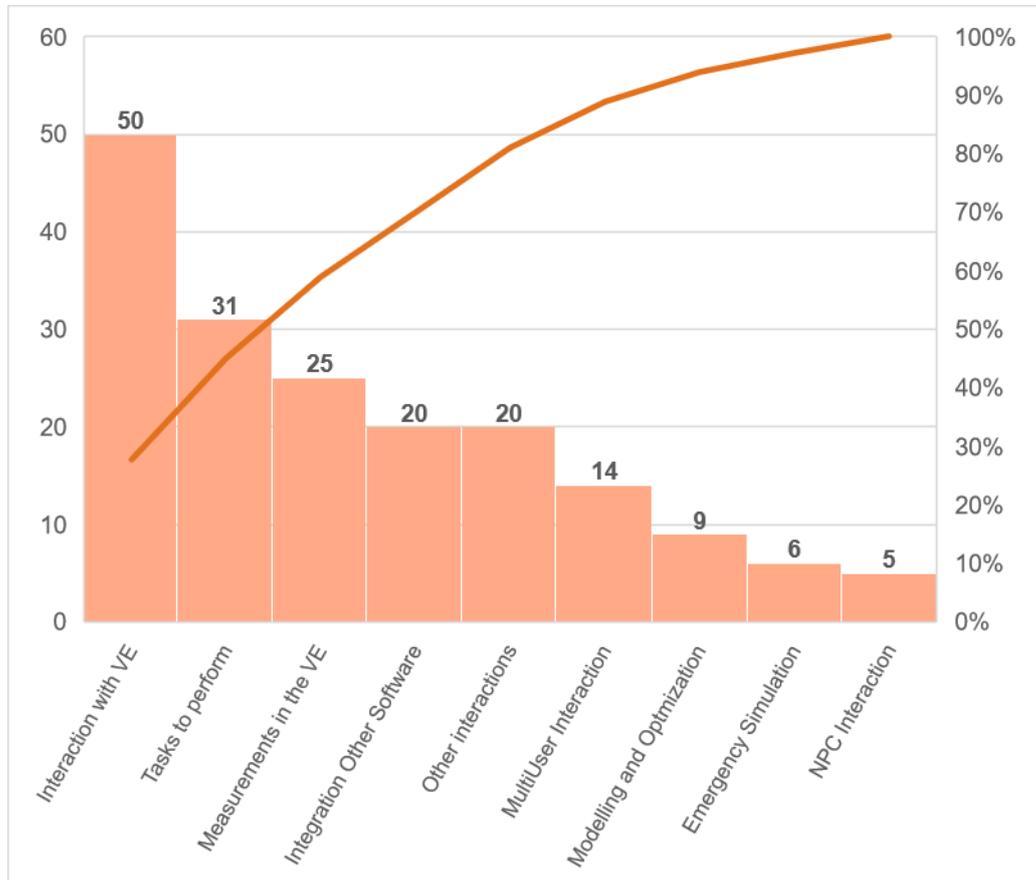


### 3.1.8 Features Category

The coding of content related to VE features sheds light on the types of systems that are being built in GEs. As seen in Figure 8, most types of features include some form of interaction with the VE itself (e.g., walking in the environment, interacting with digital objects, etc.). Tasks were frequently employed as means of guiding users through their exploration of the VE. Other features that directly support EHF assessments and design evaluations are VE (e.g. distances) and user-related measurements (e.g. postures, eye tracking). Developers also relied on the customization and scripting features of GEs to

enable data exchange across platforms and the communication with traditional DHM for further ergonomics evaluations.

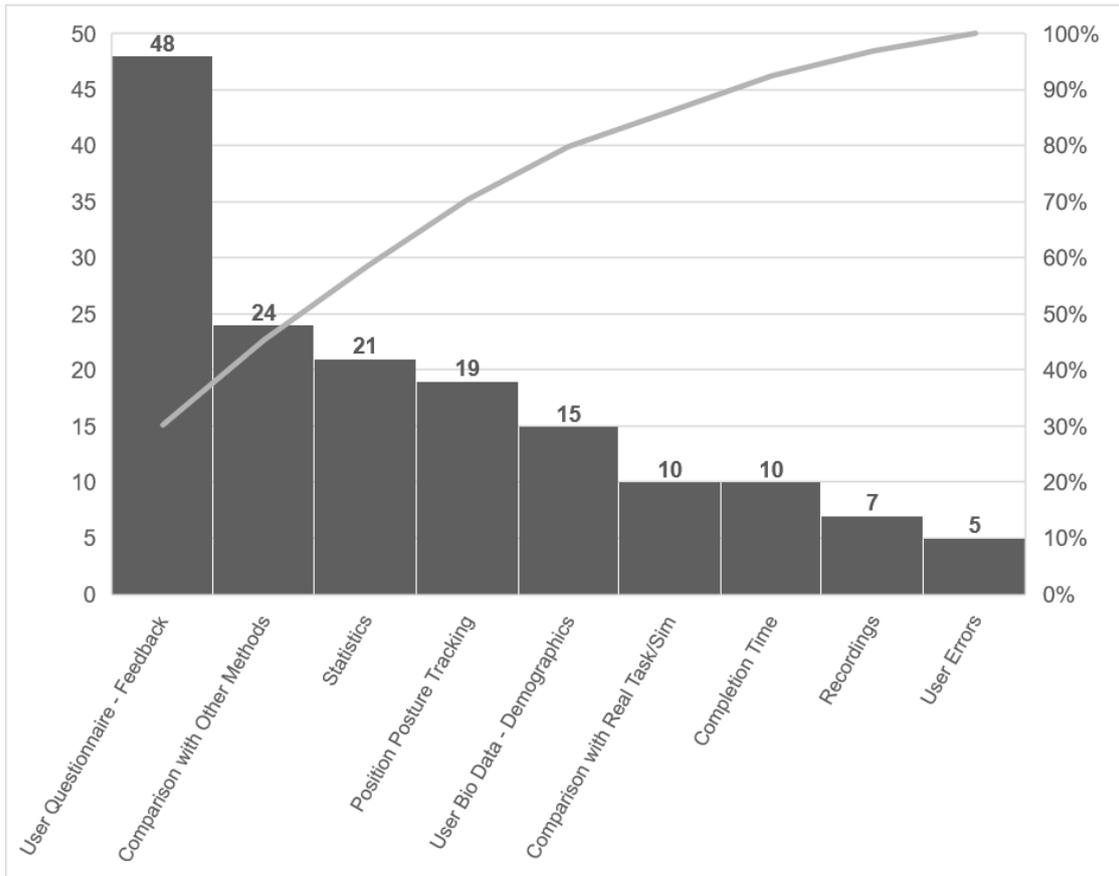
**Figure 8 - Summary of coded occurrences of issues in the Features category**



### 3.1.9 Evaluation Category

The evaluation strategies employed in the studies reviewed relied mostly on feedback questionnaire to gather users' insights on the features of the VE, their perceived degree of presence, usability, and workload. The comparison of the VE approaches against other methods or real situations was also found to be a recurrent strategy to validate the benefits envisioned by the VE. Figure 9 summarizes codes' occurrences in this category.

**Figure 9 - Summary of coded occurrences of issues in the Evaluation category**



### 3.1.10 Method Design and VE Application Procedure Categories

The method design category will be further discussed in the next section as it supports the development of the proposed framework. Nonetheless, it is worth noting that while most studies presented a method for their investigation and VE development, several did not. This is a limitation of current research practices that will be explored further in section 5.

Finally, the VE application procedure emerged as a recurrent theme across studies, especially those that employed controlled experimental designs. The steps for using the VE with participants comprised, overall research presentation and informed consent, setup and instructions, familiarization with controls and actual experimental procedure. Additionally, some studies reported the duration of VE use, the role of researchers' supervision and final debriefing of participants. Not all studies reported these aspects explicitly and consistently. Nonetheless it was deemed as an important aspect in the context of GE-based VE use and should be better explored in future studies.

The next session will focus on the comparison of the methods for VE design found in the literature review, contrasting those with the framework for development of virtual environments presented by Wilson (1999).

#### **4. TOWARDS A FRAMEWORK FOR GE-BASED VEs**

The framework development is informed by the early work of Wilson (1999) that presented an overall method for VE development for EHF. Although the VEs employed were made from scratch, the systematic approach proposed by the author is a solid starting point as many of the steps and activities delineated then continue to be relevant to date. that was defined as an anchor point for our current development. This is the reason why we aim to dialogue with this study from the early days of EHF VEs: to build upon it – and the recent developments in the field – to further advance research and practice in the topic.

The literature review led to the identification of studies that presented the systematic approaches they employed in the creation of the VEs. These models and methods for VE development found in the literature are summarized and contrasted to the one proposed by Wilson (1999) in Table A.2 in the Appendix and will be discussed here.

Wilson's framework initiates with the definition of the application goals (and evaluation criteria), the VE attributes and related activities/scenarios (which in turn are dependent on the alternative technologies existent and their effects). From the scenario's definition, the understanding of the tasks and constraints, task analysis and user's needs and characteristics enable developers to define the goals of the VE. Then, the processes undertaken by the VE builder (e.g., VE specification, user functionality and the actual building of the VE) and the activities taken by VE participants are outlined. Outcomes of the VE utilization are expressed in terms of user performance (user experience, attitudes and usability). Other aspects that are considered in this framework are the possible side effects (for safety performance, physiological and psychological) of VE participation.

For sake of brevity, a few highlights from the methods and frameworks analyzed from the literature survey will be discussed here. One of the most critical gaps identified was the lack of a systematic description of the methods employed in the development of VEs. Some papers presented in great detail the system architecture, e.g. Ernst et al. (2019), others did not specify the hardware or users who used the VE, e.g. Koteleva et al. (2020). Furthermore, the step of creating 3D models for VEs (which must be optimized in terms of number of polygons, textures and segmentation for easier

animation/interaction) was explicitly contemplated in Wolfartsberger (2019) but most other papers neglected to even indicate the software used for 3D modelling.

An interesting feature of the methods analyzed was their flexibility in terms of how the GE was employed and connected with different software and hardware. For instance, Peruzzini et al. (2021) reported a VE that collected user posture data from VR headset, Mocap and hand tracking systems, and then exported posture information to a traditional DHM software for analysis.

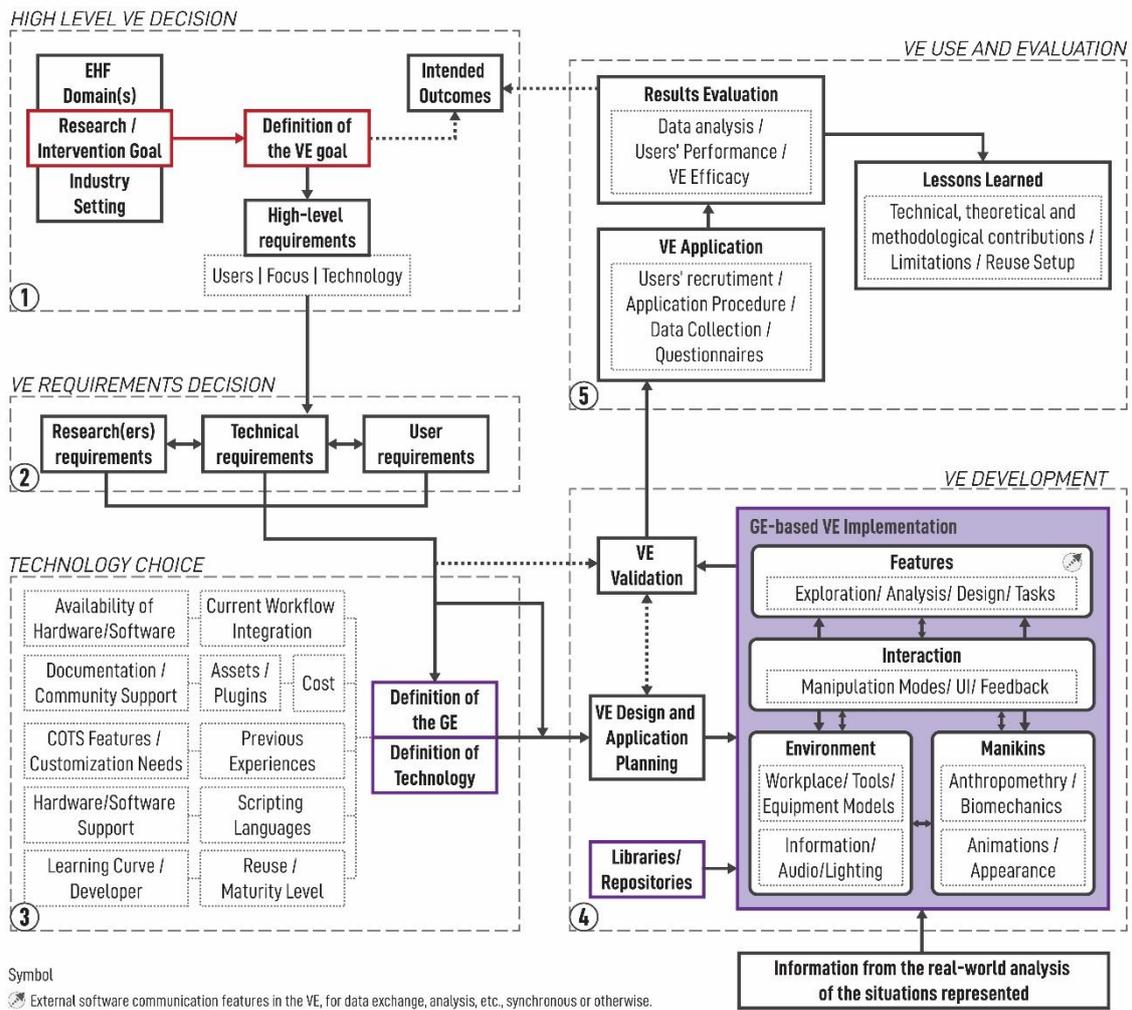
Other aspect that was interesting to note was the overwhelming absence of GE choice reasoning across the methods – researchers usually focused on why the interaction type (e.g., VR/AR) was chosen, neglecting to provide the reasoning for GE choice. A few exemptions to this were GEs choice discussions found in Bellanca et al. (2019) and Dias Barkokebas and Li (2020).

Finally, perhaps the most important aspect in the methods surveyed was related to VE reuse which is the ability to repurpose the VE created to different use cases/scenarios without the need to develop everything from the ground up once again. A few papers built reuse oriented tools and frameworks, e.g. Bellanca et al. (2019), Ernst et al. (2019) and Wolfartsberger (2019), that would enable the development and deployment of future VEs in a more efficient manner.

Overall, the frameworks and models analyzed highlight the need for a clear definition of the VE goal and the statement of user needs and tasks on the VE. It was also present the need for choosing the appropriate technologies for achieving the intended goals in terms of interactivity and immersion.

Based upon the reflections on the existing frameworks and models for VE development briefly presented here, we propose a general framework for designing GE-based VEs for EHF shown in Figure 10. This framework is presented in detail in the following section.

**Figure 10 – The general framework for designing GE-based VEs for EHF proposed**



#### 4.1. PROPOSED FRAMEWORK PRESENTATION

Given the variability of methods reported in the literature, their particularities, and limitations, five underlying principles were defined for the development of the framework as summarized on Table 5.

**Table 5 – The underlying principles guiding the framework development**

Principle	Description
#1	VE decisions should be integrated to the overall study/intervention goal and design
#2	GE and technology choices should be explicitly considered by research teams.
#3	VE development should be regarded as interactive and iterative processes.
#4	VE fidelity is considered a multidimensional attribute based on breadth of features present, degree of functionality of these features, similarity of interaction with the VE and aesthetic refinement following Virzi et al. (1996).
#5	The framework should be flexible to enable its use across multiple industries, EHF domains, technologies employed and VE focuses.

The proposed framework comprises 5 main steps: **high level VE decision, VE requirements decision, technology choice, VE development, VE use and evaluation.**

The first step - **high level VE decision** – is centered around the definition the VE goal, based on the specific needs and context of the research/intervention that is being carried and particularly the industry and domain inherent features and expectations of VEs and simulations in general. With a definition of what the goal of the VE is, the high-level requirements of the VE (in terms of users, focus – analysis of workspace, design, training, etc., and enabling technologies) can be delineated. At this time, the intended outcomes from the overall VE application process may also be defined.

The second step - **VE requirements decision** – comprises the detailing process of the high-level requirements and definition of requirements from technical, research and researchers, and users' standpoints. Details of these activities are provided on Table 6. This process can involve workshopping with industry partners and subject-matter experts to uncover the requirements for the VE – an example of this approach is reported by Nykänen et al. (2020b).

**Table 6 – Description of the activities on the VE requirements decision step of the framework**

<b>Activity</b>	<b>Description</b>
<b>Technical requirements definition</b>	Decision regarding core features that must be implemented on the VE (e.g., multiplayer support, target platforms, possible interaction modes, etc.). Useful insight can be gathered from the analysis of existing GEs applications reported in the literature.
<b>Research and researchers' requirements</b>	Specific tools and methods to be employed in VE development, application, and evaluation (e.g., data collection and analysis approaches, statistical modelling, experimental design), internal/external validity aspects and personnel resources (definition of VE development team/responsible and/or third-party development companies), reuse setups.
<b>User requirements</b>	Identifying user needs and characteristics, intended VE uses and contexts, and intended outcomes from VE, among other relevant aspects that can emerge from industry/domain specific settings.

The third step – **technology choice** – comprises the definition of the GE that is going to be employed in the development of the VE and the technology, both in broad terms of application type (i.e. whether VR, AR, MR, etc.) and specifics, mapping the hardware and software that will be employed. This decision-making process must account for the requirements identified and may benefit from the consideration of the relevant (and by no means exhaustive) aspects indicated in the figure (e.g., cost, documentation, previous experience, hardware, maturity level of technologies, etc.). The literature on GEs

use in different contexts can further support these comparisons and choices, e.g. Cowan and Kapralos (2017) and Westhoven and Alexander (2015).

The fourth step – **VE development** – encompasses the planning of the VE design and application process and the implementation of the VE in the GE, defining the specific features, functionalities, interactions and aesthetic choices that must be achieved for the VE. A crucial step of the implementation of the VE is the knowledge of the actual situation that is intended to be analyzed or designed. Following Wilson (1999), we highlight that traditional ergonomics approaches and methods for task and activity analysis (or synthesis) must be employed to inform the accurate implementation of VEs. The VE implementation can rely on existing libraries and repositories and is articulated on 4 core layers presented on Table 7.

**Table 7 – Description of the four core layers of VE implementation.**

<b>Layer</b>	<b>Description</b>
<b>Environment</b>	Composed by the 3D models of the workspace, tools and equipment, relevant system information, audio and lighting features
<b>Manikins</b>	Digital human models/avatars, which can account for anthropometry and biomechanical models. Additional animations and appearance customization can be implemented as necessary.
<b>Interaction</b>	Combination of the hardware and software features that define how users will manipulate the VE environment (e.g. joysticks, natural interfaces, etc.), the user interface of the VE and different modalities of feedback available (e.g. haptic, visual, auditory);
<b>Features</b>	Implemented by scripting and relying on the other layers, to enable VE exploration (e.g., walking, visualization modes, etc.), VE analysis - both quantitative (direct measurements, position tracking, time spent on tasks) and qualitative (access, field of view, etc.), design (manipulating layout and objects, real-time multi-user support, etc.) and tasks (following operational tasks and procedures).

After the VE is implemented, it should be validated in pilot study settings to analyze if the goals and requirements devised in the planning stage were met, possibly leading to further planning and implementation cycles in an iterative cycle. The implementation of GE-based VEs can greatly benefit from reusing content (3D models, animations, scripts, plugins, etc.) from existing libraries and repositories, a particularity that was expressed in the figure. Finally, the implementation must account for external communication features – specially in terms of data exchange across different software.

The final step - **VE use and evaluation** – contemplates the application of the VE (highlighting the importance of a defined application procedure and the data collection strategies), the evaluation of the results' – both in terms of users' performance (including objective and subjective aspects) and VE efficacy (degree to which it enabled the

achievement of the planned goals). Understanding the results achieved is a necessary step for checking if the initial intended goals were achieved. Finally, the lessons learned, the technical, theoretical and methodological contributions and limitations of the approach employed can be synthesized and shared. A final, crucial step is the reuse setup which can be performed to enable VE reuse in future studies.

We highlight that the framework proposed is not binding or exhaustive – its aim is mainly the systematization of the process of GE-based VE development for EHF so researchers and practitioners may further expand or condense steps and activities as situation specific contingencies emerge. Additionally, while the framework was grounded in the systematic literature review performed and authors' previous experiences in VE development for EHF applications, it should be tested in practice for further refinement.

## **5. DISCUSSION**

The discussion of the implication of GE use for EHF, following the proposed approach, is considered from two distinct points of view: the perspective of the VE proponent/designer (considered here to be the EHF researchers and practitioners) and the perspective of the VE users (who will take part in the exploration and activities in the VE).

### **5.1. IMPLICATIONS FOR EHF RESEARCHERS AND PRACTITIONERS**

As discussed in the paper the use of computer simulation in the EHF field is not new, nor are its limitations and potentials for ergonomics processes. The systematic adoption of a relatively novel tool brings to this context makes it necessary to critically understand the advancements brought by this new tool to the traditional, already established knowledge base, highlighting the new implications for researchers and practitioners.

The first relevant aspect of the proposed framework is the different uses it supports in the context of EHF that were identified in the SLR: analysis, design and training/education, operational aid. Supporting these possibilities already represent an expansion of the traditional uses of the classical tools for EHF computer simulation which usually focused on the design and assessment of workstations and work activities. The evolution in this case is not only that the design of the GE-based VE can integrate both analysis and design into the same environment, but also for enabling the representation of other work-system aspects (such as organizational and cognitive aspects). For instance,

by incorporating scenarios in the VEs, developers can simulate different work routines and procedures and by developing NPCs dialogue trees aspects related to cognitive and organizational issues could be reinforced.

Adopting GE usage, as with the adoption of any other tool or technique, requires the learning of the tool so that results are satisfactory and compatible with the target goals. In this regard we highlight a clear difference between GE and traditional simulation tools in general: there is an enormous amount of resource materials (from text and video-based tutorials, practical webinars, detailed documentation, scenarios templates, example) and an active community of developers, enthusiasts and experts that collaborate across specialized forums, sharing best practices, code snippets and assisting novices. This characteristic is useful for enabling the development of VEs by public in general, who are not game designers and programmers, such as EHF professionals in general.

Another salient difference with the adoption of a GE is the relatively short time necessary to achieve a functional VE with a high-quality graphics visuals and interactions resources, since the profusion of existent ready-to-use assets (3D models, characters, interfaces and interactions). Similarly, deploying VR/AR applications is made easier, since the GEs in general already have the plugins and functionality necessary to provide the stereoscopic rendering, head tracking and other specifics for HMD, for instance, or the world tracking and positioning necessary for AR applications.

In terms of the financial investment required to adopt GE-based VE design is significantly lower (usually free even, when using GEs for educational purposes) than traditional CAD-based VR systems or DHM software. No special hardware is necessary to operate and run GEs (although it is usually indicated to have a computer with a dedicated graphics cards).

On the other hand, GE-based VE design requires researchers and practitioners in EHF a high-level of adaption and creativity since GEs were not originally developed to support EHF processes. Especially regarding manikins' anthropometry and biomechanical aspects, it is currently not possible to demand the same rigor as traditional DHM software to the off-the-shelf GEs solutions. Detailed posture, field of view, and reach envelope analysis, for instance, could be hindered or only achieved in a simplified fashion. Nonetheless, GE-based VEs could enable researchers to avoid the limitations of ergonomics evaluation protocols that ignore organizational and cognitive aspects, by providing opportunities to incorporate more nuanced and contextual information to support more comprehensive digital simulations. Additionally, as pointed out previously

researchers have already been able to integrate DHM tools in a GE (GAISBAUER et al., 2018) and also investigate the use of game design-focused tools (which are easily integrated into GEs) for DHM (BRICENO; PAUL, 2019), which show promise for addressing these issues regarding manikins in GEs.

In terms of reuse, through the SLR we identified that not only the GE-based VEs can be customized for supporting future reuse (BELLANCA et al., 2019; ERNST et al., 2019; NYKÄNEN et al., 2020b; WOLFARTSBERGER, 2019) but also that the very competences developed for GE-based VE creation can be employed to in future VEs' development. The studies from Aghina et al. (2012) and Gatto et al. (2013), Santos et al. (2012) and Zamberlan et al. (2012), Aromaa and Väänänen (AROMAA; VÄÄNÄNEN, 2016) and Aromaa et al. (2020), Paravizo and Braatz (2019b) and Paravizo et al. (2019); Deb et al. (2017) and Deb et al. (2020) is evidence of the continued use of GE in research efforts over time.

Another highlight from the SLR is the recurrent mention of Industry 4.0 as a driver for VR/AR applications in varied contexts Havard et al. (2019), Horejsi et al. (2020; and Nicoletti and Padovano (2019). Finally, a good practice that should be observed when using any simulation tool for EHF (and with GEs is not different) is to have multi-professional design and analysis teams, with different degrees of experience with the technology and the real situation/context, including but not limited to ergonomists, engineers, users/workers, programmers and health specialists.

## 5.2. IMPLICATIONS FOR USERS

Users of the VEs have different goals and expectations. These are related both to the way the VE is proposed by the developers and to their own context (educational background, professional experience, intrinsic motivation to cite a few aspects associated to personal variability). Thus, the step of intended user mapping is a crucial one to the framework proposed.

We highlight that despite the different users involved in the simulations using VEs one underlying goal is to foster active participation of the actors involved in the process. The interactivity and high-quality visual representations of GE-based VEs can assist in achieving this goal, which are more user-friendly than traditional technical drawings and blueprints for instance. Thus, workers that would otherwise have their participation in the simulation hindered for not completely understanding the representations used, are able to comprehend the situation represented and then participate.

Nonetheless, high-quality graphics are not an exclusive characteristic of GEs, rather several other tools are able to achieve the same or even better graphical results. However, these renders and animation usually will not have real-time interactivity features, greatly constraining the development of VEs. We highlight that GE-based VEs, may support users' free exploration, for specific, short-term goals or for discussing design proposals or for achieving a deeper understanding of workers' activity.

Other aspects that may affect user experience in the VEs are related to possible physical and psychological discomforts related to the immersion in VE (which are especially relevant when developing VR applications that use HMD), such as simulator sickness, headaches and dizziness. These aspects have also been increasingly investigated within the EHF field (CHEN et al., 2016; HOONAKKER et al., 2019). Users' gender must also be considered – VR Headsets design have been reported to have a worse fit for women, leading to poorer VE experiences and more severe simulator sickness effects (STANNEY; FIDOPIASTIS; FOSTER, 2020). Additionally, users' familiarity with games and related technologies also can affect user involvement in VE exploration. In general, onboarding strategies should be employed to make it easier for users new to games and VEs to learn the controls and possible interactions.

## **6. CONCLUSION**

This paper aimed to contribute toward a framework for developing GE-based VEs for EHF. The proposed framework highlights the flexibility of this type of tool, which is one of the main factors that makes it a feasible tool for being employed as a simulation tool within the EHF field. The systematic literature review contributed to understand the core characteristics, limitations, and potential of GE applications in EHF. The systematization proposed helps the planning and design of GE-based VEs, assisting interested people in not overlooking crucial steps throughout the VE development process.

Further testing of the developed framework in case study settings should be carried out to contribute to its validation and refinement, for identifying and incorporating possible aspects and stages that have been overlooked in its current formulation.

Furthermore, in line with what has been discussed by Dias Barkokebas and Li (2021) and Wolfartsberger (2019) we highlight that GEs should not be intended to completely substitute the use of traditional applications of DHM, CAD-based VR and other simulation tools commonly employed in EHF. Rather they should be seen as a

complementary tool that researchers and practitioners could employ for bridging gaps of the traditional computer and physical simulation approaches, especially when VE reuse is expected. Additionally, the GE-based VE design process is closely dependent on the study/intervention goal and the fundamental understanding and comprehension of the situation that is intended to be represented.

Future studies can investigate how well different GEs can represent real work situations and address the needed anthropometric libraries of manikins and animations/postures for utilization in ergonomics focused-VEs. Finally, it could be interesting to investigate the feasibility of developing a virtual-physical system, integrating the GEs affordances and other physical simulation tools such as 3D printed scale models and mock-ups.

## 7. ACKNOWLEDGEMENTS

This study was financed in part by the Brazilian Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES).

## 8. REFERENCES

- AGHINA, M. A. C. et al. Non-conventional interfaces for human-system interaction in nuclear plants' virtual simulations. **Progress in Nuclear Energy**, v. 59, p. 33–43, ago. 2012.
- AKANMU, A. A. et al. Cyber-physical postural training system for construction workers. **Automation in Construction**, v. 117, p. 103272, set. 2020.
- ALEXANDER, T.; PAUL, G. Ergonomic DHM Systems - Limitations and Trends – A Review Focused on the ' Future of Ergonomics '. **3rd International Digital Human Modeling Symposium**, n. May, p. 1–7, 2008.
- ANDERSEN, S. N.; BROBERG, O. Participatory ergonomics simulation of hospital work systems: The influence of simulation media on simulation outcome. **Applied Ergonomics**, v. 51, p. 331–342, 2015.
- AROMAA, S.; GORIACHEV, V.; KYMÄLÄINEN, T. Virtual prototyping in the design of see-through features in mobile machinery. **Virtual Reality**, v. 24, n. 1, p. 23–37, mar. 2020.
- AROMAA, S.; VÄÄNÄNEN, K. Suitability of virtual prototypes to support human factors/ergonomics evaluation during the design. **Applied Ergonomics**, v. 56, p. 11–18, 2016.
- ASTOLFI, B. M. et al. **PROJECT-BASED LEARNING: A NEW WAY TO TEACH ERGONOMICS**. DS 84: Proceedings of the DESIGN 2016 14th International Design Conference. **Anais...** In: DESIGN 2016. Dubrovnik: 2016.
- AZIZ, E.-S. S. et al. Virtual Mechanical Assembly Training Based on a 3D Game Engine. **Computer-Aided Design and Applications**, v. 12, n. 2, p. 119–134, 2015.
- AZIZI, A.; GHAFORPOOR YAZDI, P.; HASHEMIPOUR, M. Interactive design of storage unit utilizing virtual reality and ergonomic framework for production optimization in manufacturing industry. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, p. 1–9, 6 jul. 2018.

- BÉGUIN, P.; WEILL-FASSINA, A. Da simulação das situações de trabalho à situação da simulação. In: DUARTE, F. (Ed.). . **Ergonomia e projeto: na indústria de processo contínuo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Lucerna, 2002. p. 34–63.
- BELLANCA, J. L. et al. Developing a Virtual Reality Environment for Mining Research. **Mining, Metallurgy & Exploration**, v. 36, n. 4, p. 597–606, ago. 2019.
- BERGROTH, J. D.; KOSKINEN, H. M. K.; LAARNI, J. O. Use of Immersive 3-D Virtual Reality Environments in Control Room Validations. **Nuclear Technology**, v. 202, n. 2–3, p. 278–289, 3 jun. 2018.
- BERNARD, F. et al. Virtual Reality Simulation and Ergonomics Assessment in Aviation Maintainability. In: BAGNARA, S. et al. (Eds.). . **Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 141–154.
- BLANCO, E.; BOUJUT, J.-F. Intermediary Objects as a mean to foster Co-operation. **Engineering Design Computer Supported Cooperative Work**, v. vol 12, n. n° 2, p. p 205-219, 2003.
- BLIGÅRD, L. O.; BERLIN, C.; ÖSTERMAN, C. The power of the dollhouse: Comparing the use of full-scale, 1:16-scale and virtual 3D-models for user evaluation of workstation design. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 68, n. August, p. 344–354, 2018.
- BODNAR, C. A.; CLARK, R. M. Can game-based learning enhance engineering communication skills? **IEEE Transactions on Professional Communication**, v. 60, n. 1, p. 24–41, 2017.
- BRAATZ, D. et al. **Contribuições da cultura Maker para o ensino de Engenharia de Produção no contexto das Novas Diretrizes Curriculares**. XXXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO. **Anais...Santos: ABEPRO**, nov. 2019.
- BRAGHIROLI, L. F. et al. Benefits of educational games as an introductory activity in industrial engineering education. **Computers in Human Behavior**, v. 58, p. 315–324, 2016.
- BRICENO, L.; PAUL, G. MakeHuman: A Review of the Modelling Framework. In: BAGNARA, S. et al. (Eds.). . **Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 224–232.
- BROOKS, J. et al. The Utility of Template Analysis in Qualitative Psychology Research. **Qualitative Research in Psychology**, v. 12, n. 2, p. 202–222, 3 abr. 2015.
- BRUNO, F.; BARBIERI, L.; MUZZUPAPPA, M. A Mixed Reality system for the ergonomic assessment of industrial workstations. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, v. 14, n. 3, p. 805–812, set. 2020.
- BUCCIARELLI, L. L. An ethnographic perspective on engineering design. **Design Studies**, v. 9, n. 3, p. 159–168, 1988.
- BURES, M. Efficient Education of Ergonomics in Industrial Engineering Study Program. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 174, p. 3204–3209, fev. 2015.
- CAMPUS, K.; PENRITH, S. Engineering education - is problem-based or project-based learning the answer? **Australasian Journal of Engineering Education**, v. 3, p. ISSN 1324-5821, 2003.
- CAPUTO, F. et al. Simulation Techniques for Ergonomic Performance Evaluation of Manual Workplaces During Preliminary Design Phase. In: BAGNARA, S. et al. (Eds.). . **Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 170–180.

- CHALIL MADATHIL, K.; GREENSTEIN, J. S. An investigation of the efficacy of collaborative virtual reality systems for moderated remote usability testing. **Applied Ergonomics**, v. 65, p. 501–514, nov. 2017.
- CHEN, D. J. et al. Visually induced motion sickness when viewing visual oscillations of different frequencies along the fore-and-aft axis: keeping velocity versus amplitude constant. **Ergonomics**, v. 59, n. 4, p. 582–590, 2016.
- CIFTER, A. S.; EROGLU, I.; OZCAN, K. A Study of Ergonomics Education in Industrial Design Programs in Turkey. **International Journal of Mechanical Engineering Education**, v. 41, n. 4, p. 306–314, out. 2013.
- COWAN, B.; KAPRALOS, B. An Overview of Serious Game Engines and Frameworks. In: BROOKS, A. L. et al. (Eds.). **Recent Advances in Technologies for Inclusive Well-Being**. Intelligent Systems Reference Library. Cham: Springer International Publishing, 2017. v. 119p. 15–38.
- DANIELLOU, F. The French-speaking ergonomists' approach to work activity: Cross-influences of field intervention and conceptual models. **Theoretical Issues in Ergonomics Science**, v. 6, n. 5, p. 409–427, 2005.
- DANIELLOU, F. A ergonomia na condução de projetos de concepção de sistemas de trabalho. In: FALZON, P. (Ed.). **Ergonomia**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2007a. p. 303–315.
- DANIELLOU, F. Simulating future work activity is not only a way of improving workstation design. **Activites**, v. 04, n. 2, 2007b.
- DANIELLOU, F.; RABARDEL, P. Activity-oriented approaches to ergonomics: some traditions and communities. **Theoretical Issues in Ergonomics Science**, v. 6, n. 5, p. 353–357, set. 2005.
- DARSES, F.; REUZEAU, F. Participação dos usuários na concepção dos sistemas e dispositivos de trabalho. In: FALZON, P. (Ed.). **Ergonomia**. 1. ed. São Paulo: Editora Blücher, 2007.
- DEB, S. et al. Efficacy of virtual reality in pedestrian safety research. **Applied Ergonomics**, v. 65, p. 449–460, nov. 2017.
- DEB, S.; CARRUTH, D. W.; HUDSON, C. R. How Communicating Features can Help Pedestrian Safety in the Presence of Self-Driving Vehicles: Virtual Reality Experiment. **IEEE Transactions on Human-Machine Systems**, v. 50, n. 2, p. 176–186, abr. 2020.
- DESPEISSE, M. **GAMES AND SIMULATIONS IN INDUSTRIAL ENGINEERING EDUCATION: A REVIEW OF THE COGNITIVE AND AFFECTIVE LEARNING OUTCOMES**. (Eds. M. Rabe, A.A. Juan, N. Mustafee, A. Skoogh, S. Jain, and B. Johansson, Ed.)Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference. **Anais...**2018a.
- DESPEISSE, M. Teaching Sustainability Leadership in Manufacturing: A Reflection on the Educational Benefits of the Board Game Factory Heroes. **Procedia CIRP**, v. 69, n. May, p. 621–626, 2018b.
- DIAS BARKOKEBAS, R.; LI, X. Use of Virtual Reality to Assess the Ergonomic Risk of Industrialized Construction Tasks. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 147, n. 3, p. 04020183, mar. 2021.
- DIEGO-MAS, J. A.; ALCAIDE-MARZAL, J.; POVEDA-BAUTISTA, R. Effects of Using Immersive Media on the Effectiveness of Training to Prevent Ergonomics Risks. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 7, p. 2592, 10 abr. 2020.
- DUL, J. et al. A strategy for human factors/ergonomics: Developing the discipline and profession. **Ergonomics**, v. 55, n. 4, p. 377–395, 2012.

- ENGENHARIA DO TRABALHO. **Sobre - Engenharia do Trabalho**Engenharia do Trabalho, 2021. Disponível em: <<http://engenhariadotrabalho.com.br/sobre/>>. Acesso em: 6 set. 2021
- ERNST, J. M. et al. Virtual Cockpit: an immersive head-worn display as human-machine interface for helicopter operations. **Optical Engineering**, v. 58, n. 05, p. 1, 28 jan. 2019.
- FALZON, P. **Constructive Ergonomics**. Boca Raton: CRC Press, 2015.
- FAVI, C. et al. Virtual Reality-Enhanced Configuration Design of Customized Workplaces: a Case Study of Ship Bridge System. **Computer-Aided Design and Applications**, v. 16, n. 2, p. 345–357, 13 ago. 2018.
- FITTS, P. M.; JONES, R. E. **Analysis of factors contributing to 460" pilot-error" experiences in operating aircraft controls**. [s.l.] Wright-Patterson Air Force Base, OH: Aero Medical Laboratory, 1947.
- GAISBAUER, F. et al. Presenting a Modular Framework for a Holistic Simulation of Manual Assembly Tasks. **Procedia CIRP**, v. 72, p. 768–773, 2018.
- GARNEAU, C. J.; PARKINSON, M. B. A survey of anthropometry and physical accommodation in ergonomics curricula. **Ergonomics**, v. 59, n. 1, p. 143–154, 2 jan. 2016.
- GATTO, L. B. S. et al. Virtual simulation of a nuclear power plant's control room as a tool for ergonomic evaluation. **Progress in Nuclear Energy**, v. 64, p. 8–15, 2013a.
- GATTO, L. B. S. et al. Virtual simulation of a nuclear power plant's control room as a tool for ergonomic evaluation. **Progress in Nuclear Energy**, v. 64, p. 8–15, abr. 2013b.
- GEE, J. P. **What video games have to teach us about learning and literacy**. 1st ed ed. New York: Palgrave Macmillan, 2003.
- GEE, J. P. Good video games and good learning. **Phi Kappa Phi Forum**, v. 85, n. 2, p. 33–37, 2005.
- GEIGER, A.; BRANDENBURG, E.; STARK, R. Natural Virtual Reality User Interface to Define Assembly Sequences for Digital Human Models. **Applied System Innovation**, v. 3, n. 1, p. 15, 12 mar. 2020.
- GETULI, V. et al. BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach. **Automation in Construction**, v. 114, p. 103160, jun. 2020.
- GREGORIADES, A. et al. Human Requirements Validation for Complex Systems Design. **Procedia Manufacturing**, v. 3, p. 3033–3040, 2015.
- GREGORY, J. **Game engine architecture**. Third edition ed. Boca Raton: Taylor and Francis, CRC Press, 2018.
- GUÉRIN, F. et al. **Comprender o trabalho para transformá-lo: a prática da ergonomia**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2001.
- GUÉRIN, J. Ergo@Large: Collaborating for the Benefits of HF/E. In: BLACK, N. L.; NEUMANN, W. P.; NOY, I. (Eds.). **Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)**. Lecture Notes in Networks and Systems. Cham: Springer International Publishing, 2022. v. 223p. 791–796.
- HARARI, Y. et al. Automated simulation-based workplace design that considers ergonomics and productivity. **International Journal of Simulation Modelling**, v. 16, n. 1, p. 5–18, 2017.
- HAVARD, V. et al. Digital twin and virtual reality: a co-simulation environment for design and assessment of industrial workstations. **Production & Manufacturing Research**, v. 7, n. 1, p. 472–489, 1 jan. 2019.
- HETTINGER, L. J. et al. Modelling and simulation of complex sociotechnical systems: envisioning and analysing work environments. **Ergonomics**, v. 58, n. 4, p. 600–614, 2015.

- HILT, S. et al. Biomechanical fidelity of simulated pick-and-place tasks: impact of visual and haptic renderings. **IEEE Transactions on Haptics**, p. 1–1, 2021.
- HJELSETH, S.; MORRISON, A.; NORDBY, K. Design and Computer Simulated User Scenarios: Exploring Real-Time 3D Game Engines and Simulation in the Maritime Sector. **International Journal of Design**, v. 9, n. 3, p. 63–75, 2015.
- HOONAKKER, P. et al. Healthcare in a Virtual Environment: Workload and Simulation Sickness in a 3D CAVE. In: BAGNARA, S. et al. (Eds.). . **Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 281–289.
- HOREJSI, P.; NOVIKOV, K.; SIMON, M. A Smart Factory in a Smart City: Virtual and Augmented Reality in a Smart Assembly Line. **IEEE Access**, v. 8, p. 94330–94340, 2020.
- IEA. **CORE COMPETENCIES IN HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS (HFE): Professional knowledge and skills**. [s.l.] International Ergonomics Association, 2021.
- JACKSON, M. A participação dos ergonomistas nos projetos organizacionais. **Production**, v. 9, n. spe, p. 61–70, dez. 1999.
- KARABULUT-ILGU, A.; JARAMILLO CHERREZ, N.; JAHREN, C. T. A systematic review of research on the flipped learning method in engineering education. **British Journal of Educational Technology**, v. 49, n. 3, p. 398–411, 2018.
- KINATEDER, M. et al. Social influence in a virtual tunnel fire – Influence of conflicting information on evacuation behavior. **Applied Ergonomics**, v. 45, n. 6, p. 1649–1659, nov. 2014.
- KOTELEVA, N. et al. Augmented Reality System and Maintenance of Oil Pumps. **International Journal of Engineering**, v. 33, n. 8, ago. 2020.
- KWEGYIR-AFFUL, E.; HASSAN, T. O.; KANTOLA, J. I. Simulation-based assessments of fire emergency preparedness and response in virtual reality. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, p. 1–15, 19 mar. 2021.
- LÄMKULL, D.; HANSON, L.; ROLAND ÖRTENGREN. A comparative study of digital human modelling simulation results and their outcomes in reality: A case study within manual assembly of automobiles. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 39, n. 2, p. 428–441, 2009.
- LANZOTTI, A. et al. Interactive Tools for Safety 4.0: Virtual Ergonomics and Serious Games in Tower Automotive. In: BAGNARA, S. et al. (Eds.). . **Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 270–280.
- LAVILLE, A. **HISTORICAL LANDMARKS OF FRENCH ERGONOMICS**. Proceedings of the SELF-ACE 2001 Conference – Ergonomics for changing work. **Anais...** In: SELF-ACE 2001. 2001.
- LEWIS, J. R. The System Usability Scale: Past, Present, and Future. **International Journal of Human–Computer Interaction**, v. 34, n. 7, p. 577–590, 3 jul. 2018.
- LEWIS, M.; JACOBSON, J. Games Engines in Scientific Research. **Communications of the ACM**, v. 45, n. 1, p. 27–31, 2002.
- LI, B. et al. Design in context of use: An experiment with a multi-view and multi-representation system for collaborative design. **Computers in Industry**, v. 103, p. 28–37, dez. 2018.
- LIANG, W. et al. Functional Workspace Optimization via Learning Personal Preferences from Virtual Experiences. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 25, n. 5, p. 1836–1845, maio 2019.

- LIU, Z. et al. Quantitative Evaluation on the Effect of Experience Under Emergency Situations in NPP Main Control Room Based on Multimodal Data. **Nuclear Technology**, v. 207, n. 4, p. 575–581, 3 abr. 2021.
- MADNI, A. M. Expanding Stakeholder Participation in Upfront System Engineering through Storytelling in Virtual Worlds. **Systems Engineering**, v. 18, n. 1, p. 16–27, jan. 2015.
- MALINE, J.; PRETTO, J. **Simuler le Travail: une aide à la conduite de project**. Mountrouge: Agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail, 1994.
- MARTINS, A. I. et al. European Portuguese Validation of the System Usability Scale (SUS). **Procedia Computer Science**, v. 67, p. 293–300, 2015.
- MAYER, E. et al. **Designing an Educational Virtual Reality Application to Learn Ergonomics in a Work Place**. ACM International Conference on Interactive Media Experiences. **Anais...** In: IMX '21: ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE MEDIA EXPERIENCES. Virtual Event USA: ACM, 21 jun. 2021. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3452918.3465504>>. Acesso em: 8 set. 2021
- MCGINN, C.; SENA, A.; KELLY, K. Controlling robots in the home: Factors that affect the performance of novice robot operators. **Applied Ergonomics**, v. 65, p. 23–32, nov. 2017.
- MCNAMARA, C.; PROETSCH, M.; LERMA, N. **Investigating Low-Cost Virtual Reality Technologies in the Context of an Immersive Maintenance Training Application**. VAMR 2016. **Anais...**2016.
- MEISTER, D. **The history of human factors and ergonomics**. 1. ed. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 1999.
- MICHALOS, G. et al. Workplace analysis and design using virtual reality techniques. **CIRP Annals**, v. 67, n. 1, p. 141–144, 2018.
- MILGRAM, P.; KISHINO, F. A TAXONOMY OF MIXED REALITY VISUAL DISPLAYS. **IEICE Transactions on Information Systems**, v. E77-D, n. 12, p. 1–15, 1994.
- MOHER, D. et al. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. **PLoS Medicine**, v. 6, n. 7, p. e1000097, 21 jul. 2009.
- MOODY, L. A Studio-Based Approach to Teaching Ergonomics and Human Factors. **Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting**, v. 55, n. 1, p. 545–549, 1 set. 2011.
- NEUMANN, P. Integrating Human Factors into Discrete Event Simulation. n. May, 2015.
- NICOLETTI, L.; PADOVANO, A. Human factors in occupational health and safety 4.0: a cross-sectional correlation study of workload, stress and outcomes of an industrial emergency response. **International Journal of Simulation and Process Modelling**, v. 14, n. 2, p. 178–195, 2019.
- NYKÄNEN, M. et al. Evaluation of the efficacy of a virtual reality-based safety training and human factors training method: study protocol for a randomised-controlled trial. **Injury Prevention**, v. 26, n. 4, p. 360–369, ago. 2020a.
- NYKÄNEN, M. et al. Implementing and evaluating novel safety training methods for construction sector workers: Results of a randomized controlled trial. **Journal of Safety Research**, v. 75, p. 205–221, dez. 2020b.
- OAKMAN, J. et al. Tertiary education in ergonomics and human factors: quo vadis? **Ergonomics**, v. 63, n. 3, p. 243–252, 2020.
- PAGE, L. T.; STANLEY, L. M. Ergonomics Service Learning Project: Implementing an Alternative Educational Method in an Industrial Engineering Undergraduate Ergonomics Course: Ergonomics Service Learning Project. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries**, v. 24, n. 5, p. 544–556, set. 2014.

- PARAVIZO, E. et al. Exploring gamification to support manufacturing education on industry 4.0 as an enabler for innovation and sustainability. **Procedia Manufacturing**, v. 21, p. 438–445, 2018.
- PARAVIZO, E. et al. **Leveraging virtual environments and 3D models in a workspace design: implications and possibilities**. . In: 26TH EUROMA CONFERENCE - OPERATIONS ADDING VALUE TO SOCIETY. Helsinki: EurOMA, 2019.
- PARAVIZO, E. et al. How Ergonomics and Related Courses Are Distributed in Engineering Programs? an Analysis of Courses from Brazilian Universities. In: BLACK, N. L.; NEUMANN, W. P.; NOY, I. (Eds.). . **Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)**. Lecture Notes in Networks and Systems. Cham: Springer International Publishing, 2021. v. 219p. 567–574.
- PARAVIZO, E.; BRAATZ, D. **Ergonomics and design education: experiences from the development and application of a workspace design workshop**. 48th Annual Conference of the Association of Canadian Ergonomist & 12th International Symposium on Human Factors in Organizational Design and Management. **Anais...** In: ACE-ODAM 2017. Banff: 2017.
- PARAVIZO, E.; BRAATZ, D. Employing Game Engines for Ergonomics Analysis, Design and Education. In: BAGNARA, S. et al. (Eds.). . **Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)**. Cham: Springer International Publishing, 2019a. p. 330–338.
- PARAVIZO, E.; BRAATZ, D. Using a game engine for simulation in ergonomics analysis, design and education: An exploratory study. **Applied Ergonomics**, v. 77, n. January, p. 22–28, maio 2019b.
- PARAVIZO, E.; BRAATZ, D. Using a game engine for simulation in ergonomics analysis, design and education: An exploratory study. **Applied Ergonomics**, v. 77, p. 22–28, maio 2019c.
- PARK, B. D.; REED, M. P. Accommodation Assessments for Vehicle Occupants Using Augmented Reality. In: BAGNARA, S. et al. (Eds.). . **Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 3–9.
- PASSOS, C. et al. Collaborative virtual environment for training teams in emergency situations. **Chemical Engineering Transactions**, v. 53, n. January 2016, p. 217–222, 2016.
- PASSOS, C. et al. Design of a collaborative virtual environment for training security agents in big events. **Cognition, Technology and Work**, v. 19, n. 2–3, p. 315–328, set. 2017.
- PAUL, G.; QUINTERO-DURAN, M. Ergonomic assessment of hospital bed moving using DHM Siemens JACK. **Proceedings of the 19th Triennial Congress of the International Ergonomics Association**, n. August, p. 1–6, 2015.
- PEREIRA, M. A. C.; BARRETO, M. A. M.; PAZETI, M. Application of Project-Based Learning in the first year of an Industrial Engineering Program: Lessons learned and challenges. **Producao**, v. 27, n. Specialissue, p. 1–13, 2017.
- PERUZZINI, M. et al. Using virtual manufacturing to design human-centric factories: an industrial case. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 115, n. 3, p. 873–887, jul. 2021.
- PLEWAN, T. et al. Exploring the benefits and limitations of augmented reality for palletization. **Applied Ergonomics**, v. 90, p. 103250, jan. 2021.
- QIAN, M.; CLARK, K. R. Game-based Learning and 21st century skills: A review of recent research. **Computers in Human Behavior**, v. 63, p. 50–58, out. 2016.

- QURESHI, S. M.; PURDY, N.; NEUMANN, P. **Predicting Nursing Workload using Discrete Event**. (ACE, Ed.) Proceedings of the Association of Canadian Ergonomists (ACE) Conference 2016: Harnessing the Power of Ergonomics. **Anais...**Niagara Falls: ACE, 2016.
- REBELO, F.; FILGUEIRAS, E. V. Ergoshow: a user-centred design game to make children aware of ergonomics and occupational safety and health. **Theoretical Issues in Ergonomics Science**, v. 13, n. 1, p. 4–17, jan. 2012.
- REINERT, F.; GONTIJO, L. A. The consideration of human factors in product design at the engineering programmes of a Brazilian university. **Journal of Engineering Design**, v. 28, n. 10–12, p. 709–730, 2 dez. 2017.
- SAFIN, S.; PINTUS, P.; ELSEN, C. Ergonomics in design and design in ergonomics: Issues and experience in education. **Work**, v. 66, n. 4, p. 917–931, 17 set. 2020.
- SANTOS, V. et al. DHM and serious games: a case-study oil and gas laboratories. **Work**, v. 41, p. 2279–2283, 2012.
- SCHELL, J. **The Art of Game Design: A Book of Lenses**. 1. ed. Burlington: Morgan Kaufmann Publishers, 2014.
- SHI, V. G. et al. Using gamification to transform the adoption of servitization. **Industrial Marketing Management**, v. 63, p. 82–91, 2017.
- SOARES, M. M. Ergonomics in Latin America: Background, trends and challenges. **Applied Ergonomics**, v. 37, n. 4, p. 555–561, jul. 2006.
- STANNEY, K.; FIDOPIASTIS, C.; FOSTER, L. Virtual Reality Is Sexist: But It Does Not Have to Be. **Frontiers in Robotics and AI**, v. 7, p. 4, 31 jan. 2020.
- THOMAS, D. R. A General Inductive Approach for Analyzing Qualitative Evaluation Data. **American Journal of Evaluation**, v. 27, n. 2, p. 237–246, jun. 2006.
- USKOV, A.; SEKAR, B. Serious games, gamification and game engines to support framework activities in engineering: Case studies, analysis, classifications and outcomes. **IEEE International Conference on Electro Information Technology**, p. 618–623, 2014.
- VAN BELLEGHEM, L. Managerial Simulation: A Tool for Devising Management Organization. In: BAGNARA, S. et al. (Eds.). **Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 80–86.
- VELOSO, C. S. M. et al. Educação empreendedora e as novas diretrizes curriculares nacionais em engenharia. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 23263–23268, 2019.
- VIRZI, R. A.; SOKOLOV, J. L.; KARIS, D. **Usability problem identification using both low- and high-fidelity prototypes**. Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems common ground - CHI '96. **Anais...** In: THE SIGCHI CONFERENCE. Vancouver, British Columbia, Canada: ACM Press, 1996. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=238386.238516>>. Acesso em: 15 jul. 2021
- VOSNIAKOS, G.-C.; DEVILLE, J.; MATSAS, E. On Immersive Virtual Environments for Assessing Human-driven Assembly of Large Mechanical Parts. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 1263–1270, 2017.
- WANBERG, J.; CASTON, M.; BERTHOLD, D. Ergonomics in Alternative Vehicle Design: Educating Students on the Practical Application of Anthropometric Data. **Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications**, v. 27, n. 3, p. 24–29, jul. 2019.
- WANICK, V.; BUI, H. Gamification in Management : analysis and research directions Background. **International Journal of Serious Games**, v. 6, n. 2, p. 57–74, 2019.
- WERBACH, K.; HUNTER, D. **For the win - How Game Thinking Can Revolutionize Your Business**. 1. ed. Philadelphia: Wharton Digital Press, 2012.

WESTHOVEN, M.; ALEXANDER, T. Towards a Structured Selection of Game Engines for Virtual Environments. In: **5th International Conference, VAMR 2013, Held as Part of HCI International 2013**. [s.l: s.n.]. v. 8021p. 142–152.

WILSON, J. R. Virtual environments and ergonomics: needs and opportunities. **Ergonomics**, v. 40, n. 10, p. 1057–1077, out. 1997.

WILSON, J. R. Virtual environments applications and applied ergonomics. **Applied Ergonomics**, v. 30, n. 1, p. 3–9, 1999.

WILSON, J. R.; D'CRUZ, M. Virtual and interactive environments for work of the future. **International Journal of Human Computer Studies**, v. 64, n. 3, p. 158–169, 2006.

WOLFARTSBERGER, J. Analyzing the potential of Virtual Reality for engineering design review. **Automation in Construction**, v. 104, p. 27–37, ago. 2019.

ZAMBERLAN, M. et al. DHM simulation in virtual environments: A case-study on control room design. **Work**, v. 41, n. SUPPL.1, p. 2243–2247, 2012a.

ZAMBERLAN, M. et al. DHM simulation in virtual environments: a case-study on control room design. **Work**, v. 41, p. 2243–2247, 2012b.

ZHOU, D. et al. A method for integrating ergonomics analysis into maintainability design in a virtual environment. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 54, p. 154–163, 2016.

## APPENDIX

TABLE A.1 – DISTRIBUTION OF THE PAPERS ANALYZED ACROSS THE INDUSTRY, EHF DOMAIN AND APPLICATION TYPE CATEGORIES

Category	Subcategory	Papers Identified
<b>Industry</b>	Manufacturing	Aromaa and Väänänen (2016); Bruno et al. (2020); Diego-Mas et al. (2020); Geiger et al. (2020); Havard et al. (2019); Hilt et al. (2021); Horejsi et al. (2020); Li et al. (2018); Michalos et al. (2018); Nicoletti and Padovano (2019); Peruzzini et al. (2021); Plewan et al. (2021).
	Building and Construction	Akanmu et al. (2020); Dias Barkokebas and Li (2021); Getuli et al. (2020); Liang et al. (2019); Nykänen et al. (2020b), (2020a).
	Nuclear	Aghina et al. (2012); Bergroth et al. (2018); Gatto et al. (2013); Liu et al. (2021); Zamberlan et al. (2012).
	Oil and Gas	Koteleva et al. (2020); Kwegyir-Afful et al. (2021); Paravizo and Braatz (2019b; Santos et al. (2012).
	Transport	Deb et al. (2020), (2017); Gregoriades et al. (2015); Kinateter et al. (2014).
	Aerospace	Ernst et al. (2019); Vosniakos et al. (2017).
	Mining	Aromaa et al. (2020); Bellanca et al. (2019).
	Robotics	McGinn et al. (2017).
	Shipbuilding	Favi et al. (2018).
	Other	Chalil Madathil and Greenstein (2017).
<b>EHF Domain</b>	Physical	Aghina et al. (2012); Akanmu et al. (2020); Aromaa et al. (2020); Aromaa and Väänänen (2016); Bruno et al. (2020); Deb et al. (2017); Dias Barkokebas and Li (2021); Favi et al. (2018); Geiger et al. (2020); Getuli et al. (2020); Havard et al. (2019); Hilt et al. (2021); Li et al. (2018); Liang et al. (2019); Michalos et al. (2018); Paravizo and Braatz (2019b); Peruzzini et al. (2021); Santos et al. (2012); Vosniakos et al. (2017); Wolfartsberger (2019).
	Cognitive	Bellanca et al. (2019); Chalil Madathil and Greenstein (2017); Deb et al. (2020); Diego-Mas et al. (2020); Ernst et al. (2019); Gregoriades et al. (2015); Horejsi et al. (2020); Kinateter et al. (2014); Koteleva et al. (2020); Kwegyir-Afful et al. (2021); Liu et al. (2021); McGinn et al. (2017); Nicoletti and Padovano (2019); Nykänen et al. (2020b), (2020a); Plewan et al. (2021); Zamberlan et al. (2012).
	Organizational	Bergroth et al. (2018); Gatto et al. (2013).
<b>Type of Application</b>	Virtual Reality (VR)	Aghina et al. (2012); Aromaa et al. (2020); Bellanca et al. (2019); Bergroth et al. (2018); Deb et al. (2020 (2017); Dias Barkokebas and Li (2021); Diego-Mas et al. (2020); Ernst et al. (2019); Favi et al. (2018); Geiger et al. (2020); Getuli et al. (2020); Gregoriades et al. (2015); Havard et al. (2019); Hilt et al. (2021); Kinateter et al. (2014); Kwegyir-Afful et al. (2021); Li et al. (2018); Liang et al. (2019); Liu et al. (2021); Michalos et al. (2018); Nykänen et al. (2020b (2020a); Peruzzini et al. (2021); Vosniakos et al. (2017); Wolfartsberger (2019).

## APPENDIX

TABLE A.1 – DISTRIBUTION OF THE PAPERS ANALYZED ACROSS THE INDUSTRY, EHF DOMAIN AND APPLICATION TYPE CATEGORIES (CONT.)

Category	Subcategory	Papers Identified
<b>Type of Application</b>	Virtual Environment (VE)	Chalil Madathil and Greenstein, (2017); Gatto et al., (2013); McGinn et al., (2017); Nicoletti and Padovano, (2019); Paravizo and Braatz, (2019b); Santos et al., (2012); Zamberlan et al., (2012).
	Augmented Reality (AR)	Aromaa et al., (2020) Aromaa and Väänänen, (2016); Ernst et al., (2019); Horejsi et al., (2020) Koteleva et al., (2020) Plewan et al., (2021).
	Mixed Reality (MR)	Akanmu et al., (2020) Bruno et al., (2020).

## APPENDIX

TABLE A.2 – SYNTHESIS OF METHODS FOR VE DEVELOPMENT FROM PAPERS ANALYZED

Study / Domain, Focus and Industry	Method Proposed	VE Development	Hardware & Software
<p><b>Wilson (1999)</b></p> <p><b>General, not from the SLR</b></p>	<p>Domain; Application goals; Evaluation Criteria; Evaluation and Comparison; VR/VE attributes; Activities/scenarios; Alternative technologies; Effects on real world; Task and constraints; Task analysis; User needs and characteristics; Goals of VE; VR system specification; VE specification; User functionality; Building the VE; Virtual environment, sensors, effectors; Tasks in the VE; Circumstances of use; User performance; User experience; Attitudes; Usability'; Side effects; Safety performance; Physiological; Psychological</p>		N/A
<p><b>Favi et al. (2018)</b></p> <p><b>Physical, Design, VR</b></p>	<p>Two modules:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Workplace Parametrization (definition of the functional activity, definition of anthropological features, definition of configurable equipment, creation of correlation matrix and definition of configuration options);</li> <li>2. Configuration software tool (Setting of user-specific anthropological features, engagement of end-user through VR to point out the best configuration, automatic BoM generation). Users' feedback links the configuration software tool module back with the workplace parametrization one.</li> </ol>	<p>Three core parts:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. VR environment (in which users will interact through using joystick, HMD or CAVE settings);</li> <li>2. VR-enhanced configuration tool (composed by the graphical user interface - GUI that should enable immersive interaction, the graphic engine - the core of the system that hosts the virtual models and enables user interaction and the data exchange module for communicating with other software employed in the company)</li> <li>3. PLM System (database for generation of BoM based on input from the VR tool).</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3D projector / active wall (CAVE-like setting);</li> <li>- 3D glasses for stereoscopic image viewing (Volfoni EDGE VR);</li> <li>- Joystick (Xbox controller).</li> <li>- 3D modelling (3D Studio Max);</li> <li>- GE (Unity);</li> <li>- PLM software (unspecified).</li> </ul>
<p><b>Koteleva et al. (2020)</b></p> <p><b>Cognitive, Operational Aid, AR</b></p>	<p>Four steps:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determination of the object to study;</li> <li>2. Development of object servicing algorithm (steps for assembly/disassembly, parts replacement, parts status assessment);</li> <li>3. Testing system components (health - if it is working right - checks of the system, data flow and modules);</li> <li>4. Determination of the system efficiency (experimental setting for assessing VE efficiency compared with other methods)</li> </ol>	<p>System structure based in four core modules:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laboratory unit (physical environment containing the object, i.e. oil pump, and sensors);</li> <li>2. Data acquisition and storage module (storage and communication servers for gathering sensor data and inputting to AR software and additional options modules);</li> <li>3. Module of additional software options (for linking the AR software with analytical tools, third party applications, etc.);</li> <li>4. Software module of augmented reality</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unspecified (through the figures it is likely that AR glasses or mobile AR was employed)</li> <li>GE + AR support (Unity with Vuforia plugin);</li> </ul>

Study / Domain, Focus and Industry	Method Proposed	VE Development	Hardware & Software
<p><b>Michalos et al. (2018)</b></p> <p><b>Physical, Analysis, Design, VR</b></p>	<p>VR-based layout evaluation tool flowchart:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Engineer initiates the workplace evaluation</li> <li>2. Operators enter the VE and perform task, engineers observe and control the simulation;</li> <li>3. Generation of Spaghetti Chart and KPIs;</li> <li>4. Engineer evaluates results;</li> <li>5. If redesign necessary, layout modification based on engineers' experience and system suggestions;</li> <li>6. Redesigned layout trigger new cycle of evaluation, otherwise evaluation finishes.</li> </ol>	<p>System configuration comprises seven aspects:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Master PC for running the VE and centralizing data</li> <li>2. PC Cluster connection the master PC with CAVE setup</li> <li>3. CAVE Setup;</li> <li>4. IR cameras for user position tracking;</li> <li>5. Posture detection cameras;</li> <li>6. Wii remotes for interacting with the VE;</li> <li>7. Engineers' interface</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PC and PC Cluster;</li> <li>- 3-wall CAVE setup or Oculus Rift HMD;</li> <li>- IR Cameras (VICON Bonita);</li> <li>- Joystick (Wii remotes);</li> <li>- 3D modelling (unspecified);</li> <li>- GE (Unity);</li> <li>- Virtual Reality Peripheral Network.</li> </ul>
<p><b>Nicoletti and Padovano (2019)</b></p> <p><b>Cognitive, Analysis, VE</b></p>	<p>No information available on overall method employed for VE planning and design.</p>	<p>Three main dimensions considered in the VE design</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Game logic: considering real life procedures and protocols (for emergency situations);</li> <li>2. Dynamic evolution of the environment: simulation of fire parameters (level, gravity of the emergency, weather, etc.);</li> <li>3. External aids and interactions in game/with other users (police, ambulance, fire fighters, employees, behaviors, etc.)</li> </ol>	<p>Hardware (not explicitly reported but illustrated in figures):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- PC with mouse and keyboard;</li> <li>- Projector.</li> <li>- GE (serious game platform, unspecified)</li> </ul>
<p><b>Nykänen et al. (2020b)</b></p> <p><b>Cognitive, Education/Training, VR</b></p>	<p>VR-safety training process:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Need analysis with industry focusing on accidents and safety priorities;</li> <li>2. Intervention development workshop process for the content and learning goals definition;</li> <li>3. Safety experts external validation.</li> </ol>	<p>VR environment development:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. VR framework for simple interactions;</li> <li>2. Pedagogical framework following View-Unit-Task-Step strategy, active learning;</li> <li>3. Visualization framework for player movement and VR exploration - 3-tier design principle for 3D models/VE: primary pedagogical objects (higher resolution, vibrant and realistic colors); secondary pedagogical objects (lower resolution, simplified colors), objects with no pedagogical value (low resolution, low contrast colors).</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- HTC Vive.</li> <li>- GE (Unity), C# scripting.</li> </ul>

Study / Domain, Focus and Industry	Method Proposed	VE Development	Hardware & Software
<b>Paravizo and Braatz (2019b)</b> <b>Physical, Analysis, VE</b>	Representation of real work situation for EHF assessment	VE design: 1. Virtual environment; 2. Digital human; 3. Analysis; 4. Interaction.	- PC, keyboard and mouse. - GE (Unreal Engine), - DHM (Adobe Fuse and Mixamo); - CAD (unspecified).
<b>Peruzzini et al. (2021)</b> <b>Physical, Design, VR</b>	Virtual Manufacturing Methodology: 1. Creation of virtual scene in Unity using 3D CAD models for recreating the workstation layout; 2. Setup of Leap Motion controller for free hand interaction; 3. Setup of Xsens mocap system and sensors' suit for users' full body interaction and posture capture; 4. Scripting for merging the different tools/points of view; 5. Simulation: user wears HMD and performs task sequence while immersed in VR. Mocap system records user movements from Unity; 6. Export to Jack: after the simulation selected operations and postures are isolated and sent to Jack, via Xsens, for ergonomics evaluation; 7. Ergonomics evaluation: posture files in Jack are processed and analyzed in terms of posture assessment tools (RULA, REBA OWAS).		- Mocap system (Xsens); - Hand tracking system (Leap Motion); - VR Headset (HTC Vive Pro). - GE (Unity); - CAD (Unspecified); - DHM (Jack)
<b>Santos et al. (2012)</b> <b>Physical, Education/ Training, VE</b>	Simulator development: 1. Building the 3D environment based on 2D CAD; 2. Creation of custom furniture and workstation database, compliant with national standards; 3. Creation of equipment database from real life equipment; 4. DHM from 3D scanning and mocap technology; 5 Implementation in the GE with scripts and setups.		- Mocap system (Xsens Moven); - 3D Scanning (Cyberware whole body / head and face color 3D scanner). - GE (Unity); - CAD (Sketchup); - DHM (Motionbuilder, 3D Studio Max) - Mocap system (Microsoft Kinect II); - HMD (Oculus Rift DK2). - GE (Unity); - CAD (CATIA V5); - DHM (Evolver); - Recordings (AV Pro Movie Capture plugin)
<b>Vosniakos et al. (2017)</b> <b>Physical, Analysis, VR</b>	Virtual Assembly Process Assessment for Large Parts development: 1. creating or importing the virtual objects; 2. creating an avatar with appropriate kinematics; 3. adding interactions between the user and the assembled objects; 4. scripting the scenario for testing.		

Study / Domain, Focus and Industry	Method Proposed	VE Development	Hardware & Software
<b>Wolfartsberger (2019)</b>  <b>Physical, Design, VR</b>	A. CAD Data Preparation: 1. Native CAD data (high-detail 3D); 2. 3D Editable mesh (optimization 3D shape for VR); 3. Interactive 3D model (Interaction scripts and VR visualization).  B. Interaction Design: - Looking & walking, touching & highlighting, grabbing, separating & merging, hiding & showing objects, teleport.		- PC (VR ready workstation); - VR headset (HTC Vive) - GE (Unity); - CAD (CATIA, NX, 3D Studio Max, Blender)
<b>Zamberlan et al. (2012)</b>  <b>Cognitive, Design, VE</b>	Simulator development: 1. Building the 3D environment based on 2D CAD; 2. Creation of custom furniture and workstation database, compliant with national standards; 3. Creation of equipment database from real life equipment; 4. DHM from 3D scanning and mocap technology; 5 Implementation in the GE with scripts and setups.		- Mocap system (Xsens Moven); - 3D Scanning (Cyberware whole body / head and face color 3D scanner). - GE (Unity); - CAD (Sketchup); - DHM (Motionbuilder, 3D Studio Max)
<b>Akanmu et al. (2020)</b>  <b>Physical, Education/ Training, Mixed</b>	System architecture for cyber-physical postural training: - Sensing layer: mocap system and VR headset capturing user postures and movements; - Modelling layer: posture extraction and reinforcement learning models' implementation; - Data Layer: kinematic data analysis and risk classification, as well as posture practice, knowledge, assessment and feedback modules; - Visualization layer: VR hardware, virtual construction site and user interface.	Prototype constituents: - Virtual environment and resources (environment and objects); - Human avatar (custom made); - User Interface; - Mocap integration with avatar in the VE; - Posture assessment and risks levels visualization in avatar colors; - Binding virtual and physical resources - Vive trackers attached to real objects that were manipulated to change virtual objects position.	- VR Headset (HTC Vive Pro); - Mocap system (PrioVR wearable sensor); - Physical objects (Vive trackers); - PC - GE (Unity); - DHM (3D Studio Max).

Study / Domain, Focus and Industry	Method Proposed	VE Development	Hardware & Software
<p><b>Aromaa et al. (2020)</b></p> <p><b>Physical, Analysis, AR</b></p>	<p>Test set-up:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Goal;</li> <li>- Design object.</li> </ul>	<p>VP design framework:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Human task/activity;</li> <li>- System model (static model characteristics, dynamic model characteristics);</li> <li>- Interface (sensory modalities, means of manipulation);</li> <li>- Technology (virtual reality technologies);</li> <li>- Test models (evaluation methods and tools).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- VR Headset (HTC Vive Pro);</li> <li>- Joysticks (Logitech Attack 3);</li> <li>- Hand tracking (Leap Motion).</li> <li>- GE (Unity);</li> <li>- CAD (Blender)</li> <li>- UI sprites (Inkscape, Gimp)</li> </ul>
<p><b>Bellanca et al. (2019)</b></p> <p><b>Cognitive, Analysis, VR</b></p>	<p>VR Mine Framework features:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Logging (data saving and extraction from objects, equipment, environment);</li> <li>- Mine creation and population (mine geometry, features and equipment);</li> <li>- Mine Network (in-game logic for communication);</li> <li>- Experiment configuration (running experimental trials);</li> <li>- Proximity detection systems (customizable);</li> <li>- Real-time Ventilation Model (for simulation of smoke, methane, etc.)</li> <li>-</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- VR Headset (unspecified).</li> <li>- GE (Unity).</li> </ul>
<p><b>Dias Barkokebas and Li (2021)</b></p> <p><b>Physical, Analysis, VR</b></p>	<p>Overall methodology:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inputs (workplace, task, participant);</li> <li>- Main processes (design VR application, design questionnaire, conduct experiment, analyze data, assess ergonomic risks, compare risk ratings);</li> <li>- Outputs (ergonomic risk assessment; verification of VR suitability to ergonomic analysis, improvements to VR application).</li> </ul>	<p>VR application design methodology:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Information on the task, workstation design, and workers interactions (drawings, site visits);</li> <li>2. Design or manipulate 3D model of the workplace;</li> <li>3. Develop user interactions;</li> <li>4. Verify if the VR environment matches the real environment to the desired degree (site/lab visits);</li> <li>5. Revise VR application (optional);</li> <li>6. Run pilot test;</li> <li>7. Analyze pilot test results;</li> <li>8. Verify level of accuracy and possible improvements</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- VR Headset (HTC Vive);</li> <li>- PC;</li> <li>- TV Monitor (75").</li> <li>- GE (Unity);</li> <li>- CAD (3D Studio Max).</li> </ul>

Study / Domain, Focus and Industry	Method Proposed	VE Development	Hardware & Software
<b>Ernst et al. (2019)</b> <b>Cognitive, Analysis, AR, VR</b>	XRSim Simulation environment - XR Simulator PC: XRSim-Display (data IO plugin, texture input plugin, Unity's XR module); XRSim-Control, Experiment, Scene, Flight Simulation (DLR helicopter model, X-Plane), Primary flight display, navigation display; - Data Record PC: recorded data; XRSim-Record; - Flight Controls; - Cockpit Instruments PC: primary flight display, navigation display; - Outside Vision PCs: Scene, XRSim; - HWD.		- Headworn Display (Elbit JEDEYE); - AR Glasses - GE (Unity), scripting with C#; - Flight simulator

## **6. ARTIGO 4 – “UTILIZAÇÃO DE AMBIENTE VIRTUAL PARA ENSINO DE ERGONOMIA: ESTUDO PILOTO E PROTOCOLO QUASI-EXPERIMENTAL”**

Nessa seção serão apresentados os desenvolvimentos que subsidiarão a construção do Artigo 4. Destaca-se que o enfoque nesse momento é apresentação dos resultados obtidos, i.e. o AV virtual desenvolvido e subsequente teste piloto que subsidiam a proposição do protocolo quasi-experimental para avaliação da efetividade do AV enquanto atividade de ensino de ergonomia.

### **6.1. OBJETIVO**

O Artigo 4 tem como objetivos:

- a) desenvolvimento do ambiente virtual em game engine para ensino de ergonomia em engenharia, com base no framework proposto no Artigo 3;
- b) avaliar a utilização do AV criado em teste-piloto com estudantes e a partir de entrevistas com docentes;
- c) estruturar um protocolo quasi-experimental para avaliação da eficácia do uso do AV como atividade de ensino de ergonomia.

O artigo emprega a abordagem de métodos mistos, articulando análises de cunho quantitativo e qualitativo. De modo geral, o artigo está estruturado em 5 seções: a) introdução e literatura relevante; b) materiais e método; c) resultados; d) proposição do protocolo quasi-experimental e e) discussão e considerações. Reitera-se que o foco da exposição, nesse momento, são as seções que descrevem os materiais e métodos, resultados e proposição do protocolo. As demais seções são abordadas de maneira simplificada.

### **6.2. INTRODUÇÃO E LITERATURA RELEVANTE**

Na seção introdutória do artigo será contextualizada a temática do ensino de ergonomia e as abordagens possíveis para a estruturação das disciplinas no ensino de graduação. Tal contextualização será construída a partir do texto apresentado na seção 2.3 do trabalho. Ademais, serão apresentados os fundamentos relacionados a abordagem de aprendizagem baseada em jogos discutida na seção 2.4, para embasar o desenvolvimento do AV que será empregado como atividade de ensino de ergonomia.

Textos relevantes complementares, relatando experiências de uso de jogos em contextos de ensino em áreas correlatas (design, PDP, etc.) serão apresentados para criar um panorama do estado da arte dessa abordagem.

A respeito da utilização de GE em ergonomia, diversos estudos já abordaram o tema. Gaisbauer et al. (2018) relatam o uso combinado de um GE e de uma ferramenta DHM para desenvolver a simulação de tarefas de montagem, melhorando o realismo e incorporando os aspectos de DHM no AV criado em GE. Park e Reed (2019) utilizaram um GE para criar uma aplicação de RA para avaliar o conforto de passageiros em veículos, com possibilidade de análises de interação entre manequins digitais e objetos físicos. Para a avaliação do alcance, visibilidade e utilização de ferramentas em processos de protótipos virtuais, Aromaa e Väänänen (2016) utilizaram tanto aplicações de RV e RA construídas em GE.

Outras aplicações das GEs são verificadas durante os processos de concepção. Por exemplo, Madni (2015) empregou uma GE para promover o envolvimento dos atores do projeto a partir de um sistema de narrativas em AV. Hjelseth et al. (2015) utilizaram a GE para concepção e simulação no setor marítimo, destacando a utilidade da GE como uma ferramenta de concepção para modelar cenários de usuários em sistemas complexos e para promover a convergência nas fases conceituais de concepção.

Num estudo recente, Paravizo e Braatz (2019a) discutem três VE criados em GE, resumindo as principais possibilidades que as GE trazem para a análise, projeto e educação em EFH. Estas possibilidades incluem os ambientes gráficos 3D de alta qualidade criados, a natureza em tempo real dos AV, o conceito de agência (onde o usuário é o agente da exploração, podendo explorar e interagir livremente com os objetos e ambientes), o suporte a criação de manequins humanos digitais personalizados, a possibilidade de implementar rotinas de simulação, a multiplicidade de possíveis interações e, finalmente, o apoio à implementação de aplicações de RV e RA.

### 6.3. MATERIAIS E MÉTODO

Nessa seção serão detalhados o desenvolvimento do ambiente virtual em game engine (incluindo uma breve descrição do caso e fontes de informação usadas), o estudo piloto (destacando os participantes, procedimento, questionários e análises realizadas) e as entrevistas (também destacando os participantes, procedimentos e análises realizadas).

### 6.3.1. Desenvolvimento do AV

#### 6.3.1.1. Objetivos de Aprendizagem da Atividade

Essa atividade de ensino utilizando o AV tem foco principal na proposição de soluções de projeto para uma situação de trabalho, com base em um diagnóstico existente (descrição do caso, baseada na estrutura de contexto/demanda, tarefa, atividade). Desse modo, os **objetivos de aprendizagem** pontuais dessa atividade de ensino de ergonomia, utilizando o AV são relacionados à compreensão:

- i) dos elementos de uma análise do trabalho previamente realizada;
- ii) de como diferentes propostas de projeto podem afetar o trabalho;
- iii) dos processos de priorização de problemas identificados;
- iv) de como a simulação pode ser utilizada para antecipar problemas e testar alternativas.

#### 6.3.1.2. O Caso Real Base do AV

O caso no qual se baseia a construção do AV é baseado em experiências reais vivenciadas por um dos orientadores desta pesquisa entre os anos 2007-2012, durante sua atuação com o consultor de ergonomia em uma grande empresa da indústria química.

O contexto da situação é a recém construção de 4 espaços ao lado da nova portaria social com objetivo inicial de alocar 4 agências bancárias. No entanto, das 3 agências atualmente instaladas na empresa, uma decidiu encerrar as operações neste local, deixando um espaço vago nessa área originalmente destinada à agência.

Para ocupar o espaço vazio alguns setores que possuem interação com público externo da empresa e que apresentavam problemas com as atuais instalações foram procurados para saber se possuíam interesse em se mudar para esta edificação recém-concluída. A ideia inicial do corpo técnico da empresa era criar um local de oferta de serviços inspirado no formato de “Poupatempo”<sup>4</sup>. A área disponível para o projeto dos setores é ilustrada na Figura 4.

---

<sup>4</sup> O Poupatempo é órgão gerido pelo governo do estado de São Paulo que oferece diversos serviços distintos de emissão de documentações (CNH, RG, etc.) em um mesmo lugar, sendo caracterizado pelo grande volume e velocidade de atendimento.

**Figura 4** - ilustração da área disponível para o projeto do espaço de trabalho



Dada essa introdução ao caso, são apresentadas descrições dos setores que serão projetados: Setor 1 - Segurança Patrimonial (SegPat) e Setor 2 – Serviço de Apoio administrativo às empresas Terceirizadas (SAT). O Quadro 1 sintetiza as informações passadas sobre cada um dos setores.

O setor de **SegPat** é uma unidade de atendimento para todos os trabalhadores contratados por empresas terceirizadas. Os terceiros devem entregar nesse setor uma documentação específica, preencher formulários, tirar foto para crachá e posteriormente retornar para retirada deste documento. Nesse setor, a sequência do principal fluxo de atendimento é:

- funcionários A (2 funcionários) recebem documentação, inserem dados no sistema, tiram foto para o crachá e comunica funcionário B que o cadastro está ok;
- funcionário B confere dados do trabalhador e da empresa (contrato), após validação inicia impressão do crachá; confere o crachá e entrega para funcionário C;

- funcionário C confere crachá, entrega para trabalhador junto com documentação e pede que o mesmo assine comprovante de recebimento do crachá e documentos após conferência dos mesmos.

Já o setor de **SAT** tem como principal função o atendimento ao preposto (funcionário encarregado por questões administrativas) das empresas terceirizadas, recebendo toda a documentação necessária (incluindo contrato e finanças) da empresa terceirizada para validação e liberação do início das atividades da empresa contratada junto à indústria de processo contínuo. Os principais atendimentos nesse setor se dão:

- no início ou renovação de contrato - o preposto da terceirizada comparece ao setor SAT para entrega e conferência do processo de contratação, incluindo verificação de pendências e próximos passos, até liberação da empresa para iniciar a prestação do serviço;
- ao longo da prestação de serviços - é possível que algum documento seja necessário ser atualizado ou inserido devido às mudanças de normas (internas ou externas), acordos com fornecedores ou clientes, ou ainda portarias e legislações governamentais ou de órgãos de controle e fiscalização.

Dado esse contexto, o desafio relacionado ao caso é o projeto de arranjo físico dos setores apresentados, considerando suas especificidades e diferentes atividades, no espaço originalmente pensado para ser uma agência bancária.

#### 6.3.1.3. Fontes de Informação sobre o Caso

Para elaboração das descrições supracitadas, diversas fontes de informação a respeito da situação real foram utilizadas:

- Documentos, vídeos, fotos e plantas CAD da situação original;
- Relatórios de propostas de projeto realizado pela equipe de ergonomia que atuou no local;
- Entrevista com consultor de ergonomia que atuou no projeto do local.

**Quadro 1 - Síntese informações setores**

<b>Aspectos relacionados à...</b>	<b>Setor 1 – SegPat</b>	<b>Setor 2 – SAT</b>
<b>Tarefa</b>		
Número de trabalhadores	4, sendo 2 para cadastro de novos trabalhadores e 2 para emissão de crachás e controles internos.	3, sendo dois para atendimento aos representantes das empresas e um para conferência de contratos, em especial relacionados à documentação de Segurança do Trabalho (exames admissionais e treinamentos necessários)
Horário de atendimento público	8h-12h	9h-17h
Tempo médio de duração de atendimento	5-10 min	30 – 50 min
Número médio atendimentos (ano, dia)	média anual de 1500-2000 atendimentos/ano; média diária entre 10 - 40 atendimentos (sazonalidade devido ao número de contratos e épocas de manutenção programada - paradas).	média anual de 800-1000 atendimentos/ano; média diária entre 5 - 10 atendimentos (sazonalidade devido ao número de contratos e épocas de manutenção programada – paradas)
Mobiliário disponível atualmente	01 balcão de atendimento simples; 01 estação de trabalho para fotografia e 02 estações de trabalho para trabalho interno	3 estações de trabalho para trabalhadores do setor; 1 estação de trabalho simples com computador para uso do preposto; 1 mesa de reuniões.
Visão da empresa	atendimento precisa ser mais ágil e profissional. Existe uma preocupação com a qualidade de conferência dos dados inseridos nos crachás, em especial para facilitar a identificação pela foto	atendimento mais criterioso para evitar problemas na execução dos contratos, em especial atraso e multas. Existe uma preocupação com a qualidade da informação fornecida e resolução rápida de pendências apresentadas pelas empresas prestadoras de serviço
<b>Atividade</b>		
Reclamações/ sugestões dos trabalhadores	Ruído de conversas dos terceiros que estão esperando; Gostariam de ter acesso à copa; Alguns problemas de fluxo de informações e pessoas (contrafluxos) podem ser melhorados	Ruído de conversas dos terceiros que estão esperando; Gostariam de ter acesso à copa; Necessitam de acesso à sala cofre – guarda de documentos; Documentos sigilosos/sensíveis (financeiro, saúde) – cuidado com acesso; Espaço para organização documentos e discussão com preposto
Reclamações/sugestões dos terceirizados	Falta de local adequado para espera; Confusão no fluxo – onde ir primeiro?	Falta de local adequado para espera; Necessidade de imprimir/acessar documentos; Espaço para organizar documentos e discussão com funcionários do setor

#### 6.3.1.4. Criação do AV Seguindo o Framework Proposto

O processo de criação do AV em GE seguiu o framework delineado no Artigo 3. A descrição detalhada do desenvolvimento do AV a partir das etapas do framework são explicitadas no Quadro 2. As Figuras Figura 5 Figura 7 ilustram etapas do processo de criação do AV na GE. Um vídeo demonstrando sistema e o próprio AV podem ser acessados aqui<sup>5</sup>. A Figura 8 sintetiza a estratégia empregada para validação do AV e atividade.

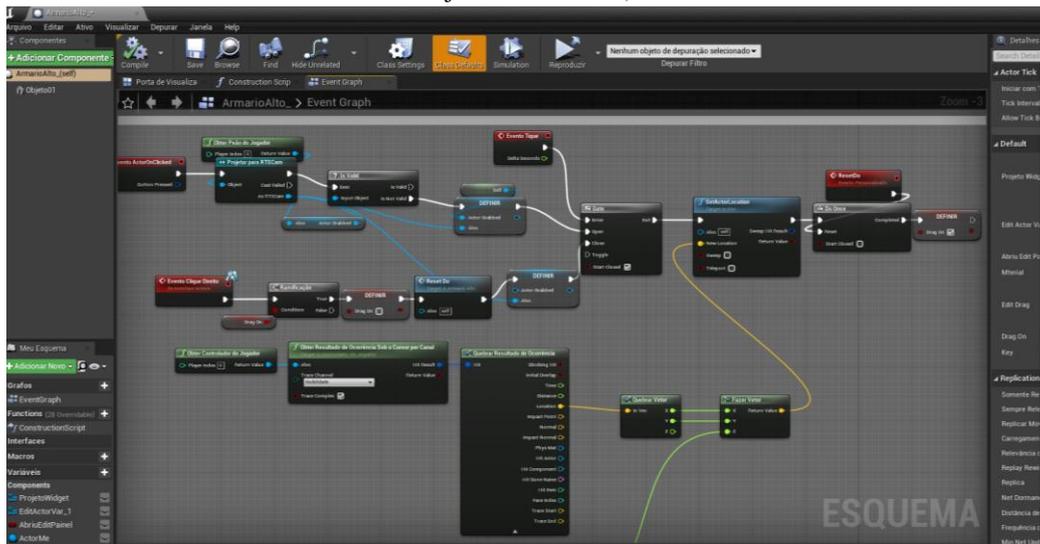
---

<sup>5</sup> Vídeo de demonstração do AV: <https://youtu.be/PuitYtyTcUQ>. Para download do AV (~1GB): <https://1drv.ms/u/s!AlhRAAtQp24UqiOYxV5-jPF1DOKpTrg?e=ODssEC>

**Figura 5** - Visão geral da criação do AV na Unreal Engine, com destaque para as ferramentas de edição e customização do ambiente 3D existentes na GE



**Figura 6** - Exemplo de programação visual para implementação de funcionalidade (arrastar objeto), sendo que cada caixa (node) equivale a uma instrução (e.g., o node SetActorLocation define a posição do objeto no ambiente).

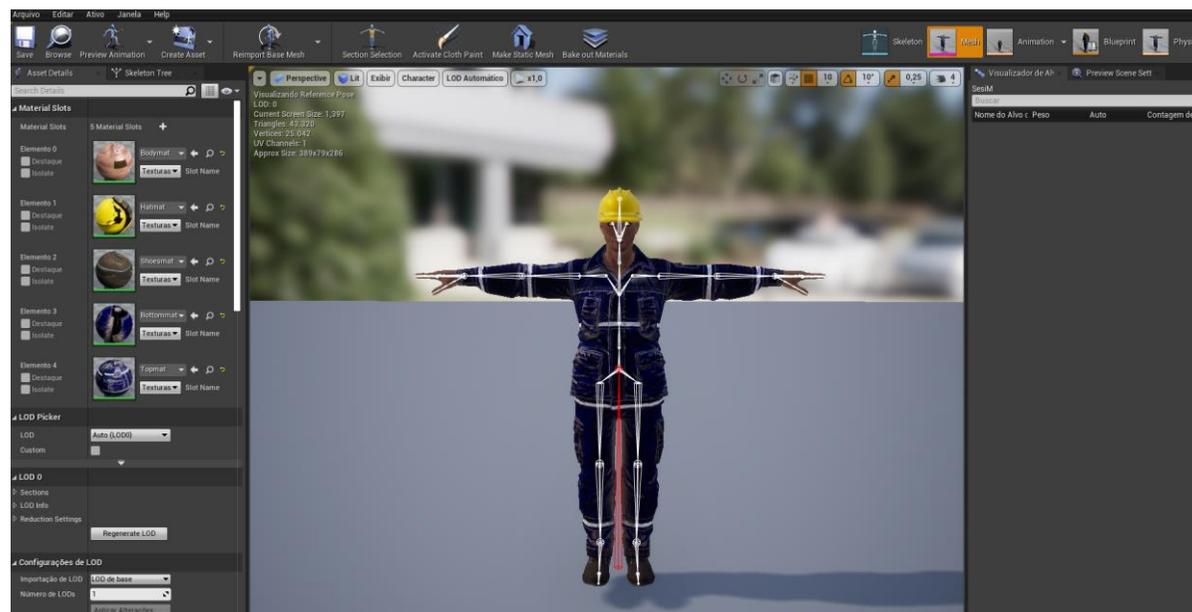


**Quadro 2 - Síntese da descrição do desenvolvimento do AV seguindo a framework proposta**

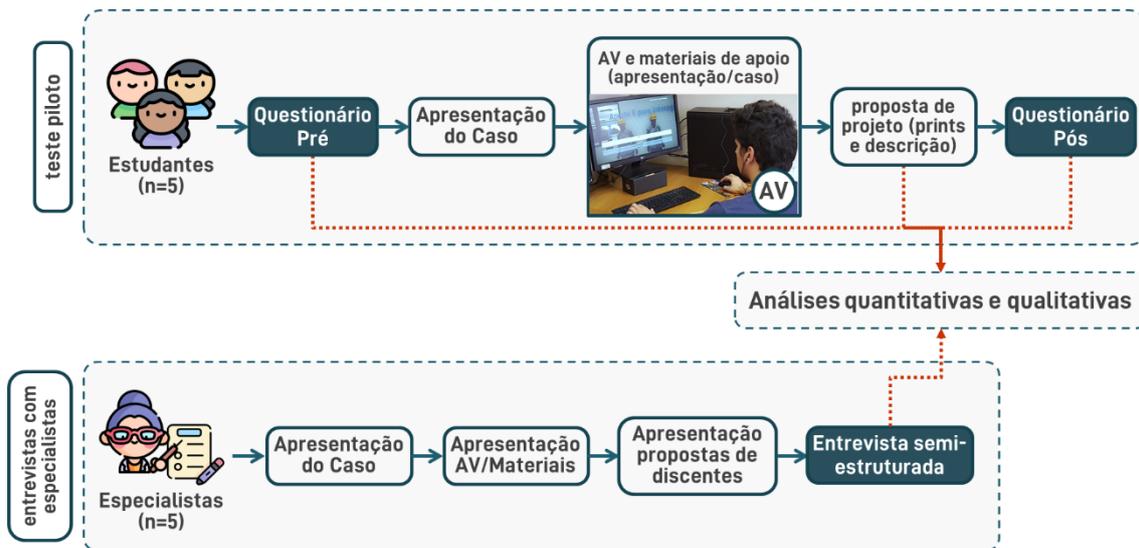
<b>Etapa</b>	<b>Atividade</b>	<b>Resultado</b>	
<b>Decisão de alto nível sobre o AV</b>	Objetivo da pesquisa	Avaliação da eficácia de AV para ensino de ergonomia	
	Campos da ergonomia mobilizados	Física (layout do espaço de trabalho, questões ambientais, e.g. ruído, temperatura, iluminação), Organizacional (organização do trabalho, comunicação, fluxo de informações e processos), Cognitiva (Confiabilidade humana, stress)	
	Contexto da indústria	Indústria de processo contínuo, foco em atividade administrativa	
	Definição do objetivo do AV	Possibilitar o projeto do layout dos setores analisados e subsequente discussão/simulação das propostas	
	Requisitos de alto nível	Uso em PC, sem hardware especial (i.e. sem uso de RV/RA), implementação de catálogo de objetos, funções de edição de layout e visualização, interface e uso intuitivas.	
	Resultados esperados	Propostas de projeto para resolução do caso que solucionem os problemas apresentados, maior compreensão dos alunos a respeito da prática do projeto.	
<b>Decisão sobre os requisitos do AV</b>	Requisitos dos pesquisadores	Maximização do aproveitamento de materiais existentes e desenvolvimentos anteriores, incorporação de personagens (NPCs) para promover reflexão sobre atividade futura	
	Requisitos técnicos	Minimização da necessidade de programação em linguagem formal (C++); AV flexível/escalável para computadores menos potentes; tamanho do arquivo (menor possível)	
	Requisitos dos usuários	Interface simples e fácil de utilizar, flexibilidade de propostas possíveis	
<b>Escolha da tecnologia</b>	Definição da GE a ser utilizada	Unreal Engine 4.26.2 - baseada na experiência anterior com a GE, existência de assets e plugins que facilitam o desenvolvimento, possibilidade de uso de programação visual, gratuidade.	
	Definição da tecnologia de interação	Computador (Windows), usando mouse e teclado para interação - devido a natureza do AV, a indisponibilidade de hardware de RV/RA, e a tentativa de alcançar o maior número possível de alunos/usuários	
<b>Desenvolvimento do AV</b>	Projeto e planejamento da aplicação	Aplicação piloto planejada para ser realizada com alunos, para validar a factibilidade de uso do AV. Questionários pré-pós para coleta de percepções e análise dos resultados e comentários obtidos pelos alunos. Ferramentas utilizadas para o projeto do ambiente: software CAD (AutoCAD, 3DS Max) para criação de modelos 3D, Adobe Fuse, Mixamo e Metahuman Creator para criação de manequins humanos, Adobe Illustrator para criação de elementos gráficos de interface de usuário.	
	Implementação do VE em GE	Funcionalidades	Catálogo de objetos (móveis, equipamentos, divisórias); personagens humanos em situações típicas (trabalhando em PC, em espera sentado, em espera em pé); projeto de layout (movimentação de objetos, cópia, remoção, etc.); visualização (diversas câmeras, possibilidade de exploração em terceira pessoa.
		Interações	Interação via mouse e teclado; interface de usuário com botões para adição e manipulação de objetos, feedback visual e auditivo (efeitos sonoros decorrentes das atividades no sistema)
		Ambiente	Foco nos aspectos físicos do ambiente (espaço físico, móveis e equipamento típico), informações sobre o caso apresentadas for a do AV; ambientação sonora
		Manequins	Foco na representação de atividades típicas (através de animações) e aparência condizente com o contexto do caso (uniforme)

	Informações da situação real utilizadas	Baseadas em documentos, verbalizações, vídeos sobre a situação, conforme detalhado nas seções 6.3.1.1 e 6.3.1.2
	Validação do AV	Pautada em testes de uso e teste piloto para verificar se usuários conseguem realizar de fato propostas de projeto que satisfaçam os problemas apresentados no caso
<b>Uso e avaliação do AV</b>	Aplicação do AV	Aplicação piloto com estudantes de graduação em engenharia; explicação do problema (30min) e subsequente exploração e desenvolvimento da proposta por parte dos alunos; questionários pré/pós uso do AV aplicados e resultados das propostas registrado em prints e descrição da proposta
	Análise dos resultados	Análise dos questionários e comentários, avaliação das propostas, avaliação externa da atividade como um todo (entrevistas com docentes)
	Lições Aprendidas	Definição de protocolo para avaliação da eficácia do uso de AV para ensino de ergonomia. Futuras melhorias: funcionalidade de medição de distância, salvar propostas, rascunho.

**Figura 7** – Ambiente de edição de personagem dentro da Unreal Engine (com funcionalidades para customização de posturas, aparência, animações).



**Figura 8** – Estrutura do processo de validação do AV, contemplando teste piloto com estudantes e entrevistas com especialistas



### 6.3.2. Teste Piloto

Nessa seção são apresentadas as etapas de recrutamento de participantes, procedimento empregado, questionários e análises realizadas para avaliação do estudo piloto. O objetivo principal do teste piloto pode ser detalhado em duas dimensões:

- i) validar o **uso do AV** criado (i.e. verificar se os participantes conseguiram utilizar o sistema) e
- ii) validar a **atividade de ensino de ergonomia** (i.e. os participantes conseguiram compreender o problema apresentado e projetar uma solução, utilizando o AV que resolvesse os problemas apresentados).

#### 6.3.2.1. Participantes - Alunos

Os participantes foram recrutados a partir das redes de contatos do aluno e orientadores. A única restrição imposta para recrutamento dos participantes foi que os participantes fossem alunos de graduação em engenharia. No total, sete discentes de cursos de engenharia se voluntariaram a participar do estudo piloto, no entanto somente cinco conseguiram participar efetivamente. O número reduzido de participantes se deu, principalmente, devido a restrições de tempo. No entanto, para o teste-piloto, tal quantidade de participantes foi suficiente para alcançar os objetivos estabelecidos para o teste-piloto. A caracterização dos participantes do estudo piloto é feita na seção 6.4.1.

### 6.3.2.2. Procedimento

A partir da confirmação da participação dos estudantes, um link com o AV que foi utilizado durante o piloto, para que realizassem o download e tentassem abrir o arquivo. Essa etapa visava garantir que todos os participantes conseguissem utilizar o AV durante o estudo piloto. Dois participantes não conseguiram realizar esse teste – um deles possuía sistema operacional Linux (impossibilitando o uso do AV que é um executável para sistemas Windows) e o segundo não conseguiu instalar os drivers (que são instalados automaticamente no computador, na primeira vez que se abre o AV) por estar usando um computador corporativo que bloqueava instalações.

O estudo piloto em si ocorreu na modalidade a distância, através de reunião via Google Meet. Imediatamente antes do início da reunião, foi enviado link para os participantes preencherem um pré-questionário (detalhado na seção a seguir). Foram realizados 2 encontros para realização do piloto – o primeiro com quatro participantes, o segundo com somente um.

O objetivo principal desses encontros era a apresentação do caso (através de apresentação de slides contendo, essencialmente, a caracterização do caso apresentada na seção 6.3.1.1), demonstração do funcionamento do sistema (através de vídeo<sup>6</sup> de demonstração) e esclarecimento de eventuais dúvidas. A duração do evento foi inicialmente estimada em uma hora, sendo que a apresentação do caso e sistema contabilizaram um total de 30 minutos.

Ao término da explicação do caso e da utilização do AV, os participantes foram instruídos a utilizar o AV para projetarem uma solução ao caso apresentado. Durante o restante do tempo do encontro (cerca de 30 min.) os participantes utilizaram o AV com foco em identificar eventuais dúvidas ou problemas com o sistema. Ao término do evento os participantes foram instruídos a proporem uma proposta de projeto em até 5 dias corridos. Os participantes foram instruídos a enviar capturas de tela e comentários da proposta realizada para registro e análise posterior.

Após o recebimento das propostas dos alunos, foi enviado o pós-questionário (detalhado na seção a seguir). Um feedback geral da proposta, apresentando inclusive as soluções reais verificadas no caso original foi passada aos participantes.

---

<sup>6</sup> Vídeo de demonstração do AV: <https://youtu.be/PuitYtyTcUQ>.

### 6.3.2.3. Questionários

Dois questionários foram elaborados: um questionário pré-uso do AV e questionário pós-uso do AV, visando possibilitar a identificação de mudanças decorrentes da utilização do AV. O questionário pré-uso do AV contemplou 5 blocos principais de questões: a) background dos participantes, b) experiência no tema/ferramentas, c) experiência com jogos digitais, d) compreensão teórica e e) percepção de conhecimento no tema. As questões e respectivas escalas empregadas no questionário pré-uso são apresentadas no Quadro 3 - Questões do questionário aplicado no momento pré-utilização do AV

De forma similar, o questionário pós-uso do AV contemplou 6 blocos de questões: a) compreensão teórica (idem às questões do questionário pré-uso), b) tempo de uso do AV, c) percepção de benefícios do AV, d) percepção de usos possíveis do AV, e) usabilidade e f) comentários. As questões e respectivas escalas empregadas no questionário pós-uso são apresentadas no Quadro 4.

Destaca-se que as questões do bloco de compreensão teórica se baseiam nos conceitos de ergonomia e projeto discutidos na seção de referencial teórico da dissertação, particularmente aos textos de Dul et al. (2012), Guérin et al. (2001) e Daniellou (2007). As questões do bloco de usabilidade do questionário pós-uso do AV seguem a escala de avaliação de usabilidade (SUS) em português, apresentado por Martins et al. (2015). As questões dos blocos de compreensão teórica (pré/pós), de percepção de conhecimento do tema (pré-uso), percepção de benefícios do AV e percepção de usos possíveis do AV (pós-uso) visam contribuir para a verificação do atingimento dos objetivos de aprendizagem da atividade de ensino utilizando o AV.

**Quadro 3 - Questões do questionário aplicado no momento pré-utilização do AV**

<b>Bloco</b>	<b>Questão</b>	<b>Escala</b>
<b>Background dos participantes</b>	Gênero	Feminino, masculino, prefiro não dizer, outro (indicar)
	Idade	Resposta numérica
	Curso/Ano Ingresso	Resposta textual
	Cursou alguma das disciplinas abaixo?	Desenho técnico, ergonomia, projeto do trabalho, projeto de unidades produtivas, outra (indicar)
<b>Experiência no tema/ ferramentas</b>	Tenho bom conhecimento teórico sobre ergonomia.	Likert 5-pontos (1-Discordo totalmente, 5-Concordo totalmente)
	Tenho experiência prática em ergonomia.	
	Tenho experiência prática em projeto.	
	Tenho experiência em ferramentas de projeto (CAD, modelagem 3D, etc.)	
<b>Experiência com jogos digitais</b>	Tenho experiência em ferramentas de desenho gráfico (Illustrator, Corel, Photoshop etc.)	Likert 5-pontos (1-Nunca, 5-Sempre)
	Frequência de uso de jogos eletrônicos no computador (ex. Counter-Strike, The Sims etc.)	
<b>Compreensão teórica</b>	Frequência de uso de jogos eletrônicos no videogame (ex. Counter-Strike, The Sims etc.)	Likert 5-pontos (1-Discordo totalmente, 5-Concordo totalmente)
	A ergonomia possui uma visão sistêmica das situações que analisa.	
	A ergonomia busca melhorar ao mesmo tempo as condições de trabalho (saúde, segurança e bem-estar) e o desempenho operacional.	
	A ergonomia é orientada ao projeto.	
	A compreensão da tarefa e condicionantes do trabalho é parte importante da análise ergonômica.	
	A compreensão da atividade real e variabilidades é parte importante da análise ergonômica.	
	O envolvimento dos trabalhadores nas etapas da análise ergonômica é importante.	
	O envolvimento dos trabalhadores no projeto da situação analisada é importante.	
	Ferramentas físicas (p. ex. rascunhos, maquetes, prototipagem etc.) auxiliam a promoção da participação no processo de projeto.	
	Ferramentas digitais tradicionais (p. ex. CAD, simulação humana, mock-up digital etc.) auxiliam a promoção da participação no processo de projeto.	
<b>Percepção de conhecimento do tema</b>	Ferramentas digitais não convencionais (p.ex. Simulação de eventos discretos, realidade virtual/aumentada, jogos) auxiliam a promoção da participação no processo de projeto.	Likert 5-pontos (1-Discordo totalmente, 5-Concordo totalmente)
	Em geral, eu compreendo como o espaço físico impacta a atividade das pessoas	
	Com as ferramentas que conheço hoje, me sinto capaz de realizar uma atividade de projeto	

**Quadro 4 - Questões do questionário aplicado no momento pós utilização do AV**

<b>Bloco</b>	<b>Questão</b>	<b>Escala</b>
<b>Compreensão teórica</b>	A ergonomia possui uma visão sistêmica das situações que analisa.	Likert 5-pontos (1-Discordo totalmente, 5-Concordo totalmente)
	A ergonomia busca melhorar ao mesmo tempo as condições de trabalho (saúde, segurança e bem-estar) e o desempenho operacional.	
	A ergonomia é orientada ao projeto.	
	A compreensão da tarefa e condicionantes do trabalho é parte importante da análise ergonômica.	
	A compreensão da atividade real e variabilidades é parte importante da análise ergonômica.	
	O envolvimento dos trabalhadores nas etapas da análise ergonômica é importante.	
	O envolvimento dos trabalhadores no projeto da situação analisada é importante.	
	Ferramentas físicas (p. ex. rascunhos, maquetes, prototipagem, etc.) auxiliam a promoção da participação no processo de projeto.	
Ferramentas digitais tradicionais (p. ex. CAD, simulação humana, mock-up digital, etc.) auxiliam a promoção da participação no processo de projeto.		
Ferramentas digitais não convencionais (p.ex. Simulação de eventos discretos, realidade virtual/aumentada, jogos) auxiliam a promoção da participação no processo de projeto.		
<b>Tempo de uso</b>	Aproximadamente por quanto tempo você utilizou o ambiente virtual?	Resposta numérica
<b>Percepção de benefícios do AV</b>	Com o AV, eu compreendi melhor como o espaço físico impacta a atividade das pessoas	Likert 5-pontos (1-Discordo totalmente, 5-Concordo totalmente)
	Com o AV, me sinto capaz de realizar uma atividade de projeto	
	Com o AV, fiquei mais interessado(a) de aprender sobre ergonomia	
<b>Percepção de usos possíveis do AV</b>	O AV pode auxiliar no processo de análise de situações	Likert 5-pontos (1-Discordo totalmente, 5-Concordo totalmente)
	O AV pode facilitar a comunicação entre os envolvidos no projeto	
	O AV pode acelerar o processo de projeto	
	O AV pode auxiliar na simulação de atividades futuras	
<b>Usabilidade</b>	Acho que gostaria de utilizar este sistema com frequência	Likert 5-pontos (1-Discordo totalmente, 5-Concordo totalmente)
	Considerei o sistema mais complexo do que necessário	
	Achei o sistema fácil de utilizar	
	Acho que necessitaria de ajuda de um técnico para conseguir utilizar este sistema	
	Considerei que as várias funcionalidades deste sistema estavam bem integradas	
	Achei que este sistema tinha muitas inconsistências	
	Suponho que a maioria das pessoas aprenderia a utilizar rapidamente este sistema	
	Considerei o sistema muito complicado de utilizar	
Senti-me muito confiante a utilizar este sistema.		
Tive que aprender muito antes de conseguir lidar com este sistema		
<b>Comentários</b>	Comentários sobre a utilidade do sistema para ergonomia e projeto	Resposta aberta
	Bugs, problemas, sugestões!	

#### 6.3.2.4. Análise dos Resultados

Para a análise dos resultados, estratégias quantitativas e qualitativas foram empregadas. Os questionários de pré/pós-uso foram analisados a partir do emprego de uso de estatísticas descritivas. Os comentários abertos dos participantes foram analisados a partir da abordagem de análise de dados qualitativos, para identificação de temas recorrentes.

As propostas realizadas pelos participantes foram analisadas em termos de seus pontos positivos e negativos por um dos orientadores desta pesquisa do trabalho, que possui experiência no caso real apresentado. Os resultados são apresentados na seção 6.4.

### **6.3.3. Entrevistas com Especialistas**

Com base no princípio da triangulação de fontes de dados e análises, foram realizadas entrevistas com especialistas da área de ergonomia – i.e. docentes de universidades com experiência no ensino dessa disciplina – para captação de sua percepção a respeito da atividade e do ambiente virtual criado.

#### 6.3.3.1. Participantes - Especialistas

Os participantes foram recrutados a partir das redes de contatos dos orientadores do trabalho. A única restrição imposta para recrutamento dos participantes foi a atuação em docência de nível universitário, na área de ergonomia. No total, cinco docentes de cursos de engenharia se voluntariaram a participar das entrevistas. A caracterização da experiência dos especialistas entrevistados é feita na seção 6.4.2.

#### 6.3.3.2. Procedimento

A partir da confirmação da participação dos especialistas, foram realizadas entrevistas em 3 momentos: no primeiro 3 docentes participaram conjuntamente, e nos dois outros momentos as entrevistas foram individuais. As entrevistas foram de cerca de uma hora de duração cada.

Durante a entrevista o apresentou-se o contexto e o caso (utilizando a mesma apresentação utilizada com os alunos) para os especialistas. Em seguida, foi mostrado um exemplo de projeto proposto por um dos participantes do estudo piloto para que os docentes pudessem compreender as soluções propostas pelos alunos com base na atividade realizada. As soluções de projeto originalmente projetadas na situação real também foram apresentadas aos docentes (visando obtenção de uma base de comparação

da solução do participante mostrada com uma solução pensada por equipe especialista em ergonomia e projeto). Essas etapas contemplaram cerca de 25 minutos. O restante do tempo foi dedicado à uma discussão semi-estruturada, guiada pelas questões delineadas abaixo:

- A atividade proposta é coerente com o conteúdo de Ergonomia e Projeto do Trabalho que vocês discutem em sala?
- Já usam casos práticos/ferramentas de projeto e simulação?
- Presença dos campos da ergonomia física, cognitiva e organizacional: alguma delas não é abordada nesse caso no seu entendimento? alguma é prevalente? qual?
- Sistema – mais informações? Mais funcionalidades? Mais conteúdo?
- O que vocês não identificaram no caso/sistema, mas que percebem de potencial?
- Outras considerações?

As entrevistas foram realizadas via Google Meet e gravadas, para posterior transcrição e análise.

#### 6.3.3.3. Análise dos Resultados

A análise das entrevistas seguiu a abordagem qualitativa para análise de dados buscando a identificação de temas recorrentes e das inter-relações entre os diversos temas emergentes, inclusive com as questões levantadas pelos alunos. A análise foi pautada na abordagem indutiva de análise de dados apresentada por Thomas (2006). Os resultados dessa análise estão sintetizados na seção 6.4.3.

### 6.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção são apresentados os resultados do estudo piloto e das entrevistas, com uma discussão subsequente de suas inter-relações e implicações.

#### 6.4.1. Resultados Teste Piloto

No total, 5 participantes participaram do teste piloto. Apesar do número restrito de participantes não permitir a generalização dos resultados e uma análise estatística

relevante, a validação do AV em termos de sua usabilidade e da atividade de ensino foi alcançada. A caracterização do background dos participantes é apresentada na

Tabela 2 - Síntese do background dos participantes. Os resultados referentes às questões do bloco “experiência no tema/ferramentas” e do bloco “percepção de conhecimento no tema” são apresentados na Figura 9. Com relação a experiência com jogos digitais 40% (n=2) dos participantes indicaram nunca jogar jogos digitais no computador; 20% (n=1) sempre jogam no computador e os outros 2 jogam com certa frequência.

Com relação aos resultados das questões do bloco de “compreensão teórica” seria possível a realização de uma comparação pré/pós (utilizando testes estatísticos de comparação de médias ou medianas). No entanto devido ao número reduzido de respostas essa análise não foi feita nesse teste-piloto. Na Tabela 3 apresenta-se a síntese dos resultados de estatística descritiva para as questões do bloco teórico, para ambos os questionários.

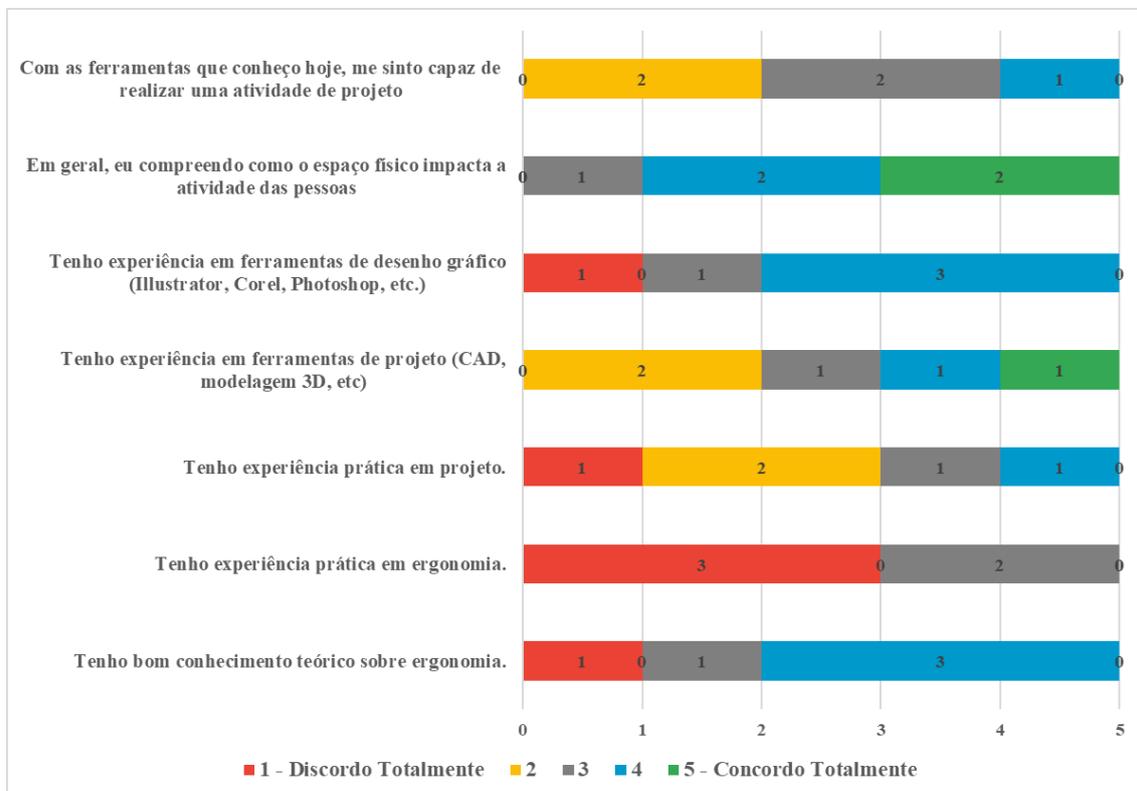
Com relação ao de tempo de utilização do ambiente virtual os resultados indicaram um tempo médio de uso de 2 horas. Com relação às respostas das questões dos blocos de “percepção de benefícios do AV” e “percepção de usos possíveis do AV”, essas foram em sua maioria positivas, conforme ilustrado na Figura 10 - Síntese respostas questões pós-uso AV. A avaliação da usabilidade do AV pautada na escala de usabilidade de sistema (SUS) foi calculada com base na sistemática de uso da escala, seguindo o exposto por (LEWIS, 2018). O valor médio de usabilidade atingindo pelo AV foi de 76 (com desvio padrão de 16,45). Esse valor enquadra o sistema em uma faixa de “boa” usabilidade, apesar de problemas e “bugs” existirem e serem indicados pelos participantes em seus comentários.

Os projetos realizados pelos participantes são ilustrados na primeira coluna do Quadro 5. As descrições detalhadas dos projetos realizados se encontram no Apêndice 4. No Quadro 5 também são apresentadas as avaliações de um dos orientadores desta pesquisa a respeito das propostas além de observações realizadas a partir da análise do projeto proposto.

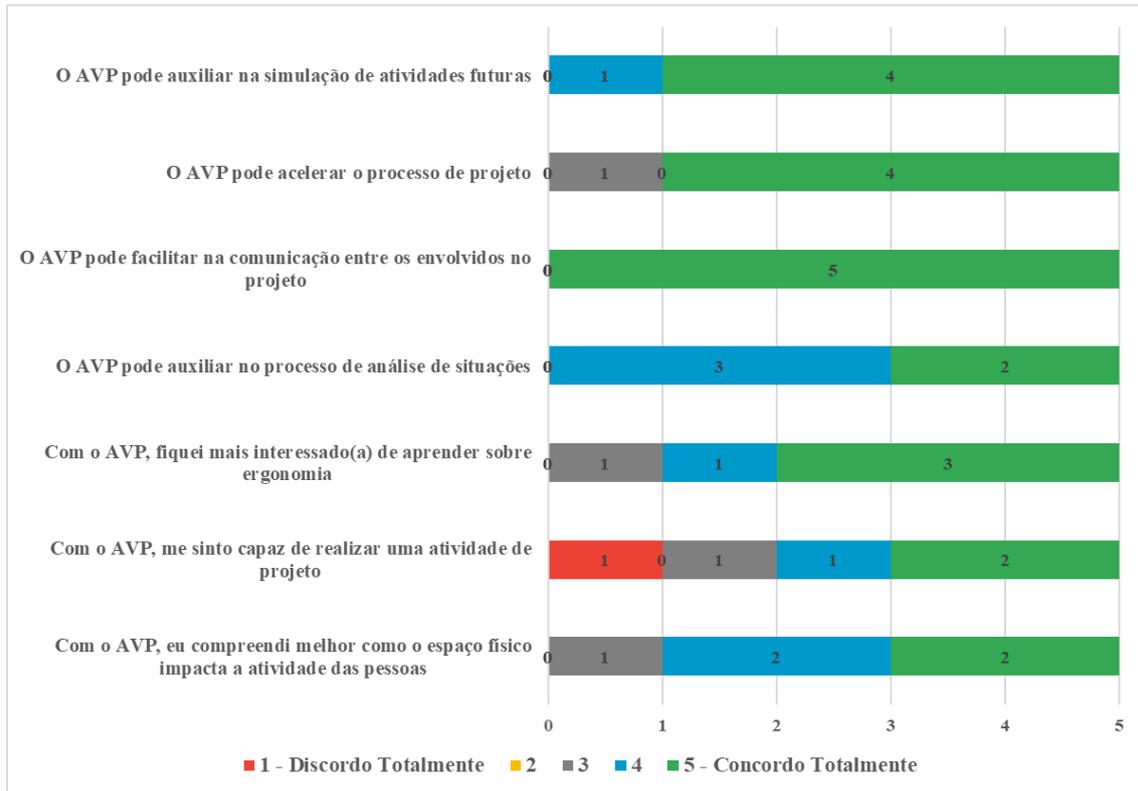
**Tabela 2 - Síntese do background dos participantes**

Questão	% (n)
<b>Gênero</b>	
Feminino	80% (4)
Masculino	20% (1)
<b>Idade média</b>	
	25 anos
<b>Curso</b>	
Engenharia de Produção	80% (4)
Engenharia Civil	20% (1)
<b>Ano de Ingresso</b>	
2013	20% (1)
2015	20% (1)
2016	40% (2)
2017	20% (1)
<b>Disciplinas cursadas</b>	
Desenho técnico	60% (3)
Ergonomia	40% (2)
Projeto do trabalho	40% (2)
Projeto de unidades produtivas	40% (2)

**Figura 9 – Síntese respostas as questões dos blocos “experiência no tema/ferramentas” e do bloco “percepção de conhecimento no tema”**



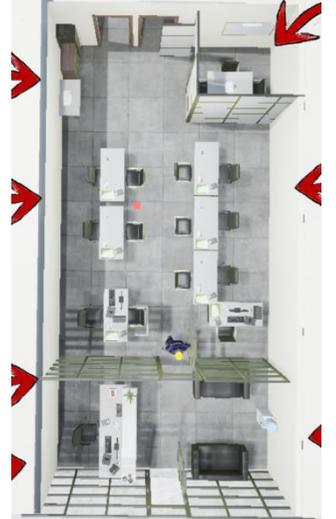
**Figura 10 - Síntese respostas questões pós-uso AV**



**Tabela 3 - Síntese resultados pré-pós bloco "compreensão teórica"**

	<b>A ergonomia possui uma visão sistêmica das situações que analisa.</b>		<b>A ergonomia busca melhorar ao mesmo tempo as condições de trabalho (saúde, segurança e bem-estar) e o desempenho operacional.</b>		<b>A ergonomia é orientada ao projeto.</b>		<b>A compreensão da tarefa e condicionantes do trabalho é parte importante da análise ergonômica.</b>		<b>A compreensão da atividade real e variabilidades do parte importante da análise ergonômica.</b>	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
<b>Média</b>	4,4	4,4	5	4,8	3,8	4,6	4,6	5	4,75	5
<b>Mediana</b>	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5
<b>Desvio padrão</b>	0,55	0,89	0,00	0,45	1,10	0,55	0,89	0,00	0,50	0,00
	<b>O envolvimento dos trabalhadores nas etapas da análise ergonômica é importante.</b>		<b>O envolvimento dos trabalhadores no projeto da situação analisada é importante.</b>		<b>Ferramentas físicas (p. ex. rascunhos, maquetes, prototipagem, etc.) auxiliam a promoção da participação no processo de projeto.</b>		<b>Ferramentas digitais tradicionais (p. ex. CAD, simulação humana, mock-up digital, etc.) auxiliam a promoção da participação no processo de projeto.</b>		<b>Ferramentas digitais não convencionais (p.ex. Simulação de eventos discretos, realidade virtual/aumentada, jogos) auxiliam a promoção da participação no processo de projeto.</b>	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
<b>Média</b>	5	5	4,6	4,6	4,4	4,6	4,2	4,6	4,6	5
<b>Mediana</b>	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5
<b>Desvio padrão</b>	0,00	0,00	0,55	0,55	0,89	0,55	0,84	0,89	0,55	0,00

Quadro 5 - Apresentação das propostas de projeto realizadas

Imagem Projeto	Participante	Pontos positivos	Pontos negativos	Observações
	Participante 1	O aluno tentou inserir na proposta tanto a tarefa (fluxo das etapas) quanto alguns elementos da atividade (variabilidade/ruído/necessidade prepostos/etc). O aluno conseguiu usar bem o sistema e até fez um projeto prévio usando o powerpoint – e percebeu a limitação de trazer o conceito para a GE. Usou uma quantidade interessante de diferentes objetos. O aluno percebeu a importância de considerar as dimensões dos objetos no projeto. Boa proposta de conceito inicial.	A proposta tem limitações para dar conta dos fluxos e atendimentos. Em especial para o atendimento do SAT, é necessário bastante espaço em mesa. A posição de algumas mesas ficou estranha, com destaque para uma junto à porta da copa. O aluno não inseriu pessoas no projeto, o que limita para uma visão técnica do projeto sem simular situações mais próximas da realidade futura possível (presença de 20 pessoas dentro deste espaço, por exemplo).	Uso interessante do AV. Opção por rascunho. Algumas dificuldades de uso do AV. <i>Participante não inseriu porta de entrada ao local. Qualidade gráfica da imagem aparentemente ruim (AV identifica e simplifica os gráficos automaticamente, com base nas configurações de hardware do participante). Único “print” – não conseguiu minimizar o sistema.</i>
	Participante 2	O aluno tentou incorporar “os problemas” levantados pelos trabalhadores dentro da proposta, em especial ruído. O uso do sistema, prints e junção com o powerpoint permitiram uma boa comunicação do projeto. Usou uma quantidade interessante de diferentes objetos, como mesas, armários, sofá, bebedouro, etc.	A proposta ficou muito próxima da proposta inicial apresentada aos alunos ( <i>realizada pelo pessoal de engenharia da empresa – os alunos não tiveram acesso a essa proposta antes de concluírem as suas</i> ), com exceção da sala de reuniões ao fundo (que ficou pequena e o próprio aluno apontou isso) e a área de recepção com divisória. O aluno não inseriu pessoas no projeto.	Uso interessante do AV e apresentação da proposta. Levantou a questão de falta de limite de orçamento como sendo limitante. <i>Participante que reportou maior tempo de uso do AV.</i>

Quadro 5 - Apresentação das propostas de projeto realizadas (cont.)

Imagem Projeto	Participante	Pontos positivos	Pontos negativos	Observações
	Participante 3	Proposta inicial interessante. Sala junto ao cofre de boas dimensões. Bom uso do AVP. Algumas verbalizações são bem interessantes! “Mas eu consegui entrar com o carinho lá, não quando os dois estão sentados” e “, mas eu não curti quando eu coloquei ela, não ficou bom” entre outras. Área de espera ampla. Fez paralelos com ambientes de trabalho parecidos (passaporte e carteira ônibus). Levantou um ponto organizacional bem interessante sobre se trata-se de uma empresa ou duas diferentes que realizam o serviço no espaço – pensando em colaboração e compartilhamento. Inseriu pessoas para simular uma situação futura possível.	Não atentou para aspectos do trabalho/atividade, em especial ruído e espaço para atendimento de prepostos.	Apontou para questões de estética e necessidade de “ver” o trabalho para projetar. Outro aluno que aponta a falta de limite de orçamento como algo importante. Algumas dificuldades de usar o AV – mas elogiou a atualização. Fez comparativo com outro ambiente de jogo (The Sims) mas que desistiu de usar após uma tentativa.
	Participante 4	Boa sala de reuniões com isolamento por divisória alta. Conseguiu enviar bons prints de telas do projeto, apesar de nenhuma de vista superior. Considerou o fluxo de operações para o SEGPAT.	Teve dificuldade com os NPCs e com movimentação dos objetos.	Foi bastante sintético nas observações e na explicação da proposta. <i>Comentários de problemas de movimentação (usou sistema sem função de arrastar).</i>

**Quadro 5 - Apresentação das propostas de projeto realizadas (cont.)**

Imagem Projeto	Participante	Pontos positivos	Pontos negativos	Observações
	<p>Participante 5</p>	<p>Destaque para as verbalizações feitas pelo aluno, indicando que o “jogo” foi mais fácil que fazer rascunhos no papel. Proposta da recepção foi elaborada – se destacando das demais propostas. Fez um bom uso dos prints com outras ferramentas (powerpoint provavelmente) para melhorar a comunicação/apresentação do projeto proposto. Ótimos prints com visão de topo e de perspectivas. Uso de diferentes objetos da biblioteca disponível.</p>	<p>As divisórias usadas foram todas baixas e não auxiliam na questão do ruído e privacidade. Sala de reuniões totalmente aberta para o restante do ambiente. Falta de privacidade e segurança de uso da copa e da sala cofre.</p>	<p>Foi bastante sintético nas observações e na explicação da proposta. <i>Não utilizou equipamentos nem divisórias – não acessou as abas relacionadas no AV.</i></p>

#### 6.4.2. Resultados das Entrevistas

Todos os docentes entrevistados atuam em universidades federais brasileiras, como professores efetivos, ministrando disciplinas relacionadas a ergonomia e áreas afins. Somente um dos docentes entrevistados não possuía diploma de doutorado (sendo que está realizando-o no momento). Entre os outros 4 docentes, o tempo médio desde a conclusão do doutorado é de  $5 \pm 3,46$  anos. Todos os docentes realizaram doutorado em programa de pós-graduação em engenharia de produção com pesquisas relacionadas a temática da ergonomia e projeto de situações produtivas. Quatro docentes eram homens e uma era mulher. As anotações realizadas pelo aluno durante as entrevistas foram sintetizadas no Apêndice 5 – a transcrição das entrevistas está em curso.

Cabe destacar que as percepções dos docentes são baseadas na apresentação do caso, do AV e de uma proposta realizada por participante do estudo piloto. Com relação as questões que guiaram as entrevistas, de maneira geral os docentes indicaram perceber coerência da atividade para uso em disciplina de ergonomia, porém sendo necessária a articulação dessa atividade ao panorama macro da disciplina:

*“Ela [atividade com AV] sozinha ela não basta a gente vai ter que usar outras ferramentas talvez em uma atividade um dia, ou em alguns dias eu trabalho alguns conteúdos com essa ferramenta, perfeito. Mas eu não vou conseguir resolver com ela todo meu conteúdo...”* Docente 1.

*“Acho que vai ser uma ótima atividade para ser dada no início da disciplina e depois no final da disciplina sabe? Para fazer uma verificação do que foi aprendido. Ou talvez ser dada com 60%, 75% da disciplina [ministrada]”.*  
– Docente 2.

Com relação a preponderância de aspectos relacionados a ergonomia física, organizacional ou cognitiva houve uma certa discordância – os Docentes 1, 2 e 3 perceberam uma preponderância da ergonomia física, seguida pela organizacional e por fim cognitiva:

*“Todas são abordadas, não de forma explícita. Física é abordada de forma explícita. Organizacional já está um pouco mais implícita e cognitiva também.”* – Docente 2.

*“Ela com certeza tem a parte física, a organizacional menos, e a cognitiva menos ainda. Mas assim, tem os três...”* – Docente 1.

Já o Docente 4 percebe uma ênfase maior em aspectos organizacionais e cognitivos, com a dimensão física sendo menos preponderante:

*“Eu vejo como um processo mais voltado a ergonomia organizacional e em algumas partes a ergonomia cognitiva, porque você tem ali processos de comunicação e isso faz o fluxo fluir ali dentro né troca de informação, você tem processos de decisão para que o operador passe de uma etapa para a outra. E a ergonomia física eu acho a menos preponderante...”* – Docente 4.

O Docente 5, por fim, reitera que todas dimensões estão presentes:

*“Tá muito claro que todas as dimensões estão presentes ali. Que inclusive, como a carga cognitiva amarra algumas questões ali de física e organizacional né? Então, por exemplo, o que significa a foto sair boa? Você precisa de aspectos da dimensão física e organizacional também né porque você tem um espaço adequado e tal... E o tempo, as condições que vem de toda essa relação né. Mas também tem a pessoa ali...”* – Docente 5.

Os resultados apresentados nessa seção dão uma visão geral da percepção dos docentes a respeito da atividade e uso do AV. Na próxima subseção serão evidenciados os temas recorrentes, cruzando os comentários dos docentes com os dos alunos que participaram do estudo piloto.

### **6.4.3. Temas Recorrentes Identificados**

Nessa seção, os temas recorrentes que emergiram a partir da leitura dos comentários dos participantes do teste piloto (pelas questões abertas do questionário ou verbalizações durante/após a atividade) e nas entrevistas com os docentes serão apresentados, contextualizando-os com as verbalizações relevantes.

#### **6.4.3.1. Maior detalhamento do caso**

Tanto os docentes quanto alguns dos alunos mencionaram que gostariam de mais detalhes a respeito da situação do caso, incluindo fotos, vídeos, etc.:

*O que poderia ajudar pra compreensão dos alunos, pensando em termos de aplicar isso como exercício para os alunos né? Seria ter algumas imagens mesmo do real. Apesar que não é uma mudança, é uma nova construção. Mas ainda assim acho que podia mostrar esse mesmo serviço sendo feito da maneira que era, né porque funcionava só que funcionava no outro local.* – Docente 1

*Eu fiquei meio em dúvida quanto ao funcionamento real, tipo eu acho que tava bem detalhado na apresentação, mas não sei, talvez eu precisasse de um mapa de como que funciona no real. Como funciona na real o trabalho lá dentro para eu poder entender melhor o que a pessoa precisa, sabe? Sei lá, tenho que assistir as pessoas trabalhando para entender como eu faria.*  
– Participante 4.

#### 6.4.3.2. Questão dimensional

Algumas falas reiteraram a questão da necessidade de se manter algumas ferramentas tradicionais de software CAD para manter a precisão em termos de dimensões e uso do espaço:

*“Mas eu acho que é importante frisar, a questão de ver o espaço que ficou disponível, sabe? Aquela questão de CAD 2D onde eu falo: “oh, tem 30, tem 40, tem 50... Cabe ou não cabe?” Porque o 3D também, ele nos tira essa percepção né é do distanciamento. É claro que é visual, ficou bonito, mas talvez não seja o espaço adequado né. Tem a questão dos percentis, então será que passo ou passo, se cabe ou não cabe...”* – Docente 3.

*Por exemplo, quando você mostrou aquela figura, uma das figuras aí do PowerPoint, eu achei corredor muito apertado. Provavelmente os alunos eles não têm referência dimensional de corredores, de tamanho de corredor. Eles começam a olhar o mundo ao redor. Eu recomendaria você colocasse essas questões, desse algumas referências de dimensões entendeu?* – Docente 5.

*“E aí também, sei lá, tava estranho para eu ver a escala, não sei”* – Participante 3.

*“Acredito que o sistema pode ajudar na visualização do projeto, principalmente considerando o espaço físico e a distância entre móveis e pessoas”[...]“Talvez isso seja um comentário legal não sei e pensar que realmente espaço físico e o tamanho dos móveis tem uma influência muito grande no projeto. Assim, eu consigo perceber isso porque às vezes eu queria alocar de um jeito que eu não conseguia por conta do espaço.”* - Participante 1.

#### 6.4.3.3. Definição de requisitos para o projeto

Algumas falas reiteraram a questão da necessidade de se manter algumas ferramentas tradicionais de software CAD para manter a precisão em termos de dimensões e uso do espaço.

*“Por exemplo desenvolvimento de produto. O projeto mecânico, por exemplo, ele começa com o entendimento do usuário, um mapeamento de necessidades.” – Docente 4.*

*“Qual é a demanda do projeto Quais são os requisitos do cliente né pensando naquela lógica... que a gente atendimento ao cliente né que tá. Quais são os requisitos do projeto porque as vezes o aluno faz um cenário bonitinho, as ser á que ele atendeu os requisitos?” - Docente 3.*

#### 6.4.3.4. Impacto da estética

A visualização com alto grau de realismo foi apontada como uma possibilidade de enviesar ou de prejudicar a concentração dos estudantes frente ao caso. Mas por outro lado, também apareceu como incentivo de engajamento no AV:

*“Eu escolhi o vidro porque era mais bonita mas talvez fosse melhor que não dava para ver., pra ser mais seguro.” – Participante 4.*

*“Tem que tomar cuidado também porque a visualização às vezes ela ela pega um pouco né porque você cai muito bonitinho e na questão das coisas ficarem harmônicas e de repente elas não são tão funcionais Então é só um cuidado que às vezes né a gente precisa discutir muito talvez Antes de Partir para essa etapa né” - Docente 1.*

#### 6.4.3.5. Potencial de Incorporação de Funcionalidades

A criação de módulos extras ou funcionalidades apareceu ainda mais para os docentes e participantes, incluindo desde funcionalidades mais simples como arrastar objetos, tirar som, minimizar AV, até aspectos maiores como incorporação de módulos de análise e compreensão do caso, dimensão do orçamento (para forçar maiores trade-offs), etc.

*“Dá para incluir o gráfico fluxo-processo que é aquele que junta um fluxograma, com a distância percorrida, com o tempo da operação, alguma coisa assim né. E aí dá para ver se vai ser só como uma visão atual sem discutir a futura, ou se vai ser a futura também. Por que aí você tem que dar um meio para a pessoa consegui medir a distância. Mas só de dar um fluxograma das operações dos dois setores já seria legal entendeu?” – Docente 2*

*“E aí é lógico né se você conseguir conectar com outros aspectos para trás né? Por exemplo conectar com custo. Cada coisa que eu coloco ali, ele vai preenchendo uma planilha de custo do lado. Pô, o cara resolveu a situação gastando 100.000. O outro resolveu a situação de uma forma aceitável gastando 70, uma diferença significativa. [...] se tivesse esse*

*módulo Análise, aí você pode acoplar futuramente... Um módulo análise e um módulo custo. E aí fica bem legal.” [...]*

*“Por último, agora é uma dimensão um pouco diferente do que o que você tá trabalhando né. Eu não percebo né, e é natural que seja assim tá, uma preocupação com acessibilidade nesse trabalho. Não há preocupação com acessibilidade – e aqui eu tô falando para pessoas com deficiência, pessoas com mobilidade reduzida. Na refinaria eu acho que não tem essa situação né?” – Docente 5.*

*“E aí eu fingi que eu não tinha orçamento tá? Porque eu não tinha. Eu ia perguntar até isso... Também não sei, acredito que se não quiser gastar tanto, chama outra pessoa.” – Participante 3.*

#### 6.4.3.6. Tutoriais

Algumas menções relataram a possibilidade de incorporação de tutoriais em contextos distintos – tanto para o aprendizado dos controles e interações do sistema, quanto da própria reflexão acerca do projeto – i.e. apresentar exemplo de proposta para disparar a reflexão.

*“E a partir dessas demandas aí no caso, na ferramenta, se possível um pequeno tutorial de uma dessas micro situações com uma resolução rasa. Alguma coisa assim só para instigar até que ponto eles podem chegar. Talvez o layout em Jack, que você mostrou. Uma das situações possíveis, que seria uma possível melhoria é essa. Não é o ideal, é um gatilho.” – Docente 4*

*“ou ainda separar um tempo inicial para as pessoas aprenderem como utilizá-lo, talvez com um mini game antes de iniciar o processo onde as pessoas precisem posicionar certos objetos como em uma imagem pré-definida.” – Participante 2*

#### 6.4.3.7. Condução da Atividade de Ensino

A condução da atividade de ensino baseada no AV também foi discutida. Considerando-se desde a realização de etapas intermediárias antes do início do uso do ambiente virtual, até a integração com outras ferramentas clássicas para aprofundamento na discussão, e gravação e consolidação de material para apoio à explicação, além do formato da atividade (em grupo ou individual).

*É perceptível, principalmente nesse período de ensino remoto, a dificuldade dos alunos tanto do ponto de vista de instalação, quanto do ponto de vista de utilização. Que aí envolve parte de hardware também. Aí nesses casos a gente tem que fazer a inclusão. A implementação de*

*determinadas atividades ela precisa ser feita em grupo [...] eu creio que em grupo poderia ser mais efetivo, no mínimo duas pessoas.” - Docente 4*  
*“Agora para falar do trabalho em grupo, eu acho que é legal fazer concepção individual. Porque nos processos em grupo sempre tem uma pessoa ou outra que vai conduzir o negócio e tal. Principalmente quando tem software mais técnico (por exemplo AutoCAD), que precisa um pouco de saber comando e tal né. Tem uma pessoa que vai acabar dominando a concepção ali e tal, e tem outra pessoa que vai ficar meio que dormindo, ela não vai fazer nada porque não se interessa pelo assunto. Então eu acho que é legal fazer essa atividade individual mesmo tá? E aí eu ia sugerir uma segunda rodada que é discussão né. Que é uma etapa de convergência entendeu? E aí então na primeira etapa você tá trabalhando habilidades de projeto, habilidades de manipulação de relações de espaço, relações físicas mesmo né, do ambiente. E numa segunda etapa outras habilidades necessárias para quem trabalha com concepção, como negociação, de diálogo, compressão de outros pontos de vista né e convergência né? Aonde você obrigue os grupos não a escolherem uma proposta mas sim fazer uma proposta convergente.” – Docente 5*

*“Acredito que o ideal para utilizar esse sistema seria formar grupos onde pelo menos uma pessoa já tem certa proficiência com o sistema.” – Participante 2.*

#### 6.4.3.8. Link com Situação Real

A particularidade do caso, retratando uma situação real que é típica em diversas indústrias e contextos também foi indicada com uma questão positiva da atividade.

*A empresa tem um catálogo de mobiliário que é dela. Ela tem um guide lá que é dela, com todos os móveis. E você não mexe em altura de mesas e não mexe em largura; ela já tem esses padrões. Até padrões de acabamento, padrão de cadeira, tudo isso já tá resolvido, a empresa não compra qualquer coisa, ela já tem um padrão. [...] então de fato o que sobra é você analisar essas relações com o ambiente, com corredores com o fluxo de pessoas. Então achei muito, muito legal né. Muito bom e muito aderente com a realidade.” - Docente 5.*

#### 6.4.3.9. Problemas de Usabilidade

Diversos problemas pontuais de usabilidade foram identificados pelos participantes do estudo piloto, desde relacionados a manipulação dos objetos, edição, ambiente sonoro, etc.

*“Eu tive um pequeno bug com um item específico, a catraca. Quando selecionava ela, só conseguia mexer uma vez, se queria mexer de novo não*

*era possível soltar o equipamento onde eu queria. Mas com outros móveis não tive esse problema” – Participante 1*

*“Os efeitos sonoros começam a incomodar quando a pessoa pega o jeito, porque eles ficam muito frequentes. Talvez abaixar um pouco o volume ou usar sons "mais suaves" pode melhorar. [...] Um ou outro equipamento, como a câmera por exemplo, parecem estar com alturas pré-definidas erradas, mas a maioria parece estar certo.” – Participante 2*

*“eu sei com certeza que a câmera com tripé e eu acho que a câmera normal tava bem difícil de excluir e o computador também eu não consegui excluir.” – Participante 3*

*“sobre a questão de usabilidade, para modificar a posição dos objetos e clica na setinha que seria interessante se pudesse ser implementado uma opção tipo clicar e arrastar para você fazer isso com próprio mouse sem precisar ficar clicando várias vezes, modificando para cá e para frente. Acho que seria mais rápido e ficaria mais um pouco menos cansativo para o usuário.” – Participante 4*

De modo geral, os objetivos do estudo piloto (delineados no item 6.3.2) foram alcançados – o uso do AV foi validado, com pontuação de usabilidade em nível bom e indicação de diversas melhorias que podem ser implementadas para uma versão atualizada do AV. Com relação a atividade de ensino em si, verificou-se que os participantes conseguiram compreender o problema apresentado e projetar soluções que contemplavam, em maior ou menor grau, as especificidades das atividades realizadas no local. As entrevistas realizadas trazem subsídios para a formatação da atividade de ensino para que seja maximizado os benefícios associados a essa atividade. A framework proposta pôde ser validada.

## 6.5. DELINEAMENTO DO PROTOCOLO QUASI-EXPERIMENTAL

A partir das reflexões advindas da realização do estudo piloto, são delineados aqui os principais elementos de um protocolo quasi-experimental para avaliação da eficácia da utilização de atividade de ensino de ergonomia utilizando o AV criado. O protocolo de experimento com grupo controle aleatórios apresentado por Nykänen (2020a) é fonte de inspiração adicional para o desenvolvimento do presente protocolo.

A decisão de empregar quasi-experimentos, do tipo pré-teste-pós-teste com grupos não equivalentes, decorre da impossibilidade de garantir a aleatoriedade na seleção e indicação dos alunos aos grupos de intervenção e controle (COHEN; MANION; MORRISON, 2018). De modo geral, esse design experimental, busca-se minimizar o efeito de variáveis externas através do emprego de grupo controle, além da realização de coletas de dados pré/pós para que se possa verificar uma possível melhoria dos parâmetros relacionados à compreensão dos tópicos de ergonomia e projeto que serão abordados na atividade usando o AV. O Quadro 6 sintetiza o desenho de quasi-experimento proposto.

**Quadro 6** - Desenho quasi-experimental pré-teste-pós-teste proposto

	Observações (O) e uso do AV (X)		
	Grupo Intervenção (uso AV)	O1	X
Grupo Controle (ferramentas tradicionais)	O1		O2

### 6.5.1. Recrutamento de Participantes

O recrutamento de participantes será realizado através de convites via email e divulgação via redes sociais para participação em workshop online de 4 horas de duração. Almeja-se alcançar uma amostra ampla de participantes para o estudo ( $n > 30$  para cada um dos 2 grupos – de intervenção e controle, mantendo uma amostra suficientemente grande para realização de diversos testes estatísticos). O único critério de elegibilidade para participação no estudo é a matrícula ativa em curso de graduação ou pós-graduação em engenharia ou áreas correlatas (e.g. design industrial).

### 6.5.2. Realização do Estudo

A realização do estudo se dará em evento único (workshop) de aproximadamente 4 horas. O workshop contará com as etapas:

- a) Realização de questionário pré-workshop [1 semana antes]
- b) Apresentação do caso (todos participantes em conjunto) [30min];
- c) Separação dos participantes nos respectivos grupos (intervenção ou controle, de maneira aleatória) [5min];
- d) Explicação da ferramenta que deve ser usada para o projeto (ferramentas tradicionais, e.g. PowerPoint, rascunhos a mão, CAD, etc., para o grupo controle, ou AV criado em GE para o grupo de intervenção) [10min];
- e) Realização de proposta de projeto individual [50min];
- f) Relatório proposta projeto individual [5min];

- g) Intervalo [10min]
- h) Pareamento dos participantes em duplas [10min];
- i) Realização de proposta de projeto em dupla [90 min];
- j) Relatório proposta projeto em dupla [5min];
- k) Discussão coletiva (ambos grupos) da atividade e encerramento [25 min]
- l) Realização de questionário pós-workshop [imediatamente após o encerramento do workshop].

O ambiente virtual e caso empregados serão aqueles apresentados e validados no teste piloto. Os **objetivos de aprendizagem** pontuais desse workshop de ergonomia e projeto são relacionados à:

- i) compreensão dos elementos de uma análise de situação de trabalho;
- ii) proposição de soluções de projeto para a situação de trabalho;
- iii) avaliação de propostas de projeto alternativas e;
- iv) comunicação de propostas de projeto.

### **6.5.3. Hipóteses do Estudo**

As hipóteses do estudo são:

- a) O uso do AV criado em GE implica em maior nível de compreensão do que o verificado com ferramentas tradicionais;
- b) O uso do AV criado em GE implica em maior facilidade para proposição de soluções de projeto do que o verificado com ferramentas tradicionais;
- c) O uso do AV criado em GE implica em maior facilidade para avaliação de propostas de projeto alternativas do que o verificado com ferramentas tradicionais;
- d) O uso do AV criado em GE implica em maior facilidade para comunicação de propostas de projeto alternativas do que o verificado com ferramentas tradicionais;
- e) A qualidade das propostas criadas em AV é maior do que a das propostas criadas com ferramentas tradicionais (conforme avaliado por avaliador externo).

#### 6.5.4. Instrumentos de Coleta de Dados

Questionários on-line (Google Forms) serão implementados para coletar as respostas nos momentos de pré-workshop e pós-workshop. As variáveis coletadas serão:

- Demografia e experiência pessoal (pré-workshop)
  - Idade, gênero, educação (nível, curso, ano de ingresso), experiência profissional na área, experiência com jogos eletrônicos.
  - Conhecimento de ergonomia (similar as questões do bloco de “conhecimento teórico” dos questionários apresentados em 6.3.2.3)
- Percepção de habilidades pessoais em: (pré/pós, escala Likert 5-pontos)
  - compreender elementos de uma situação de trabalho;
  - identificar requisitos de projeto a partir de análise de situação de trabalho;
  - implementar requisitos de projeto em uma proposta de solução;
  - propor soluções de projeto alternativas com base em requisitos de projeto determinados;
  - avaliar alternativas de solução de projeto com base em requisitos de projeto;
  - avaliar alternativas de solução de projeto com base em processos de simulação de atividades futuras prováveis;
  - explicar aspectos da solução de projeto proposta;
  - entender aspectos de solução de projeto proposta.
- Avaliação das ferramentas do workshop: (pós-workshop, escala Likert 5-pontos)
  - A ferramenta que utilizei aumentou meu grau de compreensão do caso apresentado;
  - A ferramenta que utilizei facilitou a proposição de soluções de projeto;
  - A ferramenta que utilizei facilitou a avaliação de propostas de projeto alternativas;
  - A ferramenta que utilizei facilitou a comunicação de propostas de projeto.

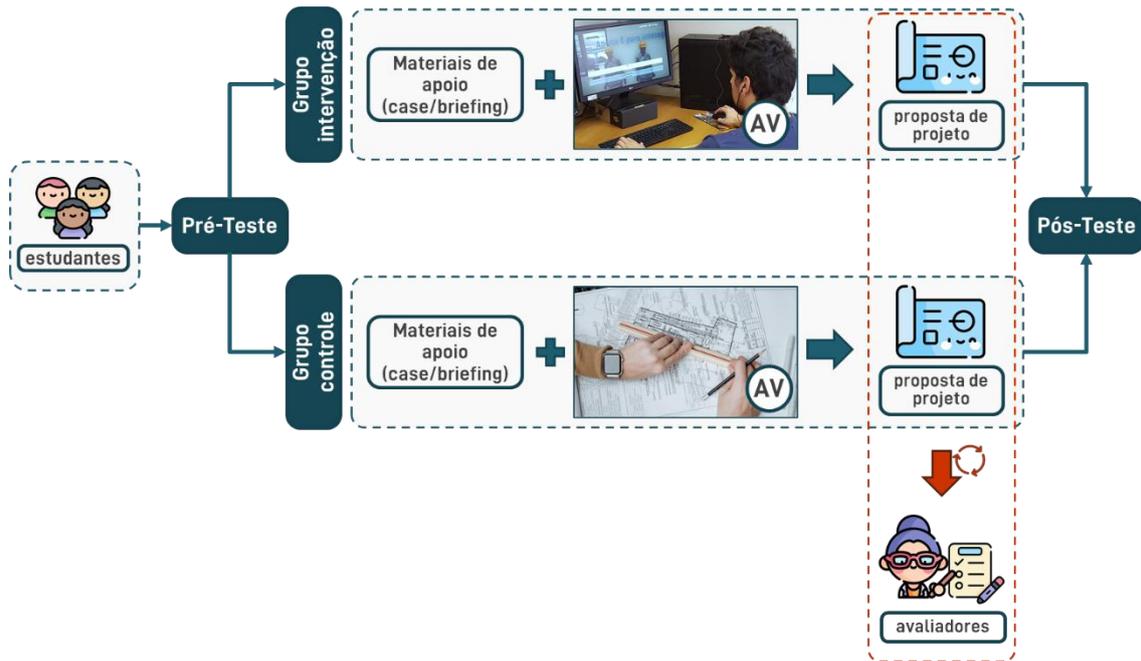
- Usabilidade: SUS (idem ao empregado no questionário 6.3.2.3)
- Comentários: questão aberta

Ademais, as propostas de projeto realizadas pelos participantes serão avaliadas por avaliadores com respeito a sua qualidade (solução dos problemas apresentados no caso). Buscando uma minimização de possíveis tendências de avaliação, as propostas apresentadas pelos participantes do grupo controle serão implementadas no AV. Assim, os avaliadores analisarão todas propostas no mesmo padrão gráfico/visual. A Figura 11 ilustra a estrutura geral do protocolo.

**Quadro 7** – Relação entre objetivos de aprendizagem, hipóteses, instrumentos de coleta e delineamento da análise

<b>Objetivos de Aprendizagem</b>	<b>Hipóteses</b>	<b>Instrumentos de coleta e delineamento da análise</b>
Compreensão dos elementos de uma análise de situação de trabalho;	O uso do AV criado em GE implica em maior nível de compreensão do que o verificado com ferramentas tradicionais;	Questionário (bloco de percepção de habilidades pessoais), pré/pós, comparação entre grupos
Proposição de soluções de projeto para a situação de trabalho;	O uso do AV criado em GE implica em maior facilidade para proposição de soluções de projeto do que o verificado com ferramentas tradicionais;	Questionário (bloco de avaliação das ferramentas do workshop), pós, comparação entre grupos
	A qualidade das propostas criadas em AV é maior do que a das propostas criadas com ferramentas tradicionais (conforme avaliado por avaliador externo).	Avaliação externa das propostas, comparação entre grupos
Avaliação de propostas de projeto alternativas	O uso do AV criado em GE implica em maior facilidade para avaliação de propostas de projeto alternativas do que o verificado com ferramentas tradicionais;	Questionário (bloco de avaliação das ferramentas do workshop), pós, comparação entre grupos
Comunicação de propostas de projeto	O uso do AV criado em GE implica em maior facilidade para comunicação de propostas de projeto alternativas do que o verificado com ferramentas tradicionais;	

**Figura 11 - Estrutura do protocolo**



### 6.5.5. Análises Previstas

Análises quantitativas e qualitativas serão empregadas de acordo com a particularidade de cada hipótese que se deseja testar/avaliar. Testes de hipóteses de t-Student/ Mann-Whitney para comparação entre grupos e testes t-Student/ Mann-Whitney para comparação com valor hipotético. Ademais outras análises quantitativas são previstas, e.g. estatísticas descritivas de tempo de uso do ambiente, número de interações e problemas observados no AV; comparação entre grupos respondentes – diferentes graduações, experiência prévia com jogos virtuais, etc. – para aspectos relacionados à compreensão do problema, facilidade de uso, facilidade de projeto e comunicação. Análises qualitativas previstas contemplam a análise das respostas abertas seguindo a abordagem geral para análise de dados qualitativos de Thomas (2006).

### 6.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO ARTIGO

O teste piloto realizado foi importante para validar a framework proposta. O reduzido número de participantes (discentes) não permitiu a realização de análises estatísticas e a generalização dos resultados. No entanto foi suficiente para validar aspectos relacionados a usabilidade do sistema e compreensão da atividade. Ademais, os temas recorrentes observados nas entrevistas com docentes e comentários dos alunos possibilitaram uma evolução da ideia do estudo quasi-experimental e proposição do protocolo apresentado.

Os “bugs” identificados no AV pelos alunos e algumas funcionalidades importantes apontadas pelos docentes estão sendo incorporadas ao desenvolvimento da versão final do AV.

As dificuldades e especificidades encontradas no desenvolvimento do AV são diversas – é necessária a utilização de hardware potente para utilização da GE selecionada para o desenvolvimento. Ademais, apesar de ser de relativa facilidade de aprendizagem uso, existe curva de aprendizado significativa e diversas habilidades são necessárias para o desenvolvimento do AV (desde modelagem 3D, design gráfico – elementos da UI, programação e algoritmos – mesmo que na modalidade visual das *blueprints* da Unreal Engine, etc.). A atualização do AV e seu reuso não é trivial – é necessário ter os arquivos originais, incluindo plugins e assets específicos usados no desenvolvimento.

O tamanho do arquivo gerado (1GB) é bastante grande para um AV relativamente simples – estratégias mais avançadas de otimização de jogos devem ser empregadas para melhorar essa dimensão. Ademais, o tempo de desenvolvimento é significativo – em especial considerando-se os ciclos de teste e melhoria que devem ser observados para minimização de “bugs” e problemas. Eventuais “problemas insolúveis” que surjam podem atrasar o desenvolvimento e impactar o projeto.

Uma outra questão importante é a utilização do AV em si, em termos de requisitos técnicos necessários para que se possa abrir o ambiente virtual nos computadores dos alunos. Por ser um AV tridimensional com alto grau de realismo é possível que o cenário demande capacidade de processamento, memória e até mesmo placa de vídeo dedicada para rodar. No entanto técnicas e estratégias para otimização do AV estão sendo empregadas para minimizar possíveis problemas associados a essa questão.

Com relação a metodologia em si, reitera-se que a estruturação em termos de quase-experimentos pré-teste-pós-teste com grupos não equivalentes não tem o mesmo rigor científico de experimentos randomizados, com grupo controle e intervenção (podendo ser duplo-cego inclusive), mas, segundo Cohen, Manion e Morrison (2018), no contexto de pesquisa em educação aparece como uma alternativa válida e mais condizente à realidade do campo.

Por fim, por mais factível que seja o desenvolvimento de AV esses desafios devem ser considerados por profissionais e pesquisadores que desejam utilizar essa tecnologia em sua prática profissional e pesquisa. O investimento de tempo e energia é significativo e a gestão do conhecimento da equipe e planejamento do uso do AV é fundamental.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estrutura empregada no desenvolvimento da dissertação, em formato de artigos permitiu a articulação de trabalhos anteriores relevantes do aluno, que são peças fundamentais no amadurecimento das reflexões e desenvolvimentos propostos nessa pesquisa.

O objetivo geral do trabalho **“compreender como ambientes virtuais criados em game engine podem contribuir para o campo da ergonomia enquanto ferramenta de simulação e ensino”** foi alcançado a partir da articulação de distintos desenvolvimentos.

O Artigo 1 aprofundou-se na discussão dos AV em GE para a simulação e análise de situações de trabalho, indicando as potencialidades e limitações dessa abordagem. O Artigo 2 apresentou uma tentativa inicial de investigação sistemática do uso de AV em GE em contexto de ensino a partir da estruturação de um estudo comparativo experimental.

A partir da experiência consolidada com esses artigos e identificação de *gap* na literatura com relação a padronização do desenvolvimento de AV em GE, o Artigo 3 foi elaborado para contribuir com um framework para sistematizar a criação de AV em GEs. O Artigo 4 valida esse framework ao implementá-lo para desenvolver um AV para ensino de ergonomia que foi validada em teste piloto e em entrevistas com especialistas.

Assim, entende-se que o presente trabalho contribui para uma melhor compreensão do potencial de utilização de AV em GE para ergonomia, tanto em contextos de simulação e análise do trabalho, como em contextos de ensino.

Ademais, considerações a respeito da reprodutibilidade e generalização dos resultados obtidos são importantes. Dada a particularidade dos materiais que serão usados/caso específico que servirá de base para criação do AV, não é possível generalizar os dados no sentido de dizer que todas as atividades que eventualmente empreguem AV obterão os mesmos resultados que se venha obter no estudo. A generalização, possivelmente, se dará mais no campo das diretrizes de como articular o AV e outras ferramentas ao processo de ensino e aprendizagem no contexto da ergonomia e projeto.

De forma similar, a reprodutibilidade dos experimentos pode não ser trivial; seria necessário disponibilizar o AV e materiais elaborados para pesquisadores interessados em realizar essa replicação em outros contextos. Essa alternativa será buscada para disponibilizar o AV e material associado como uma atividade para ensino de ergonomia que seja de uso livre, por qualquer professor(a) da área.

Uma outra possibilidade, possivelmente para trabalhos futuros, seria a tentativa de aplicação desses mesmos materiais em parceria com pesquisadores/professores no exterior (testando com alunos não-brasileiros, portanto) e com outros participantes em ciclos futuros. Apesar dessas limitações, parece ser razoável conduzir o estudo nessas configurações para obter essa compreensão mais aprofundada sobre a temática tratada aqui. Em especial em um contexto em que o Brasil e o mundo buscam novas formas de ensinar.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGHINA, M. A. C. et al. Non-conventional interfaces for human-system interaction in nuclear plants' virtual simulations. **Progress in Nuclear Energy**, v. 59, p. 33–43, ago. 2012.
- AKANMU, A. A. et al. Cyber-physical postural training system for construction workers. **Automation in Construction**, v. 117, p. 103272, set. 2020.
- ALEXANDER, T.; PAUL, G. Ergonomic DHM Systems - Limitations and Trends – A Review Focused on the ' Future of Ergonomics '. **3rd International Digital Human Modeling Symposium**, n. May, p. 1–7, 2008.
- ANDERSEN, S. N.; BROBERG, O. Participatory ergonomics simulation of hospital work systems: The influence of simulation media on simulation outcome. **Applied Ergonomics**, v. 51, p. 331–342, 2015.
- AROMAA, S.; GORIACHEV, V.; KYMÄLÄINEN, T. Virtual prototyping in the design of see-through features in mobile machinery. **Virtual Reality**, v. 24, n. 1, p. 23–37, mar. 2020.
- AROMAA, S.; VÄÄNÄNEN, K. Suitability of virtual prototypes to support human factors/ergonomics evaluation during the design. **Applied Ergonomics**, v. 56, p. 11–18, 2016.
- ASTOLFI, B. M. et al. **PROJECT-BASED LEARNING: A NEW WAY TO TEACH ERGONOMICS**. DS 84: Proceedings of the DESIGN 2016 14th International Design Conference. **Anais...** In: DESIGN 2016. Dubrovnik: 2016.
- AZIZ, E.-S. S. et al. Virtual Mechanical Assembly Training Based on a 3D Game Engine. **Computer-Aided Design and Applications**, v. 12, n. 2, p. 119–134, 2015.
- AZIZI, A.; GHAFORPOOR YAZDI, P.; HASHEMPOUR, M. Interactive design of storage unit utilizing virtual reality and ergonomic framework for production optimization in manufacturing industry. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, p. 1–9, 6 jul. 2018.
- BÉGUIN, P.; WEILL-FASSINA, A. Da simulação das situações de trabalho à situação da simulação. In: DUARTE, F. (Ed.). **Ergonomia e projeto: na indústria de processo contínuo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Lucerna, 2002. p. 34–63.
- BELLANCA, J. L. et al. Developing a Virtual Reality Environment for Mining Research. **Mining, Metallurgy & Exploration**, v. 36, n. 4, p. 597–606, ago. 2019.
- BERGROTH, J. D.; KOSKINEN, H. M. K.; LAARNI, J. O. Use of Immersive 3-D Virtual Reality Environments in Control Room Validations. **Nuclear Technology**, v. 202, n. 2–3, p. 278–289, 3 jun. 2018.
- BERNARD, F. et al. Virtual Reality Simulation and Ergonomics Assessment in Aviation Maintainability. In: BAGNARA, S. et al. (Eds.). **Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 141–154.
- BLANCO, E.; BOUJUT, J.-F. Intermediary Objects as a mean to foster Co-operation. **Engineering Design Computer Supported Cooperative Work**, v. vol 12, n. n° 2, p. p 205-219, 2003.
- BLIGÅRD, L. O.; BERLIN, C.; ÖSTERMAN, C. The power of the dollhouse: Comparing the use of full-scale, 1:16-scale and virtual 3D-models for user evaluation of workstation design. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 68, n. August, p. 344–354, 2018.
- BODNAR, C. A.; CLARK, R. M. Can game-based learning enhance engineering communication skills? **IEEE Transactions on Professional Communication**, v. 60, n. 1, p. 24–41, 2017.

- BRAATZ, D. et al. **Contribuições da cultura Maker para o ensino de Engenharia de Produção no contexto das Novas Diretrizes Curriculares**. XXXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...**Santos: ABEPRO, nov. 2019.
- BRAGHIROLI, L. F. et al. Benefits of educational games as an introductory activity in industrial engineering education. **Computers in Human Behavior**, v. 58, p. 315–324, 2016.
- BRICENO, L.; PAUL, G. MakeHuman: A Review of the Modelling Framework. In: BAGNARA, S. et al. (Eds.). . **Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 224–232.
- BROOKS, J. et al. The Utility of Template Analysis in Qualitative Psychology Research. **Qualitative Research in Psychology**, v. 12, n. 2, p. 202–222, 3 abr. 2015.
- BRUNO, F.; BARBIERI, L.; MUZZUPAPPA, M. A Mixed Reality system for the ergonomic assessment of industrial workstations. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, v. 14, n. 3, p. 805–812, set. 2020.
- BUCCIARELLI, L. L. An ethnographic perspective on engineering design. **Design Studies**, v. 9, n. 3, p. 159–168, 1988.
- BURES, M. Efficient Education of Ergonomics in Industrial Engineering Study Program. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 174, p. 3204–3209, fev. 2015.
- CAMPUS, K.; PENRITH, S. Engineering education - is problem-based or project-based learning the answer? **Australasian Journal of Engineering Education**, v. 3, p. ISSN 1324-5821, 2003.
- CAPUTO, F. et al. Simulation Techniques for Ergonomic Performance Evaluation of Manual Workplaces During Preliminary Design Phase. In: BAGNARA, S. et al. (Eds.). . **Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 170–180.
- CHALIL MADATHIL, K.; GREENSTEIN, J. S. An investigation of the efficacy of collaborative virtual reality systems for moderated remote usability testing. **Applied Ergonomics**, v. 65, p. 501–514, nov. 2017.
- CHEN, D. J. et al. Visually induced motion sickness when viewing visual oscillations of different frequencies along the fore-and-aft axis: keeping velocity versus amplitude constant. **Ergonomics**, v. 59, n. 4, p. 582–590, 2016.
- CIFTER, A. S.; EROGLU, I.; OZCAN, K. A Study of Ergonomics Education in Industrial Design Programs in Turkey. **International Journal of Mechanical Engineering Education**, v. 41, n. 4, p. 306–314, out. 2013.
- COWAN, B.; KAPRALOS, B. An Overview of Serious Game Engines and Frameworks. In: BROOKS, A. L. et al. (Eds.). . **Recent Advances in Technologies for Inclusive Well-Being**. Intelligent Systems Reference Library. Cham: Springer International Publishing, 2017. v. 119p. 15–38.
- DANIELLOU, F. The French-speaking ergonomists' approach to work activity: Cross-influences of field intervention and conceptual models. **Theoretical Issues in Ergonomics Science**, v. 6, n. 5, p. 409–427, 2005.
- DANIELLOU, F. A ergonomia na condução de projetos de concepção de sistemas de trabalho. In: FALZON, P. (Ed.). . **Ergonomia**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2007a. p. 303–315.
- DANIELLOU, F. Simulating future work activity is not only a way of improving workstation design. **Activites**, v. 04, n. 2, 2007b.

- DANIELLOU, F.; RABARDEL, P. Activity-oriented approaches to ergonomics: some traditions and communities. **Theoretical Issues in Ergonomics Science**, v. 6, n. 5, p. 353–357, set. 2005.
- DARSES, F.; REUZEAU, F. Participação dos usuários na concepção dos sistemas e dispositivos de trabalho. In: FALZON, P. (Ed.). **Ergonomia**. 1. ed. São Paulo: Editora Blücher, 2007.
- DEB, S. et al. Efficacy of virtual reality in pedestrian safety research. **Applied Ergonomics**, v. 65, p. 449–460, nov. 2017.
- DEB, S.; CARRUTH, D. W.; HUDSON, C. R. How Communicating Features can Help Pedestrian Safety in the Presence of Self-Driving Vehicles: Virtual Reality Experiment. **IEEE Transactions on Human-Machine Systems**, v. 50, n. 2, p. 176–186, abr. 2020.
- DESPEISSE, M. **GAMES AND SIMULATIONS IN INDUSTRIAL ENGINEERING EDUCATION: A REVIEW OF THE COGNITIVE AND AFFECTIVE LEARNING OUTCOMES**. (Eds. M. Rabe, A.A. Juan, N. Mustafee, A. Skoogh, S. Jain, and B. Johansson, Ed.) Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference. **Anais...**2018a.
- DESPEISSE, M. Teaching Sustainability Leadership in Manufacturing: A Reflection on the Educational Benefits of the Board Game Factory Heroes. **Procedia CIRP**, v. 69, n. May, p. 621–626, 2018b.
- DIAS BARKOKEBAS, R.; LI, X. Use of Virtual Reality to Assess the Ergonomic Risk of Industrialized Construction Tasks. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 147, n. 3, p. 04020183, mar. 2021.
- DIEGO-MAS, J. A.; ALCAIDE-MARZAL, J.; POVEDA-BAUTISTA, R. Effects of Using Immersive Media on the Effectiveness of Training to Prevent Ergonomics Risks. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 7, p. 2592, 10 abr. 2020.
- DUL, J. et al. A strategy for human factors/ergonomics: Developing the discipline and profession. **Ergonomics**, v. 55, n. 4, p. 377–395, 2012.
- ENGENHARIA DO TRABALHO. **Sobre - Engenharia do Trabalho** Engenharia do Trabalho, 2021. Disponível em: <<http://engenhariadotrabalho.com.br/sobre/>>. Acesso em: 6 set. 2021
- ERNST, J. M. et al. Virtual Cockpit: an immersive head-worn display as human-machine interface for helicopter operations. **Optical Engineering**, v. 58, n. 05, p. 1, 28 jan. 2019.
- FALZON, P. **Constructive Ergonomics**. Boca Raton: CRC Press, 2015.
- FAVI, C. et al. Virtual Reality-Enhanced Configuration Design of Customized Workplaces: a Case Study of Ship Bridge System. **Computer-Aided Design and Applications**, v. 16, n. 2, p. 345–357, 13 ago. 2018.
- FITTS, P. M.; JONES, R. E. **Analysis of factors contributing to 460" pilot-error" experiences in operating aircraft controls**. [s.l.] Wright-Patterson Air Force Base, OH: Aero Medical Laboratory, 1947.
- GAISBAUER, F. et al. Presenting a Modular Framework for a Holistic Simulation of Manual Assembly Tasks. **Procedia CIRP**, v. 72, p. 768–773, 2018.
- GARNEAU, C. J.; PARKINSON, M. B. A survey of anthropometry and physical accommodation in ergonomics curricula. **Ergonomics**, v. 59, n. 1, p. 143–154, 2 jan. 2016.
- GATTO, L. B. S. et al. Virtual simulation of a nuclear power plant's control room as a tool for ergonomic evaluation. **Progress in Nuclear Energy**, v. 64, p. 8–15, 2013a.
- GATTO, L. B. S. et al. Virtual simulation of a nuclear power plant's control room as a tool for ergonomic evaluation. **Progress in Nuclear Energy**, v. 64, p. 8–15, abr. 2013b.

- GEE, J. P. **What video games have to teach us about learning and literacy**. 1st ed ed. New York: Palgrave Macmillan, 2003.
- GEE, J. P. Good video games and good learning. **Phi Kappa Phi Forum**, v. 85, n. 2, p. 33–37, 2005.
- GEIGER, A.; BRANDENBURG, E.; STARK, R. Natural Virtual Reality User Interface to Define Assembly Sequences for Digital Human Models. **Applied System Innovation**, v. 3, n. 1, p. 15, 12 mar. 2020.
- GETULI, V. et al. BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach. **Automation in Construction**, v. 114, p. 103160, jun. 2020.
- GREGORIADES, A. et al. Human Requirements Validation for Complex Systems Design. **Procedia Manufacturing**, v. 3, p. 3033–3040, 2015.
- GREGORY, J. **Game engine architecture**. Third edition ed. Boca Raton: Taylor and Francis, CRC Press, 2018.
- GUÉRIN, F. et al. **Compreender o trabalho para transformá-lo: a prática da ergonomia**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2001.
- GUÉRIN, J. Ergo@Large: Collaborating for the Benefits of HF/E. In: BLACK, N. L.; NEUMANN, W. P.; NOY, I. (Eds.). . **Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)**. Lecture Notes in Networks and Systems. Cham: Springer International Publishing, 2022. v. 223p. 791–796.
- HARARI, Y. et al. Automated simulation-based workplace design that considers ergonomics and productivity. **International Journal of Simulation Modelling**, v. 16, n. 1, p. 5–18, 2017.
- HAVARD, V. et al. Digital twin and virtual reality: a co-simulation environment for design and assessment of industrial workstations. **Production & Manufacturing Research**, v. 7, n. 1, p. 472–489, 1 jan. 2019.
- HETTINGER, L. J. et al. Modelling and simulation of complex sociotechnical systems: envisioning and analysing work environments. **Ergonomics**, v. 58, n. 4, p. 600–614, 2015.
- HILT, S. et al. Biomechanical fidelity of simulated pick-and-place tasks: impact of visual and haptic renderings. **IEEE Transactions on Haptics**, p. 1–1, 2021.
- HJELSETH, S.; MORRISON, A.; NORDBY, K. Design and Computer Simulated User Scenarios: Exploring Real-Time 3D Game Engines and Simulation in the Maritime Sector. **International Journal of Design**, v. 9, n. 3, p. 63–75, 2015.
- HOONAKKER, P. et al. Healthcare in a Virtual Environment: Workload and Simulation Sickness in a 3D CAVE. In: BAGNARA, S. et al. (Eds.). . **Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 281–289.
- HOREJSI, P.; NOVIKOV, K.; SIMON, M. A Smart Factory in a Smart City: Virtual and Augmented Reality in a Smart Assembly Line. **IEEE Access**, v. 8, p. 94330–94340, 2020.
- IEA. **CORE COMPETENCIES IN HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS (HFE): Professional knowledge and skills**. [s.l.] International Ergonomics Association, 2021.
- JACKSON, M. A participação dos ergonomistas nos projetos organizacionais. **Production**, v. 9, n. spe, p. 61–70, dez. 1999.
- KARABULUT-ILGU, A.; JARAMILLO CHERREZ, N.; JAHREN, C. T. A systematic review of research on the flipped learning method in engineering education. **British Journal of Educational Technology**, v. 49, n. 3, p. 398–411, 2018.

- KINATEDER, M. et al. Social influence in a virtual tunnel fire – Influence of conflicting information on evacuation behavior. **Applied Ergonomics**, v. 45, n. 6, p. 1649–1659, nov. 2014.
- KOTELEVA, N. et al. Augmented Reality System and Maintenance of Oil Pumps. **International Journal of Engineering**, v. 33, n. 8, ago. 2020.
- KWEGYIR-AFFUL, E.; HASSAN, T. O.; KANTOLA, J. I. Simulation-based assessments of fire emergency preparedness and response in virtual reality. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, p. 1–15, 19 mar. 2021.
- LÄMKULL, D.; HANSON, L.; ROLAND ÖRTENGREN. A comparative study of digital human modelling simulation results and their outcomes in reality: A case study within manual assembly of automobiles. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 39, n. 2, p. 428–441, 2009.
- LANZOTTI, A. et al. Interactive Tools for Safety 4.0: Virtual Ergonomics and Serious Games in Tower Automotive. In: BAGNARA, S. et al. (Eds.). . **Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 270–280.
- LAVILLE, A. **HISTORICAL LANDMARKS OF FRENCH ERGONOMICS**. Proceedings of the SELF-ACE 2001 Conference – Ergonomics for changing work. **Anais...** In: SELF-ACE 2001. 2001.
- LEWIS, J. R. The System Usability Scale: Past, Present, and Future. **International Journal of Human–Computer Interaction**, v. 34, n. 7, p. 577–590, 3 jul. 2018.
- LEWIS, M.; JACOBSON, J. Games Engines in Scientific Research. **Communications of the ACM**, v. 45, n. 1, p. 27–31, 2002.
- LI, B. et al. Design in context of use: An experiment with a multi-view and multi-representation system for collaborative design. **Computers in Industry**, v. 103, p. 28–37, dez. 2018.
- LIANG, W. et al. Functional Workspace Optimization via Learning Personal Preferences from Virtual Experiences. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 25, n. 5, p. 1836–1845, maio 2019.
- LIU, Z. et al. Quantitative Evaluation on the Effect of Experience Under Emergency Situations in NPP Main Control Room Based on Multimodal Data. **Nuclear Technology**, v. 207, n. 4, p. 575–581, 3 abr. 2021.
- MADNI, A. M. Expanding Stakeholder Participation in Upfront System Engineering through Storytelling in Virtual Worlds. **Systems Engineering**, v. 18, n. 1, p. 16–27, jan. 2015.
- MALINE, J.; PRETTO, J. **Simuler le Travail: une aide à la conduite de project**. Mountrouge: Agence nationale pour l’amélioration des conditions de travail, 1994.
- MARTINS, A. I. et al. European Portuguese Validation of the System Usability Scale (SUS). **Procedia Computer Science**, v. 67, p. 293–300, 2015.
- MAYER, E. et al. **Designing an Educational Virtual Reality Application to Learn Ergonomics in a Work Place**. ACM International Conference on Interactive Media Experiences. **Anais...** In: IMX ’21: ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTERACTIVE MEDIA EXPERIENCES. Virtual Event USA: ACM, 21 jun. 2021. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3452918.3465504>>. Acesso em: 8 set. 2021
- MCGINN, C.; SENA, A.; KELLY, K. Controlling robots in the home: Factors that affect the performance of novice robot operators. **Applied Ergonomics**, v. 65, p. 23–32, nov. 2017.
- MCNAMARA, C.; PROETSCH, M.; LERMA, N. **Investigating Low-Cost Virtual Reality Technologies in the Context of an Immersive Maintenance Training Application**. VAMR 2016. **Anais...**2016.

- MEISTER, D. **The history of human factors and ergonomics**. 1. ed. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 1999.
- MICHALOS, G. et al. Workplace analysis and design using virtual reality techniques. **CIRP Annals**, v. 67, n. 1, p. 141–144, 2018.
- MILGRAM, P.; KISHINO, F. A TAXONOMY OF MIXED REALITY VISUAL DISPLAYS. **IEICE Transactions on Information Systems**, v. E77-D, n. 12, p. 1–15, 1994.
- MOHER, D. et al. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. **PLoS Medicine**, v. 6, n. 7, p. e1000097, 21 jul. 2009.
- MOODY, L. A Studio-Based Approach to Teaching Ergonomics and Human Factors. **Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting**, v. 55, n. 1, p. 545–549, 1 set. 2011.
- NEUMANN, P. Integrating Human Factors into Discrete Event Simulation. n. May, 2015.
- NICOLETTI, L.; PADOVANO, A. Human factors in occupational health and safety 4.0: a cross-sectional correlation study of workload, stress and outcomes of an industrial emergency response. **International Journal of Simulation and Process Modelling**, v. 14, n. 2, p. 178–195, 2019.
- NYKÄNEN, M. et al. Evaluation of the efficacy of a virtual reality-based safety training and human factors training method: study protocol for a randomised-controlled trial. **Injury Prevention**, v. 26, n. 4, p. 360–369, ago. 2020a.
- NYKÄNEN, M. et al. Implementing and evaluating novel safety training methods for construction sector workers: Results of a randomized controlled trial. **Journal of Safety Research**, v. 75, p. 205–221, dez. 2020b.
- OAKMAN, J. et al. Tertiary education in ergonomics and human factors: quo vadis? **Ergonomics**, v. 63, n. 3, p. 243–252, 2020.
- PAGE, L. T.; STANLEY, L. M. Ergonomics Service Learning Project: Implementing an Alternative Educational Method in an Industrial Engineering Undergraduate Ergonomics Course: Ergonomics Service Learning Project. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries**, v. 24, n. 5, p. 544–556, set. 2014.
- PARAVIZO, E. et al. Exploring gamification to support manufacturing education on industry 4.0 as an enabler for innovation and sustainability. **Procedia Manufacturing**, v. 21, p. 438–445, 2018.
- PARAVIZO, E. et al. **Leveraging virtual environments and 3D models in a workspace design: implications and possibilities**. . In: 26TH EUROMA CONFERENCE - OPERATIONS ADDING VALUE TO SOCIETY. Helsinki: EurOMA, 2019.
- PARAVIZO, E. et al. How Ergonomics and Related Courses Are Distributed in Engineering Programs? an Analysis of Courses from Brazilian Universities. In: BLACK, N. L.; NEUMANN, W. P.; NOY, I. (Eds.). . **Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)**. Lecture Notes in Networks and Systems. Cham: Springer International Publishing, 2021. v. 219p. 567–574.
- PARAVIZO, E.; BRAATZ, D. **Ergonomics and design education: experiences from the development and application of a workspace design workshop**. 48th Annual Conference of the Association of Canadian Ergonomist & 12th International Symposium on Human Factors in Organizational Design and Management. **Anais...** In: ACE-ODAM 2017. Banff: 2017.
- PARAVIZO, E.; BRAATZ, D. Employing Game Engines for Ergonomics Analysis, Design and Education. In: BAGNARA, S. et al. (Eds.). . **Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)**. Cham: Springer International Publishing, 2019a. p. 330–338.

- PARAVIZO, E.; BRAATZ, D. Using a game engine for simulation in ergonomics analysis, design and education: An exploratory study. **Applied Ergonomics**, v. 77, n. January, p. 22–28, maio 2019b.
- PARAVIZO, E.; BRAATZ, D. Using a game engine for simulation in ergonomics analysis, design and education: An exploratory study. **Applied Ergonomics**, v. 77, p. 22–28, maio 2019c.
- PARK, B. D.; REED, M. P. Accommodation Assessments for Vehicle Occupants Using Augmented Reality. In: BAGNARA, S. et al. (Eds.). . **Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 3–9.
- PASSOS, C. et al. Collaborative virtual environment for training teams in emergency situations. **Chemical Engineering Transactions**, v. 53, n. January 2016, p. 217–222, 2016.
- PASSOS, C. et al. Design of a collaborative virtual environment for training security agents in big events. **Cognition, Technology and Work**, v. 19, n. 2–3, p. 315–328, set. 2017.
- PAUL, G.; QUINTERO-DURAN, M. Ergonomic assessment of hospital bed moving using DHM Siemens JACK. **Proceedings of the 19th Triennial Congress of the International Ergonomics Association**, n. August, p. 1–6, 2015.
- PEREIRA, M. A. C.; BARRETO, M. A. M.; PAZETI, M. Application of Project-Based Learning in the first year of an Industrial Engineering Program: Lessons learned and challenges. **Producao**, v. 27, n. Specialissue, p. 1–13, 2017.
- PERUZZINI, M. et al. Using virtual manufacturing to design human-centric factories: an industrial case. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 115, n. 3, p. 873–887, jul. 2021.
- PLEWAN, T. et al. Exploring the benefits and limitations of augmented reality for palletization. **Applied Ergonomics**, v. 90, p. 103250, jan. 2021.
- QIAN, M.; CLARK, K. R. Game-based Learning and 21st century skills: A review of recent research. **Computers in Human Behavior**, v. 63, p. 50–58, out. 2016.
- QURESHI, S. M.; PURDY, N.; NEUMANN, P. **Predicting Nursing Workload using Discrete Event**. (ACE, Ed.)Proceedings of the Association of Canadian Ergonomists (ACE) Conference 2016: Harnessing the Power of Ergonomics. **Anais...Niagara Falls**: ACE, 2016.
- REBELO, F.; FILGUEIRAS, E. V. Ergoshow: a user-centred design game to make children aware of ergonomics and occupational safety and health. **Theoretical Issues in Ergonomics Science**, v. 13, n. 1, p. 4–17, jan. 2012.
- REINERT, F.; GONTIJO, L. A. The consideration of human factors in product design at the engineering programmes of a Brazilian university. **Journal of Engineering Design**, v. 28, n. 10–12, p. 709–730, 2 dez. 2017.
- SAFIN, S.; PINTUS, P.; ELSEEN, C. Ergonomics in design and design in ergonomics: Issues and experience in education. **Work**, v. 66, n. 4, p. 917–931, 17 set. 2020.
- SANTOS, V. et al. DHM and serious games: a case-study oil and gas laboratories. **Work**, v. 41, p. 2279–2283, 2012.
- SHELL, J. **The Art of Game Design: A Book of Lenses**. 1. ed. Burlington: Morgan Kaufmann Publishers, 2014.
- SHI, V. G. et al. Using gamification to transform the adoption of servitization. **Industrial Marketing Management**, v. 63, p. 82–91, 2017.
- SOARES, M. M. Ergonomics in Latin America: Background, trends and challenges. **Applied Ergonomics**, v. 37, n. 4, p. 555–561, jul. 2006.

- STANNEY, K.; FIDOPIASTIS, C.; FOSTER, L. Virtual Reality Is Sexist: But It Does Not Have to Be. **Frontiers in Robotics and AI**, v. 7, p. 4, 31 jan. 2020.
- THOMAS, D. R. A General Inductive Approach for Analyzing Qualitative Evaluation Data. **American Journal of Evaluation**, v. 27, n. 2, p. 237–246, jun. 2006.
- USKOV, A.; SEKAR, B. Serious games, gamification and game engines to support framework activities in engineering: Case studies, analysis, classifications and outcomes. **IEEE International Conference on Electro Information Technology**, p. 618–623, 2014.
- VAN BELLEGHEM, L. Managerial Simulation: A Tool for Devising Management Organization. In: BAGNARA, S. et al. (Eds.). . **Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 80–86.
- VELOSO, C. S. M. et al. Educação empreendedora e as novas diretrizes curriculares nacionais em engenharia. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 23263–23268, 2019.
- VIRZI, R. A.; SOKOLOV, J. L.; KARIS, D. **Usability problem identification using both low- and high-fidelity prototypes**. Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems common ground - CHI '96. **Anais...** In: THE SIGCHI CONFERENCE. Vancouver, British Columbia, Canada: ACM Press, 1996. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=238386.238516>>. Acesso em: 15 jul. 2021
- VOSNIAKOS, G.-C.; DEVILLE, J.; MATSAS, E. On Immersive Virtual Environments for Assessing Human-driven Assembly of Large Mechanical Parts. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 1263–1270, 2017.
- WANBERG, J.; CASTON, M.; BERTHOLD, D. Ergonomics in Alternative Vehicle Design: Educating Students on the Practical Application of Anthropometric Data. **Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications**, v. 27, n. 3, p. 24–29, jul. 2019.
- WANICK, V.; BUI, H. Gamification in Management : analysis and research directions Background. **International Journal of Serious Games**, v. 6, n. 2, p. 57–74, 2019.
- WERBACH, K.; HUNTER, D. **For the win - How Game Thinking Can Revolutionize Your Business**. 1. ed. Philadelphia: Wharton Digital Press, 2012.
- WESTHOVEN, M.; ALEXANDER, T. Towards a Structured Selection of Game Engines for Virtual Environments. In: **5th International Conference, VAMR 2013, Held as Part of HCI International 2013**. [s.l: s.n.]. v. 8021p. 142–152.
- WILSON, J. R. Virtual environments and ergonomics: needs and opportunities. **Ergonomics**, v. 40, n. 10, p. 1057–1077, out. 1997.
- WILSON, J. R. Virtual environments applications and applied ergonomics. **Applied Ergonomics**, v. 30, n. 1, p. 3–9, 1999.
- WILSON, J. R.; D'CRUZ, M. Virtual and interactive environments for work of the future. **International Journal of Human Computer Studies**, v. 64, n. 3, p. 158–169, 2006.
- WOLFARTSBERGER, J. Analyzing the potential of Virtual Reality for engineering design review. **Automation in Construction**, v. 104, p. 27–37, ago. 2019.
- ZAMBERLAN, M. et al. DHM simulation in virtual environments: A case-study on control room design. **Work**, v. 41, n. SUPPL.1, p. 2243–2247, 2012a.
- ZAMBERLAN, M. et al. DHM simulation in virtual environments: a case-study on control room design. **Work**, v. 41, p. 2243–2247, 2012b.
- ZHOU, D. et al. A method for integrating ergonomics analysis into maintainability design in a virtual environment. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 54, p. 154–163, 2016.



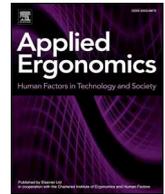
**APÊNDICE 1 - USING A GAME ENGINE FOR SIMULATION IN  
ERGONOMICS ANALYSIS, DESIGN AND EDUCATION: AN EXPLORATORY  
STUDY**



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

## Applied Ergonomics

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/apergo](http://www.elsevier.com/locate/apergo)

# Using a game engine for simulation in ergonomics analysis, design and education: An exploratory study

Esdras Paravizo\*, Daniel Braatz

Department of Production Engineering, Federal University of Sao Carlos, Rod. Washington Luiz, km 235, 13565 905, São Carlos, Brazil



## ARTICLE INFO

## Keywords:

Virtual environments  
Simulation  
Game engine

## ABSTRACT

Among the possible approaches for building virtual environments (VE), researchers have recently started employing game engines (GE). Although there are already studies reporting the usage of GE-based VEs, their potential for supporting a more comprehensive workspace analysis (considering the physical, organizational and cognitive aspects of work) has yet to be better understood. The main goal of this paper is to investigate how a GE-based simulation of a real workplace (a local control room in an oil refinery) can be used as a tool by practitioners and researchers in evaluating work conditions. Participants ( $n = 38$ ) were recruited to explore the simulation and evaluate the workplace dimensions represented. A comparison between the scores participants attributed to the work dimensions and the scores assigned by the ergonomics consultant was performed through a statistical test to verify whether they significantly differed or not. Out of the 10 aspects evaluated, only 3 presented significant differences, thus showing that GE suitability for ergonomics analysis is conditioned to the aspects represented. Qualitative data analysis highlighted participants' perception of GEs potential as an analysis and educational tool, as well as a medium for fostering communication and stakeholder involvement in the design process.

## 1. Introduction

The role of simulation for assisting in design processes has long been discussed in the Ergonomics discipline (Maline, 1994). According to Béguin and Weill-Fassina (2002) three main goals can be pursued with simulations: either observation objectives (aiming to achieve a better understanding of the situation studied), learning (employing simulations for training and competencies' development) and designing (assisting the development of solutions, sense-making and decision making among project actors). Daniellou (2007) highlights the potential of simulation for designing future work systems pointing out the variety of simulation media which can be employed by practitioners and researchers.

In this paper, we focus on computer simulations. Throughout the years several studies have highlighted how the Human Factors and Ergonomics (HFE) discipline could benefit from employing computer simulations into workspace analysis and design. Early developments in digital human modelling (DHM) from Chaffin (1997, 2002) showed its potential value in analyzing reach, clearance and visibility requirements. Since then, studies reported the application of commercial of the shelf DHM software packages in numerous industries and contexts (Backstrand et al., 2007; Dukic et al., 2007; Määttä, 2007; Paul and

Quintero-Duran, 2015; Zhou et al., 2016). In general, these studies focused on biomechanical (force exertion, load analysis), reach, clearance and visibility aspects or postures assessment (employing for instance, the RULA protocol).

In parallel, research on the potential of virtual environments (VEs) for HFE started to gain traction (Wilson, 1997). A VE is defined as a “computer generated three dimensional model, where a participant can interact intuitively in real time with the environment or objects within it, and to some extent have a feeling of actually being there (the notion of presence)” (Wilson, 1999, p. 3). Originally, the author was referring to VE solutions built from the ground up to support collaborative design and training such as the ones reported in Wilson (1999) and Wilson and D'Cruz (2006). Since then, the evolution of computers graphics and rendering technologies enabled the development of alternative approaches for VEs creation, which is further sustained by the increasingly easier access to computers able to run CAD software and digital games with ease (Westhoven and Alexander, 2015).

In this context, game engines (GEs) appear as a powerful software package that enables developers to build their games and applications using pre-existing modules of 2D/3D rendering, game physics, input manipulation and so on (Lewis and Jacobson, 2002), speeding up VE development process. These commercially available GEs are specially

\* Corresponding author.

E-mail address: [esdras@dep.ufscar.br](mailto:esdras@dep.ufscar.br) (E. Paravizo).

tailored to achieve high-end graphics representations and they are suited for building virtual reality (VR) and augmented reality (AR) applications (Westhoven and Alexander, 2015), making it easier for researchers and practitioners to build high-quality, interactive 3D environments.

Furthermore, GE technologies are intrinsically linked to the multi-billion dollar digital games industry which is set to overcome US\$ 108 billion in revenues in 2017 (Warman, 2017). The game industry is a driving force for hardware manufacturers and software developers to continuously improve components and technologies. GEs naturally benefit from these resources and improvements which, ultimately, can lead to a much quicker and easier creation of better VEs.

GE usage has been seen across several knowledge domains from education (Aziz et al., 2015; Koops et al., 2016) to facilities simulation and design (Braatz et al., 2011; Koutsabasis et al., 2012; Zamberlan et al., 2012; Gatto et al., 2013).

The HFE field has also seen GE-based VEs, for instance, Aromaa and Väänänen (2016) evaluated reach, visibility and tools usage in a virtual prototyping process enabled by GE-based VR and AR applications. Zamberlan et al. (2012) and Gatto et al. (2013) report using GE for control room design and control room operation simulation, respectively. Other studies highlight the potential of using GE for training in professional contexts (Aziz et al., 2015; Kwon and Lee, 2016; Mcnamara et al., 2016; Passos et al., 2016, 2017), increasing stakeholder involvement in design processes (Madni, 2015) and pedestrian safety research (Deb et al., 2017). Nonetheless, GE potential for supporting a more comprehensive workspace analysis (considering not only the physical aspect of work but also organizational and cognitive implications), has yet to be better understood.

One of the most recurrent issues when employing modelling and simulation techniques is to assess to what extent the simulation represents the real work situations (Maline, 1994; Balci, 1995; Béguin and Pastré, 2002; Béguin and Weill-Fassin, 2002). One of the possible approaches to validate the simulation as representative of the real work system it depicts is to simulate a simple scenario in which the results are already known (Maline, 1994). From the validation of the simulation for the base scenario it would be possible to use it for the development of the future work activity in line with Daniellou (2007).

Thus, this study aims to investigate to what extent a simulation representing a real work situation developed in a GE can be used as a tool by practitioners and researchers in the evaluation of work conditions, as well as to gather insights on its potential benefits and limitations for work systems design and training/education in HFE.

The paper is organized as follows: section 2 describes the overall study design, the development of the VE on the selected GE, the participants' recruitment process, data collection instruments (feedback questionnaire and interview) and data analysis approaches (both quantitative and qualitative). Section 3 provides results from the quantitative and qualitative analysis performed. Section 4 discusses achieved results and Section 5 draws conclusions.

## 2. Materials and methods

A mixed-method, exploratory approach was employed in this study. To achieve the main goal of assessing the suitability of a Game Engine-based Virtual Environment for evaluating working conditions, a real work situation was selected, modeled and deployed in a GE. This situation was originally analyzed by this paper's second author and an ergonomics consultant who were part of a larger HFE project in the company. This situation was chosen mainly due to the abundance of information on the workplace characteristics available to the researchers.

Moreover, an adaptation of the Ergonomics Workplace Analysis - EWA (Ahonen et al., 1989) was carried out at the original situation, which enabled us to use it as a baseline measurement of the real work conditions. This tool for workspace evaluation was developed by the

Finnish Institute of Occupational Health, covering fourteen aspects of the work environment (work site, general physical activity, lifting, work postures and movements, accident risk, job content, job restrictiveness, worker communication and personal contacts, decision making, repetitiveness of the work, attentiveness, lighting, thermal environment and noise), which are evaluated in a scale ranging from 1 to 5 (1–4 for some aspects), where the higher the score the more hazards the situation presents to the worker. The ergonomics consultant who performed the analysis adapted the tool using 1 to 5 scales for all fourteen aspects. The EWA tool for workplace evaluation is especially well suited to be employed in this study, since the analysis is not only restricted to physical aspects of work, also evaluating cognitive (e.g. attention required, decision making) and organizational (e.g. task content, personal contact and communication) dimensions of the work.

The VE representing the original situation was developed in this context. Participants were then asked to explore the scenario and answer a feedback questionnaire. Our goal was to understand to what extent the GE-based simulation could represent the workspace aspects analyzed in the EWA tool. If participants could recognize the issues and their criticality in a similar way to the original analysis performed in the real situation the simulation could be deemed valid.

To test this assumption objectively through a statistical test, we formulated the hypothesis that there should be no difference between the grades assigned by the participants and the grades assigned by the original ergonomics consultant to evaluated EWA items.

Nonetheless, besides the VE representation of the workplace, participants' previous experience and knowledge would also be a factor affecting their perception and evaluation of the simulation. If participants were able to analyze the real work situation, the differences between their evaluation and that of the ergonomics expert (and among the participants themselves) would mainly be due to interpersonal variability. However, considering that the VE aims to represent the real work place but cannot be considered identical to the real situation, the focus of this study is to have an initial understanding of the most contentious aspects represented in the VE. Thus, without ignoring the implications of the participants' previous experience and knowledge, we focus on the differences between the VE representation and the real workplace as sources for possible divergences between the participants' evaluation and the ergonomics consultant one.

In the following sessions, we detail each stage of the study, the development of the VE, participants recruitment process, feedback questionnaire and interview design and data analysis approaches.

### 2.1. Development of the game engine-based virtual environment

The development of the VE was based on game design principles (Schell, 2012), gamification theories (Werbach and Hunter, 2012) and the VE development framework presented by Wilson (1997). The Unreal Engine 4.17 was the game engine selected for designing the VE, mainly due to its visual graphics capabilities and support for creating complex interactions and dialogues without the need of employing a traditional programming language and also because of authors previous experiences with the engine. The scenario design followed four major axes: virtual environment, digital human, analysis and interactions, as devised previously in (Paravizo and Braatz, 2017).

The virtual environment comprised the physical space representing the local control room, the equipment and tools available for the operators and the overall lighting and sounds/noise conditions of the scenario. The 3D models of the scenario were mostly designed in CAD software, although some were retrieved from online, free to use 3D libraries and assets repositories. The digital human dimension is related to the modelling and representation of the workers as digital human manikins. The Adobe Fuse software enabled the design and customization of manikins' appearance, clothing, sizes and dimensions. This software is integrated with an online animation database (Mixamo), which was used to animate the manikins' actions and postures. The

workflow followed for manikins' design did not account for accurate anthropometric measurements nor detailed biomechanical aspects, focusing mainly on their visual representation.

The interactions implemented on the VE were essentially of three types: interacting with the environment and equipment (e.g. information spots were spread out throughout the scenario), interacting with non-playable characters (NPCs) representing the operators/third-party personnel (e.g. dialogues for inquiring about work conditions were programmed) and interactions with the resources available to the user. These resources were in this case represented as an “in-game” clipboard with a synthesis of the tasks performed in the workplace, the organizational aspects of the work and four intended goals for the environment exploration. There was also the possibility of performing a range of analysis on the VE, enabled by the three dimensions previously discussed. However, this case focused on qualitative analysis derived from participants' exploration of the scenario and interaction with characters, environment and resources available.

Overall, the VE development aimed to represent explicitly 10 out of the 14 EWA items. These 10 items were deemed to be the most relevant aspects of the work analyzed, based on the second author's experience at the real situation. The items and their representation (explicit or not) on the VE are compiled on [Table 1](#). To explicitly represent an item firstly, we carefully selected/designed 3D models, crafted dialogues with NPCs (based in real worker's verbalizations) and created information spots and the in-game clipboards to further support the items explicit representation. See [Fig. 1](#) for an example. The four aspects chosen not to be explicitly represented in the VE were not critical for the work situation analyzed.

The VE was designed so that participants could explore it in their own computers, at their own pace. The scenario developed was packaged as an executable file, which enabled anyone with a computer (running Windows 7 through 10) to run and explore it. The final file size was 600 Mb, which was uploaded to cloud storage services to make it available for download to the participants.

## 2.2. Participants

Participants in the study were volunteers gathered from the authors professional networks. The researchers sent out e-mails introducing the study and shared posts in social media inviting people to participate, targeting mainly researchers and practitioners in the fields of HFE as well as students in engineering and health courses. Having both HFE experts and non-experts participating in the study was particularly relevant, since the former would have more experience in what to focus on the analysis of workplace, and the latter would indicate whether less experienced people could grasp the main issues of workplace depicted in the VE.

Over a two-month period, a total of 120 participants volunteered to take part in the study. Those volunteers then received a link for

**Table 1**  
Planned representation of the 14 EWA items of the workplace on the VE.

Dimension	On the VE
Work Site	Explicitly
General Physical Activity	Not Explicitly
Lifting	Not Explicitly
Work Postures and Movements	Explicitly
Accident Risk	Not Explicitly
Job Content	Explicitly
Job Restrictiveness	Explicitly
Worker Communication and Personal Contacts	Explicitly
Decision Making	Explicitly
Repetitiveness of The Work	Not Explicitly
Attentiveness	Explicitly
Lighting	Explicitly
Thermal Environment	Explicitly
Noise	Explicitly

downloading the scenario and the feedback questionnaire (which should be completed after exploring the VE). Out of the initial 120 volunteers, 16 (13.3%) reported having problems to download and/or run the simulation and only 38 completed the steps of downloading, exploring and answering the feedback survey, achieving a 31.7% response rate.

## 2.3. Feedback questionnaire design

The questionnaire was designed in five main blocks: (1) the background of participants, (2) workplace evaluation, (3) experience with the VE, (4) usability aspects of the VE and (5) comments. The questionnaire was designed to be self-administered through the online platform provided by Google Forms. In this paper we focus only on the results from sections 1, 2 and 5.

The first section asked participants age, gender, educational and professional background, HFE background (inquiring if they had previously participated in an ergonomics intervention, analyzed working conditions or took part in an engineering design project) and if they used to play computer games.

In the second section, participants answered how long they explored the scenario for and how many of the 4 goals they were able to achieve. This section also presented the EWA items for workplace evaluation with brief descriptions for each, and then asked participants to grade them in a scale from 1 to 5 (where 5 indicated the dimension posed a serious threat to workers' health and 1 indicated that the situation was safe). For each of the EWA items, participants could choose to assign “The VE is not enough to evaluate this aspect” in case they felt there was not enough information to evaluate a particular dimension instead. The section concluded with two five-point Likert scale questions inquiring their perception of their overall understanding of the work conditions and their ability to propose improvements to the workspace based in the VE exploration performed.

The third part had twelve five-point Likert Scale questions inquiring participants their overall perception of the VE. The fourth section also presented five-point Likert scale questions, aiming to get participants perception of the usability aspects of the VE. The final section was an open-ended question asking participants to comment or share the positive/negative aspects they perceived in the VE, if they wanted to. The feedback questionnaire is on [Appendix A](#).

## 2.4. Pilot test

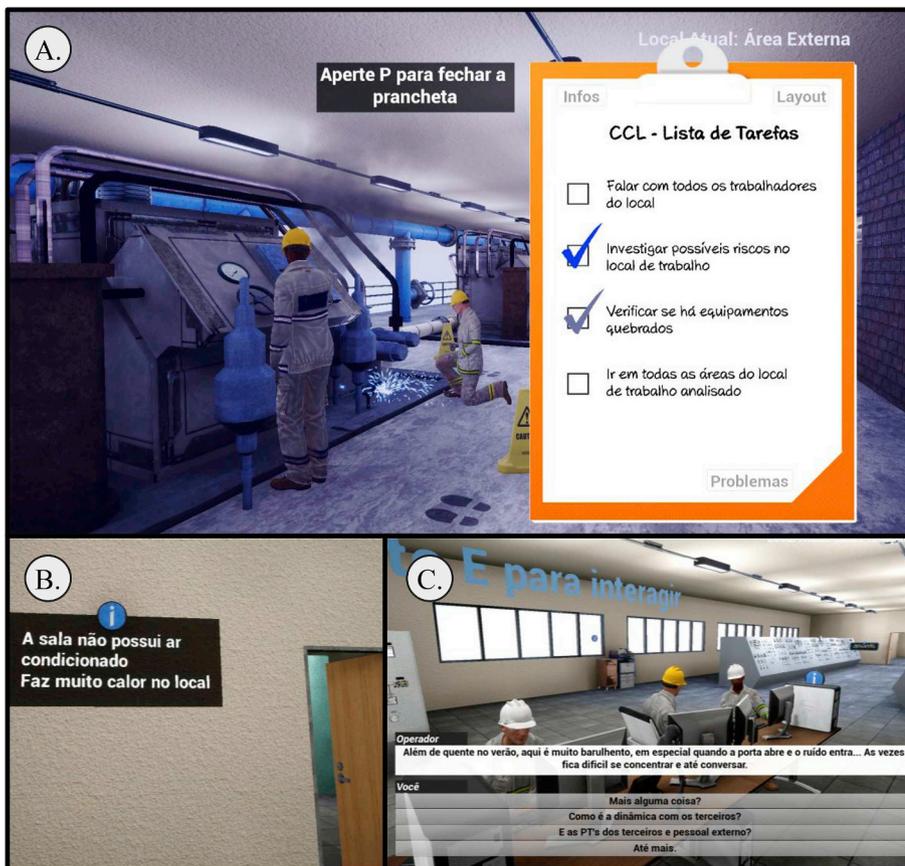
A pilot test of the VE exploration and feedback questionnaire was conducted with three colleagues and minor updates were made to improve the VE and questionnaire according to their inputs.

As an extra step in the pilot test of the VE, we reached out to the original ergonomics consultant who performed the analysis of the real work situation used as an input for the VE design. He explored the scenario and then was interviewed by the researchers. His participation was important because he, not only performed the original analysis in the workplace, but also wrote his master's dissertation discussing, among other topics, the workplace in question.

The one-hour, semi-structured interview with the ergonomics consultant focused mainly on his recollection of the issues he identified at the time, and how well those issues were represented on the VE designed. Another aspect covered by the interview was the potential of GE-powered simulations for analyzing work, discussing and designing workspace improvement proposals and for training and education in the field of HFE. The interview took place via Skype; it was recorded and, afterwards, fully transcribed.

## 2.5. Data analysis

The data analysis comprised both quantitative and qualitative approaches. The quantitative analysis was necessary to test the hypothesis



**Fig. 1.** A. interaction of the user with the clipboard with the exploration goals (the translated text on the clipboard reads, from top to bottom “LCR – Task list”, “Talk to all workers of the workspace”, “Investigate possible hazards at the workspace”, “Verify if there are broken equipment”, “Visit all areas of the workspace”). B. Example of interaction with the environment (the translated text on the box reads “The room does not have air conditioning system. The room gets very hot”). C. Example of a dialogue between user and NPC (the translated text on the dialogue boxes read, “Operator:”, “Besides being hot here in the summer, it's too noisy in here, especially when the door opens, and the noise enters. Sometimes it's even difficult to concentrate and talk to others.”, “You:”, “Anything else?”, “What is the procedure with the third-party personnel?”, “How about the work permissions of the third-parties and external personnel?”, “Bye”).

that there is no difference between the grades assigned by the participants and the grades assigned by the original ergonomics consultant (from this point onwards referred to as “the baseline grades”) for each of the 10 EWA items for workplace evaluation represented in the VE.

This hypothesis is rooted on the premise that the analysis performed (and thus the grades assigned) by the ergonomics expert at the real work situation, is the benchmark against which we should compare the grades assigned by the study participants who only had access to the VE depicting the workspace. The statistical tests were conducted in the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) version 20 software.

Considering the data (grades assigned by participants), firstly a Shapiro-Wilk normality test was performed to determine if the answers for each question followed a normal distribution. The results of this test showed that eight out of the ten EWA items did not follow a normal distribution, hence being necessary to employ a non-parametric test for testing the hypothesis (instead of the one-sample *t*-test, for instance). Furthermore, considering that data are discrete and in an ordinal scale, the One-sample Wilcoxon Signed Rank test was selected to verify whether the median of the grades assigned by participants who explored the virtual environment differed significantly from baseline grades. Although the Wilcoxon Signed Rank test is commonly used to test paired data, it can be employed for the one-sample problem (Woolson, 2008) when verifying whether the median of a sample is equal to a theoretical value. In this study, we assumed the baseline grades as the theoretical value for the test, as discussed in the beginning of this session.

Additionally, data from the interview with the ergonomics specialist and from participants' comments on their perception and experience using the VE were analyzed following the general inductive approach for qualitative data analysis, aiming to summarize the data and then to link these summary findings to the study goals (Thomas, 2006).

The coding process of the interview transcript with the ergonomics consultant was performed in NVivo 11. The inductive coding process

delineated by Thomas (2006) was followed: the first author closely read the interview transcripts for achieving an overall understanding of the themes and, then, coded the text to the categories, refining them when appropriate. Similarly, participants' comments in the feedback questionnaire were also compiled, analyzed and categorized following the same procedure.

A subset of the interview transcripts and comments from the feedback questionnaire were read and categorized by the second author and an intercoder reliability check was conducted to assess the consistency of the coding process. The results of both the quantitative and qualitative analysis are in the following section.

### 3. Results

One out of the 38 participants who concluded the exploration of the VE and filled out the feedback questionnaire, reported that he had spent only 3 min exploring the VE, and thus the answers for this participant were disregarded. The remaining 37 participants' answers were then analyzed. A summary of participants' demographics including gender, age, education level, educational background and professional experience are shown in Table 2.

Participants also reported if they had previous HFE experience, either by participating in ergonomics interventions, performing workspace analysis in a real situation or participating in engineering design projects. These three combined questions allowed the segmentation of the respondents in HFE experts (62%,  $n = 23$ ) when they previously participated in all three contexts and non-experts (38%,  $n = 14$ ) when they did not.

Regarding participants' previous contact with computer games, 57% ( $n = 21$ ) reported they played sometimes or often, whereas 43% ( $n = 16$ ) reported they never or almost never played computer games. The average time spent in the scenario exploration amounted to  $23.3 \pm 9.4$  min. Furthermore, 68% ( $n = 25$ ) of the participants were

**Table 2**  
Summary of participants' demographics.

Characteristics	Responses
Gender	
Male	57% (n = 21)
Female	43% (n = 16)
Participants age (years, mean ± SD)	32 ± 9
Education	
Post graduate level (pursuing or concluded)	59% (n = 22)
Bachelor degree	14% (n = 5)
Undergraduate students	27% (n = 10)
Background	
Engineering	62% (n = 23)
Others (physiotherapy, occupational therapy, architecture, business management and industrial design)	38% (n = 14)
Participants time of professional experience (years, mean ± SD)	11 ± 8

able to accomplish all the four goals set for the VE exploration, 16% (n = 6) achieved 3 goals, while 11% (n = 4) and 5% (n = 2) achieved only 2 and 1 goals respectively.

The question asking participants to grade the 10 EWA items based on the VE exploration had a varying number of actual answers (grades) since participants could choose to select the option “The VE is not enough to evaluate this aspect”. The raw data is provided in Appendix B. A summary of the number of answers of each type is on Table 3.

The results of the one-sample Wilcoxon signed rank test performed to test the hypothesis that there is no difference between the grades assigned by the participants and the baseline grades for each of the items considered are in Table 4, all values for a significance level of  $p = 0.05$ .

For verifying whether the experience in HFE of participants affected their grading of the EWA items an independent-samples median test was performed. For this test the null hypothesis is that the medians of the two subgroups (HFE experts and non-experts) are equal. Rejecting  $H_0$  in this case would imply that there were significant differences among the grades assigned by HFE-experts and non-experts. Table 5 shows the summary of the test performed for each of the 10 EWA items analyzed for a 0.05 significance level.

Furthermore, from the coding of participants' comments and the ergonomics consultant interview, nine main categories were identified as shown in Table 6. Most of these categories had multiple sub-categories totaling 77 coding instances.

This paper, however, will focus only on the nine high level categories. In total, 291 segments were coded into one of the nine categories. A synthesis of the number of segments coded to each of the categories is shown on Table 6. The Cohen's kappa (McHugh, 2012) statistic was calculated indicating a 73% of agreement between the researchers in the coding process, which was deemed to be satisfactory for the present exploratory study.

**Table 3**  
Summary of the number of grade answers for each of the 10 dimensions evaluated.

Dimension evaluated	n (grade answers)	%	n (“VE not enough”)	%
Work Site	36	97%	1	3%
Work Postures and Movements	30	81%	7	19%
Job Content	29	78%	8	22%
Job Restrictiveness	29	78%	8	22%
Worker Communication and Personal Contacts	34	92%	3	8%
Decision Making	28	76%	9	24%
Attentiveness	32	86%	5	14%
Lighting	33	89%	4	11%
Thermal Environment	28	76%	9	24%
Noise	34	92%	3	8%

**Table 4**  
Summary of the one-sample Wilcoxon signed rank test comparing participants' median grade to the baseline grade for each EWA item for workspace evaluation. The significance level is 0.05.

Null Hypothesis ( $H_0$ ): “The median of participants' grades for the ...”	Sig.	Decision
Work Site dimension equals 5.	.000	Reject $H_0$
Work Postures and Movements dimension equals 4.	.545	Retain $H_0$
Job Content dimension equals 2.	.000	Reject $H_0$
Job Restrictiveness dimension equals 3.	.097	Retain $H_0$
Worker Communication and Personal Contacts dimension equals 3.	.213	Retain $H_0$
Decision Making dimension equals 3.	.254	Retain $H_0$
Attentiveness dimension equals 2.	.000	Reject $H_0$
Lighting dimension equals 3.	.704	Retain $H_0$
Thermal Environment dimension equals 4.	.073	Retain $H_0$
Noise dimension equals 4.	.170	Retain $H_0$

**Table 5**  
Summary of the analysis comparing the median of the grades assigned by HFE experts and non-experts. The significance level is 0.05.

Null Hypothesis ( $H_0$ ): “The median grades assigned by HFE experts and non-experts for the ...”	Sig.	Decision
Work Site dimension are equal.	.379	Retain $H_0$
Work Postures and Movements dimension are equal.	.255	Retain $H_0$
Content dimension are equal.	.711	Retain $H_0$
Job Restrictiveness dimension are the equal.	.702	Retain $H_0$
Worker Communication and Personal Contacts dimension are equal.	.411	Retain $H_0$
Decision Making dimension are equal.	1.000	Retain $H_0$
Attentiveness dimension are equal.	.892	Retain $H_0$
Lighting dimension are equal.	.782	Retain $H_0$
Thermal Environment dimension are equal.	.044	Reject $H_0$
Noise dimension are equal.	.951	Retain $H_0$

**Table 6**  
Summary and number of segments coded to each of the categories.

Categories	N	%
VE usability	93	32%
Affordances of GE-based simulation	53	18%
Potential uses for GE-based simulation	39	13%
Overall virtual environment design	35	12%
Evaluation of the VE	28	10%
VE goals and objectives	14	5%
Work related issues	13	4%
Technical issues experienced	10	3%
Overall research instructions and information	6	2%
<b>Total</b>	<b>291</b>	<b>100%</b>

#### 4. Discussion

Results indicate that GE-based simulation can be employed to support HFE evaluation of a workplace. The number of actual grade answers for each of the 10 EWA items (shown in Table 2) indicate that some aspects of the workspace in the VE were more evident to participants than others. For instance, 24% (n = 9) of the participants reported that the VE was not enough to evaluate the “thermal environment” aspect (which was explicitly represented during the VE design). However, for example, almost all participants (97%, n = 36) evaluated the “work site” aspect which was explicitly represented in the VE. These differences could be related to the nature of the information representation on the VE. Since the VE is a detailed, tridimensional representation of the workspace the “work site” aspect becomes the most obvious item to identify in the VE. The “thermal environment”, on the other hand, proved to be harder to represent on the VE, since it is not directly derived from the observation of the VE.

The significant differences between the median of participants' grades and the baseline grades (from the evaluation of the real situation) for the “work site” aspect (an explicitly represented aspect in the VE) is particularly interesting since it implies that the VE did not represent this dimension accurately enough. The interview with the ergonomics specialist who performed the analysis on the real workplace sustained this perception. He reported that the VE was “too clean” not faithfully representing the old furniture, lack of space in the workstations and overall un-maintained aspect. Similarly, “job content” and “attentiveness” aspects were also not sufficiently well represented in the VE. These two aspects are more related to cognitive aspects of the work and its representation on a GE-based VE proves to be challenging, warranting the need for more careful planning.

Seven aspects (see Table 4) which were explicitly represented, were enough for supporting participants' evaluation so it did not differ significantly from that of the ergonomics consultant who performed the original analysis. This indicates that GE-based simulation can be employed to support HFE evaluation of a workplace.

The comparison of the respondents' groups (HFE experts and non-experts) showed that only the “thermal environment” aspect had grades that significantly differed across the groups (the median grade from HFE experts' evaluation was 4.0 while non-experts' median grade was 4.5), indicating that non-experts perceived the thermal environment aspect as more critical than HFE experts. Overall, the comparison of the two groups indicates that even less experienced participants were able to identify the main issues' criticality and subsequently indicate them in the survey. Additionally, it also indicates that participants' experience and previous knowledge was not a major factor influencing the VE evaluation. Thus, the differences between participants and ergonomics consultant evaluation would mainly originate from the limitations of the VE.

Furthermore, from the qualitative analysis of the interview and participants' comments, the most recurrent topics approached were related to the VE usability, the immersion factor enhancing comprehension and the ability of the VE for facilitating discussion among actors involved in the intervention/project.

Specially regarding GE-based VEs for design purposes, participants' perception is corroborated by studies that already showed that VEs could be designed to support collaborative, real-time design activities (Koutsabasis et al., 2012) and to promote stakeholder involvement. We highlight that the intuitive controlling of the characters and objects within the VE can foster a development of more democratic and participatory design processes. Similarly, these graphical characteristics of GEs also enable participants to promptly identify and easily comprehend the design discussion and proposals, without the need to dive into the abstractions and symbology commonly employed in technical drawings and blueprints.

Participants also commended GE-based simulation as a training/educational tool. They perceived the interactivity of the VE as an “attractive factor” for students and trainees. In the interview, the ergonomics consultant also mentioned that GE-based VEs could be used in undergraduate courses for “materializing how one can simulate” and for creating example scenarios in which students interact to investigate and better understand the different HFE domains (physical, cognitive and organizational).

One inherent trait of VE that was highlighted by participants is the intrinsic bias of the VE towards the issues the VE designers regarded as most pressing. This aspect is undoubtedly true and also affects other modelling processes and simulation media. However, the process of building the VE may provide an opportunity for the ergonomists/designers to further validate their understanding of the issues present in the analyzed situation, ultimately designing it through a collaborative process, involving workers and other stakeholders. The “final” version of the VE would then subsidize the discussions about the workplace, enabling workers to voice and show the problems they face. A natural evolution would then be designing directly in the GE-based VE, testing

different layout configurations and simulating workers future activity.

Nonetheless, GE-based VEs should not be viewed as substitutes of the “real situation”, since it's essentially a model depicting the reality and thus having several approximations and simplifications. They are also not to be considered as replacements of the traditional HFE simulation approaches.

A closer look at GE affordances and particularities for supporting HFE applications is extremely important, since these platforms are becoming increasingly popular for the development of VEs for VR and also AR applications. The power of GEs, however, resides on the ability of creating relatively simple VEs for a wide range of users and contexts. GE-based VR and AR applications can become more difficult to build and deploy, requiring specific hardware (specially the head-mounted displays for VR and AR glasses) and more development resources for devising these different interaction modes. In this sense, GE-based VEs can be considered the first step towards incorporating this class of virtual technologies in HFE education and practice.

Although the modes of interaction with the VE designed are relatively simple (keyboard and mouse), it was possible for participants to actively explore and identify some of the most pressing issues present in the situation depicted, while still experiencing a degree of immersion in the environment, as highlighted in one of the participants comments: “the immersion that the virtual environment allowed was important to truly understand the problems the workers face in their workspace”.

The 31.7% response rate for the completion of the VE exploration and the feedback questionnaire is acceptable. This study had limitations that may have affected the validity of some results. The decentralized nature of participation led to a non-uniform experience. Additionally, only one interaction style (keyboard + mouse) was employed, whereas using head-mounted displays, different screen sizes, CAVE set-ups or even a joystick for exploring the VE might yield different results.

Another noteworthy aspect is that study participants were geographically distributed across the country (some more than 2.500 km away from the workplace represented in the VE) and that the VE depicted a workplace in a major oil company with highly restrictive access and security policies, which were constraints that determined the study design. Nonetheless, future endeavors in this area could be designed to allow participants to evaluate both the real work situation and the VE representing it, provided access to the workplace was granted to participants and researchers.

## 5. Conclusion

The purpose of this study was to evaluate the suitability of a GE-based simulation to support HFE evaluation of a workspace considering physical, cognitive and organizational aspects. Results have indicated that the GE-based VE was suitable for the evaluation of some aspects of the workplace. However, participants' median grades for the remaining aspects differed significantly from those of the ergonomics consultant, which may be related to the challenging nature of representing cognitive aspects (such as “job content” and “attentiveness”) in a VE.

Comments from participants highlighted the importance of the usability aspects of VEs especially when no training on how to use the VE is provided to them beforehand. Their perceptions on the GE-based simulation affordances for stakeholder empowerment, enhancing comprehension of the represented situation and improving communication among project actors further support the interest of understanding GE potential as a design tool for HFE. Additionally, perceptions on the advantages of employing GE-based simulations in HFE training and education were recurrent. Future studies can be designed to systematically investigate these aspects.

GE affordances such as the interactive dialogues, users' freedom to explore the scenarios, the support for implementing complex interactions and the real-time, high-fidelity, visual graphics capabilities were important to represent different aspects of the depicted workplace (especially those related to organizational and cognitive ones).

The validation of the VE developed is an important step to be able to employ the GE-based simulations as a design tool. Starting from the validated base scenario representing the current situation of the workplace, it is possible to develop different future scenarios and simulate workers' future activity in each of those.

The findings in this study can provide guidance for employing GE scenarios for HFE evaluation. The careful selection of the aspects to be focused on the design of the VE is crucial for the success of its deployment.

Finally, the inherent simplicity of the 3D environment exploration can make user involvement in design process more effective, compared with traditional CAD tools and approaches. As the ergonomics consultant commented in the interview, “[then, using traditional CAD software] we went as passengers. In this one [the GE-based VE], we go as drivers. [...] This tool enables us to share more the analysis of the environment. The analysis and design of the environment”.

## Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.01.001>.

## References

- Ahonen, M., Ilmarinen, R., Kuorinka, L., et al., 1989. *Ergonomic Workplace Analysis*. Finnish Institute of Occupational Health, Helsinki.
- Aromaa, S., Väänänen, K., 2016. Suitability of virtual prototypes to support human factors/ergonomics evaluation during the design. *Appl. Ergon.* 56, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.02.015>.
- Aziz, E.-S.S., Chang, Y., Esche, S.K., Chassapis, C., 2015. Virtual mechanical assembly training based on a 3D game engine. *Comput. Aided Des. Appl.* 12, 119–134. <https://doi.org/10.1080/16864360.2014.962424>.
- Backstrand, G., Hogberg, D., Vin, L.J., et al., 2007. Ergonomics analysis in a virtual environment. *Int. J. Manuf. Res.* 2, 198–208. <https://doi.org/10.1504/IJMR.2007.014645>.
- Balci, O., 1995. Principles and techniques of simulation validation, verification, and testing. In: 1995 Winter Simulation Conference, Virginia, pp. 147–152. <https://doi.org/10.1109/WSC.1995.478717>.
- Béguin, P., Pastré, P., 2002. Working, learning, interacting through simulation. In: 11th European Conference on Cognitive Ergonomics: Cognition, Culture and Design, Rome, pp. 5–13.
- Béguin, P., Weill-Fassina, A., 2002. Das Simulações das Situações de Trabalho à Situação de Simulação. In: Duarte, F. (Ed.), *Ergonomia e Projeto: na Indústria de Processo Contínuo*. Editora Lucerna, Rio de Janeiro, pp. 34–63.
- Braatz, D., Toledo, F.M., Tonin, L.A., et al., 2011. Conceptual and methodological issues for the application of game engines in designs of productive situations. In: 21st International Conference on Production Research.
- Chaffin, D.B., 1997. Development of computerized human static strength simulation model for job design. *Hum. Factors Ergon. Manuf.* 7, 305–322. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6564\(199723\)7:4%3C305::AID-HFM3%3E3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6564(199723)7:4%3C305::AID-HFM3%3E3.0.CO;2-7).
- Chaffin, D.B., 2002. On simulating human reach motions for ergonomics analyses. *Hum. Factors Ergon. Manuf.* 12, 235–247. <https://doi.org/10.1002/hfm.10018>.
- Daniellou, F., 2007. Simulating future work activity is not only a way of improving workstation design. *Activités* 4, 84–90. <https://doi.org/10.4000/activites.1704>.
- Deb, S., Carruth, D.W., Sween, R., et al., 2017. Efficacy of virtual reality in pedestrian safety research. *Appl. Ergon.* 65, 449–460. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.03.007>.
- Dukic, T., Rönnäng, M., Christmansson, M., 2007. Evaluation of ergonomics in a virtual manufacturing process. *J. Eng. Des.* 18, 125–137. <https://doi.org/10.1080/09544820600675925>.
- Gatto, L.B.S., Mól, A.C.A., Luquetti Dos Santos, L.J.A., et al., 2013. Virtual simulation of a nuclear power plant's control room as a tool for ergonomic evaluation. *Prog. Nucl. Energy* 64, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2012.11.006>.
- Koops, M.C., Verheul, I., Tiesma, R., et al., 2016. Learning differences between 3D vs. 2D entertainment and educational games. *Simulat. Gaming* 47, 159–178. <https://doi.org/10.1177/1046878116632871>.
- Koutsabasis, P., Vosinakis, S., Malisova, K., Paparounas, N., 2012. On the value of Virtual Worlds for collaborative design. *Des. Stud.* 33, 357–390. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2011.11.004>.
- Kwon, J., Lee, Y., 2016. Serious games for the job training of persons with developmental disabilities. *Comput. Educ.* 95, 328–339. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.001>.
- Lewis, M., Jacobson, J., 2002. Games engines in scientific research. *Commun. ACM* 45, 27–31. <https://doi.org/10.1145/502269.502288>.
- Määttä, T.J., 2007. Virtual environments in machinery safety analysis and participatory ergonomics. *Hum. Factors Ergon. Manuf.* 17, 435–443. <https://doi.org/10.1002/hfm.20084>.
- Madni, A.M., 2015. Expanding stakeholder participation in upfront system engineering through storytelling in virtual worlds. *Syst. Eng.* 18, 16–27. <https://doi.org/10.1002/sys.21284>.
- Maline, J., 1994. *Simuler le Travail: une aide à la conduite de project*. ANACT, Montrouge.
- McHugh, M.L., 2012. Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochem. Med.* 276–282. <https://doi.org/10.11613/BM.2012.031>.
- Mcnamara, C., Proetsch, M., Lerma, N., 2016. Investigating low-cost virtual reality technologies in the context of an immersive maintenance training application. In: *VAMR 2016*, pp. 621–632.
- Paravizo, E., Braatz, D., 2017. Analysis, validation and design: using Game Engines to support ergonomics intervention and design process. In: 48th Annual Conference of the Association of Canadian Ergonomists & 12th International Symposium on Human Factors in Organizational Design and Management. Banff, pp. 488–495.
- Passos, C., da Silva, M.H., Mol, A.C.A.A., Carvalho, P.V.R.R., 2017. Design of a collaborative virtual environment for training security agents in big events. *Cognit. Technol. Work* 19, 315–328. <https://doi.org/10.1007/s10111-017-0407-5>.
- Passos, C., Nazir, S., Mol, A.C.A., Carvalho, P.V.R., 2016. Collaborative virtual environment for training teams in emergency situations. *Chem. Eng. Trans.* 53, 217–222. <https://doi.org/10.3303/CET1653037>.
- Paul, G., Quintero-Duran, M., 2015. Ergonomic assessment of hospital bed moving using DHM Siemens JACK. In: 19th Triennial Congress of the International Ergonomics Association, Melbourne, 2015.
- Schell, J., 2012. In: *The Art of Game Design - A Book of Lenses*, second ed. CRC Press, Boca Raton. <https://www.crcpress.com/The-Art-of-Game-Design-A-Book-of-Lenses-Second-Edition/Schell-Schell/p/book/9781466598645>.
- Thomas, D.R., 2006. A general inductive approach for analyzing qualitative evaluation data. *Am. J. Eval.* 27, 237–246. <https://doi.org/10.1177/1098214005283748>.
- Warman, P., 2017. *Newzoo 2017 Global Games Market Report*.
- Werbach, K., Hunter, D., 2012. *For the Win*. Wharton Digital Press, Philadelphia. <https://wdp.wharton.upenn.edu/book/for-the-win/>.
- Westhoven, M., Alexander, T., 2015. Towards a structured selection of game engines for virtual environments. *Lect. Notes Comput. Sci.* 142–152. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-21067-4\\_9179](https://doi.org/10.1007/978-3-319-21067-4_9179).
- Wilson, J.R., 1999. Virtual environments applications and applied ergonomics. *Appl. Ergon.* 30, 3–9. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(98\)00040-4](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(98)00040-4).
- Wilson, J.R., 1997. Virtual environments and ergonomics: needs and opportunities. *Ergon.* 40, 1057–1077. <https://doi.org/10.1080/001401397187603>.
- Wilson, J.R., D'Cruz, M., 2006. Virtual and interactive environments for work of the future. *Int. J. Hum. Comput. Stud.* 64, 158–169. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2005.08.007>.
- Woolson, R.F., 2008. Wilcoxon Signed-Rank Test. *Wiley Encyclopedia of Clinical Trials*, pp. 1–3. 7. <https://doi.org/10.1002/9780471462422.eoct979>.
- Zamberlan, M., Santos, V., Streit, P., et al., 2012. DHM simulation in virtual environments: a case-study on control room design. *Work - A J. Prev. Assess. Rehabil.* 41, 2243–2247. <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0446-2243>.
- Zhou, D., Chen, J., Lv, C., Cao, Q., 2016. A method for integrating ergonomics analysis into maintainability design in a virtual environment. *Int. J. Ind. Ergon.* 54, 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2016.06.003>.

**APÊNDICE 2 - LEVERAGING VIRTUAL ENVIRONMENTS AND 3D MODELS  
IN A WORKSPACE DESIGN: IMPLICATIONS AND POSSIBILITIES**

## Leveraging virtual environments and 3D models in a workspace design: implications and possibilities

*Esdras Paravizo [esdras@dep.ufscar.br]*

*Department of Industrial Engineering, Federal University of Sao Carlos, Brazil*

*Dr. Daniel Braatz*

*Department of Industrial Engineering, Federal University of Sao Carlos, Brazil*

*Dr. Renato Luvizoto Rodrigues de Souza*

*Department of Production Engineering, Federal University of Triangulo Mineiro, Brazil*

*Dr. Fabiane Lizarelli*

*Department of Industrial Engineering, Federal University of Sao Carlos, Brazil*

### Abstract

This paper presents the initial test of two Virtual Environments (VE) and 3D models as learning tools for workspace design education. A quasi-experiment was designed in which 27 students were assigned to one of four groups (control, physical, digital, physical and digital) and were prompted to read a case and design improvements proposals with the materials available to them. Results showed no significant differences among the groups, which could be partially due to the experiment setting, since participants' comments highlight, they greatly appreciated the VEs and the activity in general, due to its practical, reality-based and team work nature.

**Keywords:** Virtual Worlds, 3D Printing, Factory Design.

### Introduction

Workspace design has long been a field of interest in operations management, from the macro level aspects of plant location decisions and layout to the micro level of workstation design.

In the past decade, researchers have started to investigate the potential of employing novel technologies such as game engines (GE) to the design and simulation of productive systems (Braatz *et al.*, 2011; Gatto *et al.*, 2013; Carreira *et al.*, 2018; Paravizo and Braatz, 2019). GEs are a class of computer software that enable the development of 2D/3D games and applications using pre-existing modules and tools. There is also an interest in employing these technologies in educational contexts (Braghirolli *et al.*, 2016; Paravizo and Braatz, 2017).

In order to assess how educators and practitioners can employ these technologies, we developed a virtual environment (VE) in a GE that aimed to enable students to redesign the layout and furniture/equipment present in a workplace, considering a series of

problems and issues present in a case report. Besides the VE, the same scenario, layout and furniture/equipment were represented in a set of 3D scale models and a game board as well as a simple 2D sketch for handmade drawings.

This paper reports an initial test with 27 industrial engineering students aiming to validate a proposed experiment design that could enable researchers to better understand the potential and limitations of the VE and 3D scale models as tools for workspace design.

### Materials and method

The basic material created was a case briefing, which explained to participants the case analyzed, the main issues and problems currently existing in the workspace and what was the work performed there. Participants also had a spreadsheet with a list of the available furniture/equipment that they could choose from. Besides this base material, a digital tool (VE) and physical tools (3D scale models & game board and simple hand drawing) were made available to participants. The virtual environment was created by the authors specifically for this study considering game design (Schell, 2014) and gamification strategies (Werbach and Hunter, 2012) and followed the four major axes delineated in (Paravizo and Braatz, 2019). The VE designed was an evolution of a VE designed for the analysis of the workspace reported in (Paravizo and Braatz, 2019). An overview of the materials is presented on Table 1.

*Table 1 – Design tools and materials developed for the workshops*

<b>Design methods</b>	<b>Materials and tools</b>	<b>Description</b>	<b>Application mode</b>
Digital tool	Unreal Engine 4.18	The VE aimed at enabling participants to redesign a workspace, including changing the layout, installing equipment and furniture and even adding workers to the scenario. Figure 1A shows the design view of the VE and 1B shows the participant's character exploring the environment they just designed	During this design stage, participants could explore their design proposal with their character, inside the VE, in real time. The VE ran on a PC and participants could interact with it using keyboard, mouse and a wireless joystick.
Physical Tools – 3D scale models and board game	Models drawn in CAD 3D and printed in 3D printer (ABS plastic). Board game printed.	A set of 3D scale models representing the furniture (desks, chairs, partition wall panels, etc.) and a board game representing the base layout of the workplace. Figure 2A.	The participants could draw and sketch their design proposals on it using whiteboard markers and positioning the scale models.
Physical Tools – handmade drawing	Sheets of paper and pencils	A simple two drawing on a sheet of paper. Figure 2B.	The participants used pencils to draw their proposal on the sheets.



Figure 1 – The VE developed to design (A) and explore (B) possible solutions

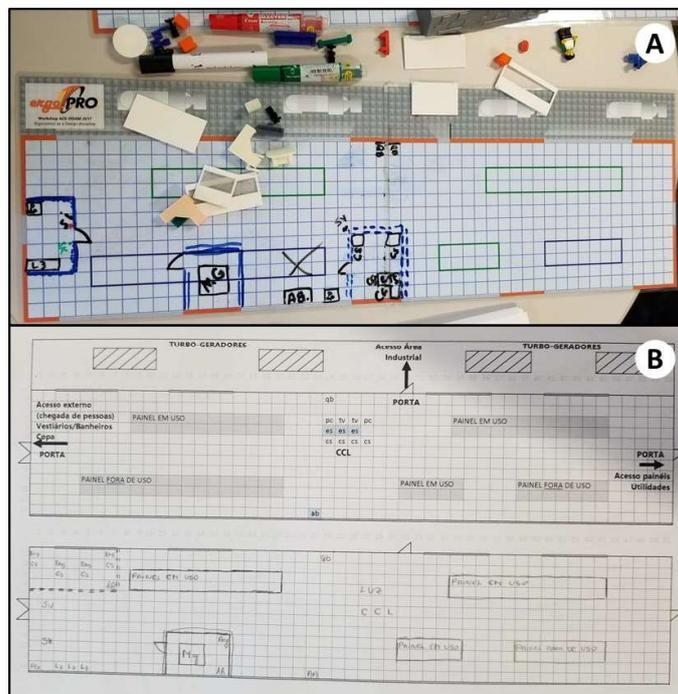


Figure 2 – 3D scale models, game board (A) and paper sheet for drawing by hand (B)

### Experiment Design

The experiment design that was intended to be validated in this study is presented in Figure 3. Considering that participants were students from the engineering courses who volunteered, and thus a multitude of external factors was impossible to control, this study design is closer to a quasi-experimental design.

The idea was to have participants to use the different available materials to understand a case and assess how well these materials supported participants' design activities. The facilitators were responsible to give a brief overview of the research project, and hand to the participants the materials they would use, prompting them to read the case description, discuss it among themselves and then propose a solution.

After the workshop session, participants were asked to fill out a feedback questionnaire on their perception of the activity and the tools. The feedback questionnaire had 5 main sections: section 1 focused on participants' background, section 2 inquired about their understanding of the issues presented in the case, section 3 inquired their perception of the suitability of the materials they used for the task and if they saw the need of other resources, section 4 asked for comments on the materials and overall activity and section 5 was only for those who used the digital tools, inquiring about usability aspects of the VEs.

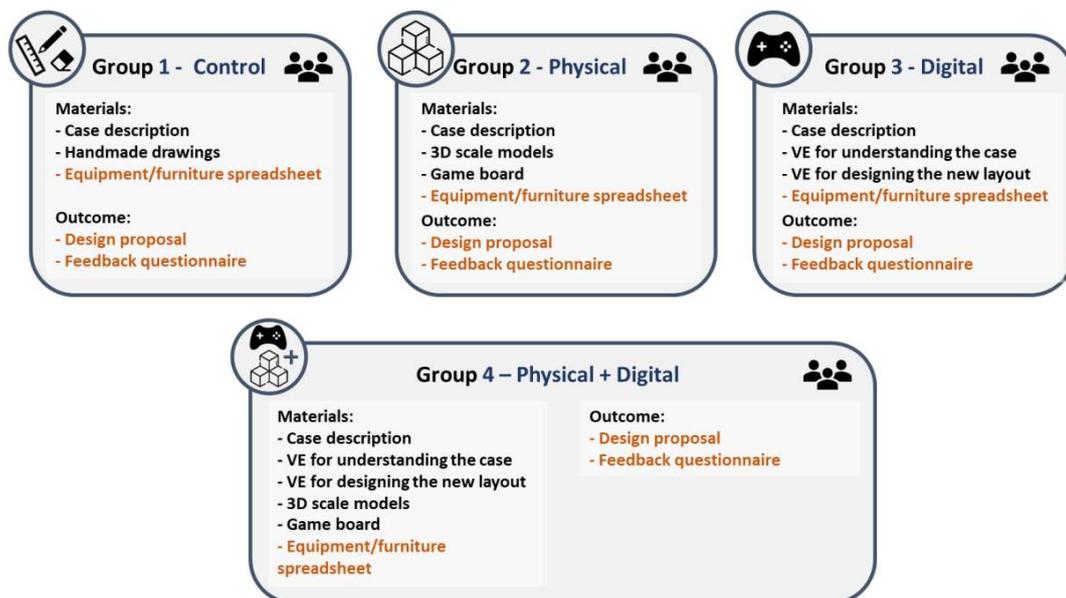


Figure 3 – Experiment design

### Results and discussion

In total 27 students in Industrial Engineering courses of two federal Brazilian universities participated in the 2 hours-long workshops occurred in 8 different moments during July and August 2018. All participants voluntarily agreed to take part in the study, having signed consent forms prior to the activity. The 27 filled out the feedback questionnaires were retrieved via Google Forms, and subsequently analyzed.

One of the main focus of this study was to assess if there were significant differences among the groups in terms of their understanding of the case and the perception of the suitability of the tools employed (sections 2 and 3 of the questionnaire). However,

analysis of the results from the questionnaire showed that there were no significant differences among the groups.

Considering these results, emphasis will be given on the analysis of participants' comments in order to try to better understand their perception of the activity and the tools they employed. The general inductive approach for qualitative data analysis (Thomas, 2006) was followed for the coding of the participants comments. In total, 65 segments were coded to one of 18 codes. A summary of the coding analysis is presented on Table 2, focusing on the 9 most recurrent codes, which amount to 80,2% of the total codes.

*Table 2 –Participants' comments analysis overview*

Category	Code	Count	% Codes
General-Positive	Overall good impression	14	21,5%
General-Positive	Practical nature of the activity	7	10,8%
VE-Positive	Detailed scenario	5	7,7%
VE-Positive	Helps to simulate work aspects and layout	5	7,7%
VE-Positive	Immersion in the VE	5	7,7%
General-Negative	Short duration	4	6,2%
General-Positive	Better understanding of the topics	4	6,2%
VE-Positive	Helps to visualize	4	6,2%
VE-Negative	Usability aspects	4	6,2%
<b>Total</b>		<b>52</b>	<b>80,2%</b>

Participants comments show an overall good impression of the activity in general and also the materials employed. The impact of the workshop was such that participants commented they became more interested in the topics approached. One participant from the control group (G1) commented: *“Excellent activity. It gave me a better understanding of ergonomics, factory design and simulation. A comprehension level much larger than any theoretical lecture”*.

The practical nature of the activity was in itself a highlight of the workshop. Participants commented they liked that the activity was based on a real case and that they actually had to put their knowledge on the topics in practice, in a team work setting. Another participant in a control group commented: *“Great activity to improve our team working skills, to broaden our knowledge by facing ‘real’ work situations, to put in practice the knowledge we acquire in the classroom and to get to know novel platforms for simulation/ergonomics”*.

In terms of the VE employed by participants assigned to groups 3 and 4, comments focused mainly on the high-fidelity visuals that led to a high degree of immersion on the situation and different interactions possible inside the VE (with non-playable characters - NPCs, equipment, environment, etc.) that enabled them to simulate work aspects and different layout proposals. One participant assigned to the digital group commented: *“The utilization of the virtual scenario allowed a different immersion in the problem at hand. This environment allows the interaction with the structural aspects of the physical space, as well as presenting the personal issues from workers, which are fundamental in any improvement project, since they are actors directly involved in the process.”*

Overall, the main improvement points participants indicated were related to the short duration of the workshop and the usability aspect of the VE. One of the participants in a digital and physical group commented: *“The virtual environment was not used a lot because there was little time, but it is very detailed. The environment has a nice visual presentation but need to be more intuitive and easier to use.”*

Furthermore, going back to the initial assumption that there would be significant differences among the groups in terms of their understanding of the case and perception of the materials available to them (which was not verified through the data collected), two comments can bring more context to this. The first one, from a participant in a control group: “*My team only used the handmade drawings of the place and it was enough for us to have an idea of the space and allow us to create and present an improvement proposal. I think a virtual environment would enrich the experience and give more precision, however this basic resource was enough.*”. The second comment, from a participant on a physical only group: “*The activity showed that we can’t only imagine that the simulation is something digital, but rather we can see it with models and objects. And thus, we can show how the layout of an organization would be*”.

These two quotes in particular highlight participants perception that the tools they have are enough, however these participants did not use the VEs so they do not have a basis of comparison against which to compare the available materials. Furthermore, the mere setting of the workshop – as a practical activity – is, in itself, something that students tend to like, regardless of the different types of materials used as highlighted in the comment’s analysis. These aspects must be taken into account when designing future similar experiments.

As expected, usability aspects of the VE impacted participants perception of its utility. Although the VE was easy enough so that they were able to use it to propose improvements and scenarios (as seen in Figure 1B, for instance), it still could be greatly improved.

## Conclusion

This paper reported the development and pilot test of a study aiming to achieve a better understanding of the impact of using VEs and 3D models for workspace design. Despite the lack of significant evidence to substantiate the claim that one tool would be better than other, we find that participants greatly appreciated the virtual environment and the activity in general, due to its practical, reality-based and team work nature

Future experiments could be designed taking into account the issues raised here, particularly, assuring that all participants have a more symmetric standpoint to compare the tools assessed and also the overwhelmingly good impression of a practical activity that could end up flattening out the effect of differences between the groups analyzed.

Further refinements on experiment design could be useful to realize the full potential of employing VEs and 3D models in engineering design practice and education. The VE developed can be customized and employed in a wide range of industries and contexts for fostering design communication, participation and stakeholder involvement as well as bringing practical activities to the design disciplines.

## References

- Braatz, D. *et al.* (2011) ‘Conceptual and Methodological Issues for the Application of Game Engines in Designs of Productive Situations’, *International Conference on Production Research*.
- Braghirolli, L. F. *et al.* (2016) ‘Benefits of educational games as an introductory activity in industrial engineering education’, *Computers in Human Behavior*, 58, pp. 315–324. doi: 10.1016/j.chb.2015.12.063.
- Carreira, P. *et al.* (2018) ‘Virtual reality as integration environments for facilities management: Application and users perception’, *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(1), pp. 90–112. doi: 10.1108/ECAM-09-2016-0198.
- Gatto, L. B. S. *et al.* (2013) ‘Virtual simulation of a nuclear power plant’s control room as a tool for ergonomic evaluation’, *Progress in Nuclear Energy*. Elsevier Ltd, 64, pp. 8–15. doi: 10.1016/j.pnucene.2012.11.006.
- Paravizo, E. and Braatz, D. (2017) ‘Ergonomics and Design education: Experiences from the

- development and application of a workspace design workshop', *48th Annual Conference of the Association of Canadian Ergonomists & 12th International Symposium on Human Factors in Organizational Design and Management*, pp. 479–487.
- Paravizo, E. and Braatz, D. (2019) 'Using a game engine for simulation in ergonomics analysis, design and education: An exploratory study', *Applied Ergonomics*. Elsevier, 77(January), pp. 22–28. doi: 10.1016/j.apergo.2019.01.001.
- Paravizo, E. and Braatz, D. (2019) *Virtual Simulations for Incorporating Ergonomics into Design Projects: Opportunities and Limitations of Different Media and Approaches, Advances in Intelligent Systems and Computing*. doi: 10.1007/978-3-319-96080-7\_45.
- Schell, J. (2014) *The Art of Game Design: A Book of Lenses*. 1st edn. Burlington: Morgan Kaufmann Publishers. Available at: <http://strontium-blog.blogspot.my/2012/10/the-art-of-game-design-part-2.html>.
- Thomas, D. R. (2006) 'A General Inductive Approach for Analyzing Qualitative Evaluation Data', *American Journal of Evaluation*, 27(2), pp. 237–246. doi: 10.1177/1098214005283748.
- Werbach, K. and Hunter, D. (2012) *For the win - How Game Thinking Can Revolutionize Your Business*. 1st edn, *Gamification of Learning*. 1st edn. Philadelphia: Wharton Digital Press. Available at: <https://www.lynda.com/Higher-Education-tutorials/Game-thinking/173211/197007-4.html>.

**APÊNDICE 3 – CONFIRMAÇÃO DE SUBMISSÃO DO ARTIGO “TOWARDS A  
FRAMEWORK FOR DEVELOPING GAME ENGINE-BASED VIRTUAL  
ENVIRONMENTS FOR ERGONOMICS AND HUMAN FACTORS”**

# Applied Ergonomics

## Towards a framework for developing game engine-based virtual environments for Ergonomics and Human Factors

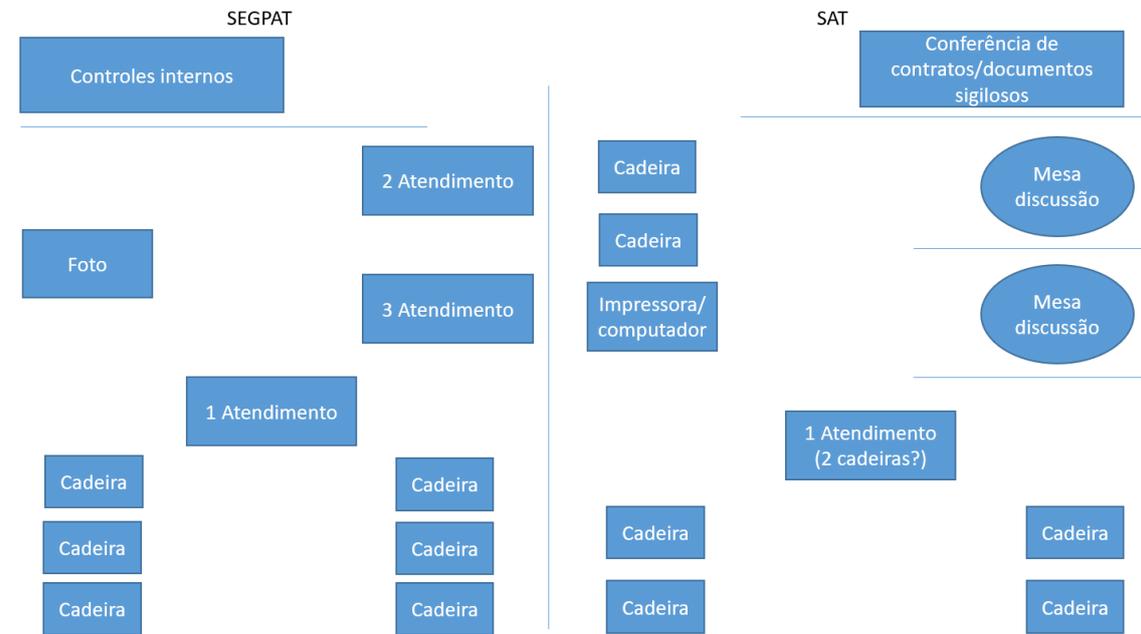
--Manuscript Draft--

<b>Manuscript Number:</b>	
<b>Article Type:</b>	VSI: HFE in Built Environment
<b>Keywords:</b>	Game Engines; simulation; Virtual environments; Framework; Systematic Literature Review
<b>Corresponding Author:</b>	Esdras Paravizo Federal University of Sao Carlos: Universidade Federal de Sao Carlos Sao Carlos, Sao Paulo BRAZIL
<b>First Author:</b>	Esdras Paravizo
<b>Order of Authors:</b>	Esdras Paravizo Daniel Braatz, Dr. Sergio Luis da Silva, Dr.
<b>Abstract:</b>	<p>Game Engines (GEs) are digital platforms that support the development of 3D games and applications as well as virtual and augmented reality applications. Scholars in the ergonomics and human factors (EHF) field have shown a growing interest in GEs' utilization in several contexts and with diverse goals, including for the analysis and design of workspaces as well as education and training initiatives across many industries. A systematic literature review enabled analyzing current trends, challenges, opportunities, and methods for employing GEs in EHF processes. From this analysis, we identified a lack of a systematic method to enable GE-based VE development, which led to the proposal of a framework for the creation of such VEs for EHF applications. The framework is presented in detail, and the implications for both EHF practitioners and researchers and VE users are discussed. The proposed framework is a necessary step for streamlining the incorporation of these powerful tools into the EHF tools and methods.</p>

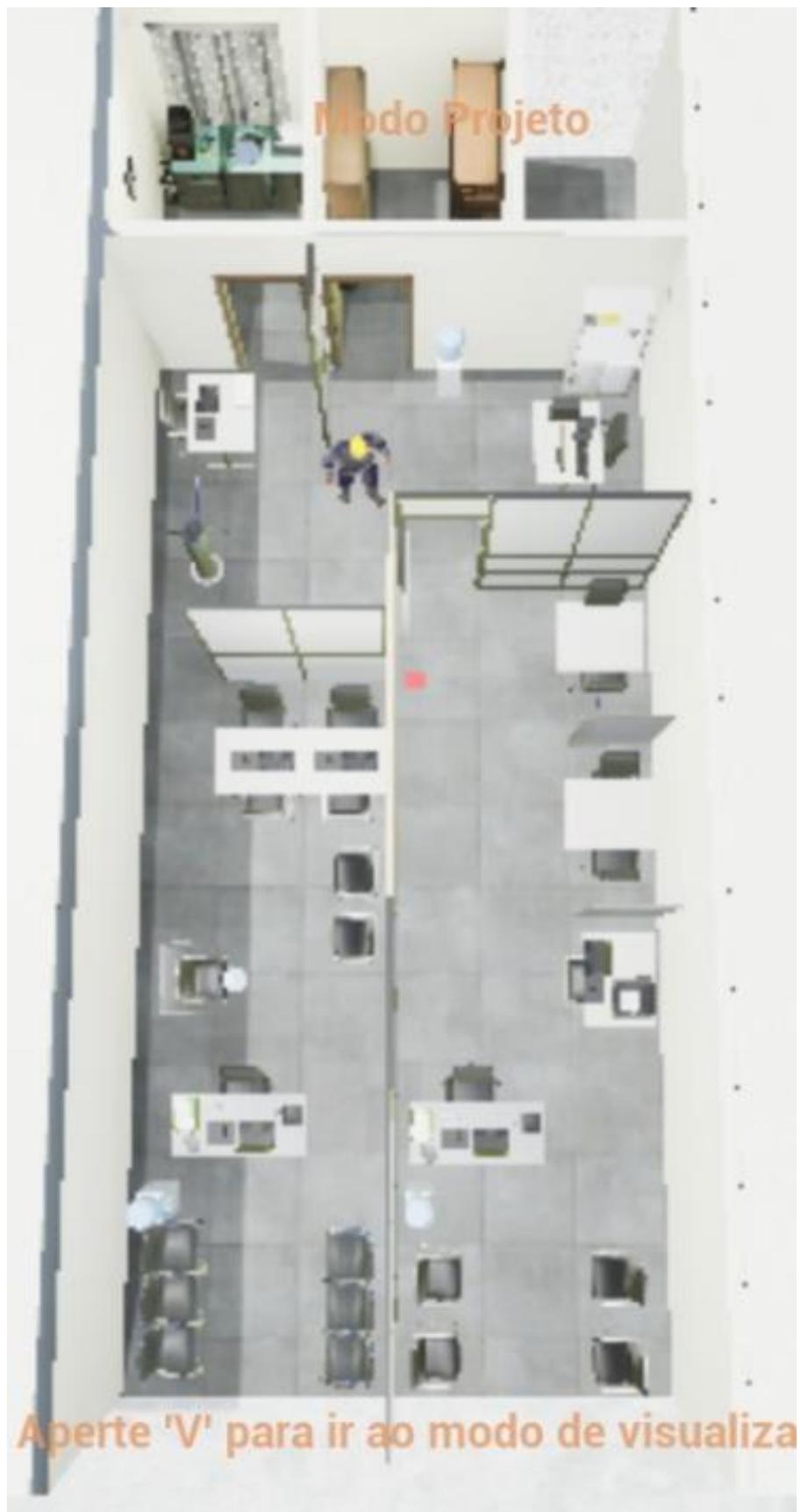
## APÊNDICE 4 – RESULTADOS COMPLETOS DAS PROPOSTAS DE PROJETO DOS PARTICIPANTES DO ESTUDO PILOTO

### PARTICIPANTE 1

Rascunho da proposta: Sim (utilizando Powerpoint)



**Captura de tela:** somente 1 (não conseguia minimizar para tirar print).



### **Descrição da proposta** (mandou áudios, transcritos aqui).

Eu coloquei do lado esquerdo o setor de segurança patrimonial e do lado direito o do apoio administrativo, isso porque o apoio administrativo ele precisa de acesso ao cofre. E fiz uma divisória entre os dois setores lá no fundo pensando nisso do cofre também, para tentar deixar menos fácil o acesso, para quem tá por ali.

Mas bom, vamos lá desde o começo. Primeiro eu comecei com as cadeiras de recepção e como o segurança patrimonial recebe bem mais pessoas por dia, mesmo que a duração média do atendimento seja menor eu pensei em colocar até mais cadeiras.

E aí tem um primeiro atendimento como sendo a “Pessoa A”, então recebendo a documentação, inserindo os dados no sistema e logo atrás da cabine da foto, para pessoa já tirar foto e ela aguarda ali nessas duas cadeirinhas que estão do lado direito sem mesas, só cadeiras soltas para esperar os próximos passos.

Aí como a “Pessoa B” ela vai depois da “Pessoa A” né, ela vai fazer a validação e a impressão do crachá eu deixei como sendo a “Pessoa B” lá no fundo que tem uma catraca para o crachá e a impressora do crachá e depois ela retorna para essas duas mesinhas que seriam as duas “Pessoas C” que vão conferir toda a documentação e entregar para a pessoa que tá sendo contratada.

Então como a “Pessoa B” não precisa, pelo que eu entendi, ter contato direto com o trabalhador contratado, eu deixei ela lá no fundo por conta de espaço mesmo.

Eu coloquei uma divisória aqui atrás da última mesa com as 2 cadeiras, que seria da “Pessoa C” para ter um pouco mais de privacidade assim não ficar tanto acesso, para não dá para ver tanto lá no fundo né. Então foi basicamente isso que eu pensei para essa divisão, para esse setor, quer dizer.

E também aquele ponto do Sol. Assim, como não tem janela então coloquei uma divisória um pouco mais pro fundo para ver se não atrapalhava tanto essa luz solar mas ao mesmo tempo que tem um pouco de privacidade.

E como teve reclamação em relação ao ruído eu pensei que as divisórias também podem ajudar nesse sentido, ainda mais que assim é perto da copa né. Então para não atrapalhar tanto o ruído tanto da copa quanto de quem tá trabalhando.

Os funcionários têm acesso a copa, foi uma sugestão que eles pediram.

E teve uma confusão em relação ao fluxo de quem tava sendo atendido perguntando aonde ia primeiro então por isso também que eu coloquei uma mesa bem no centro, assim a primeira, para a pessoa já saber onde ela tem que ir e receber as primeiras instruções.

E aí em relação ao setor do apoio administrativo, como tem menos pessoas sendo atendidas por dia, coloquei uma menor quantidade de cadeiras ali na recepção. Mas a ideia também um pouco parecida tem uma primeira mesa ali no centro, para um primeiro atendimento para não ter confusão em relação ao fluxo.

E a primeira mesinha que aparece do lado direito é a impressora. E aí entendo que todos os prepostos podem usar a mesma impressora.

E aí coloquei duas mesinhas, assim como se fossem duas de reunião, assim para o preposto ter um espaço com quem tá atendendo ele. Foi até uma sugestão, uma reclamação de ter mais espaço para conversar e organizar os papéis. E coloquei uma divisória para tentar também deixar um pouco mais restrito assim esse assunto, não vai ser tanto mais um pouco mais.

E ali no fundo eu coloquei uma divisória com uma porta, porque como é acesso ao cofre eu pensei que deveria ter uma privacidade um pouco maior, e aquela mesinha ali é para a pessoa que vai ficar responsável pela conferência e análise dos contratos. Então provavelmente precisava até um pouco mais de restrição, assim um pouco mais de atenção, sem tanto barulho para a pessoa ter bastante foco. E coloquei uma estante também ali para guardar os documentos.

Aqui no apoio administrativo também houve alguma reclamação sobre ruídos, então também essas divisórias pensando nisso. E acesso a copa também de uma maneira fácil.

Uma vez ou outra que às vezes o sistema trava um pouquinho no sentido de que estava arrastando algum móvel e esse móvel começava a “vibrar” como se estivesse arrastando sozinho em um curto espaço de tempo. Mas foi pouco que isso aconteceu.

O que aconteceu foi que o meu computador ficou fazendo bastante barulho enquanto eu tava mexendo. Acho que não foi o tempo todo mas foi um tempo considerável não sei se isso é assim, se meu computador que talvez não seja muito rápido, eu não tenho muita memória e tal. Então não sei se tem a ver com meu computador ou do sistema e eu escrevi isso no formulário.

Mas eu tive problema só com um item específico que era a catraca que às vezes eu queria arrastar ela de um lugar para outro e eu consegui fazer só uma vez eu queria mudar por uma segunda vez ele não me deixava soltar estava preso no mouse, não foi jeito nenhum. Eu tive que excluir pegar a catraca de novo mas foi só com ela, com os outros itens eu conseguir arrastar quantas vezes e quando eu quisesse.

E até um ponto que eu ia comentar que quando eu fiz esse rascunho do powerpoint eu não sabia exatamente as medidas né, nem do espaço, nem dos móveis. Então na hora que eu fui realmente utilizar o sistema eu tive que fazer algumas mudanças por conta do espaço físico.

Talvez isso seja um comentário legal não sei e pensar que realmente espaço físico e o tamanho dos móveis tem uma influência muito grande no projeto. Assim, eu consigo perceber isso porque às vezes eu queria alocar de um jeito que eu não conseguia por conta do espaço.

### **Comentários:**

Acredito que o sistema pode ajudar na visualização do projeto, principalmente considerando o espaço físico e a distância entre móveis e pessoas.

Eu tive um pequeno bug com um item específico, a catraca. Quando selecionava ela, só conseguia mexer uma vez, se queria mexer de novo não era possível soltar o equipamento onde eu queria. Mas com outros móveis não tive esse problema

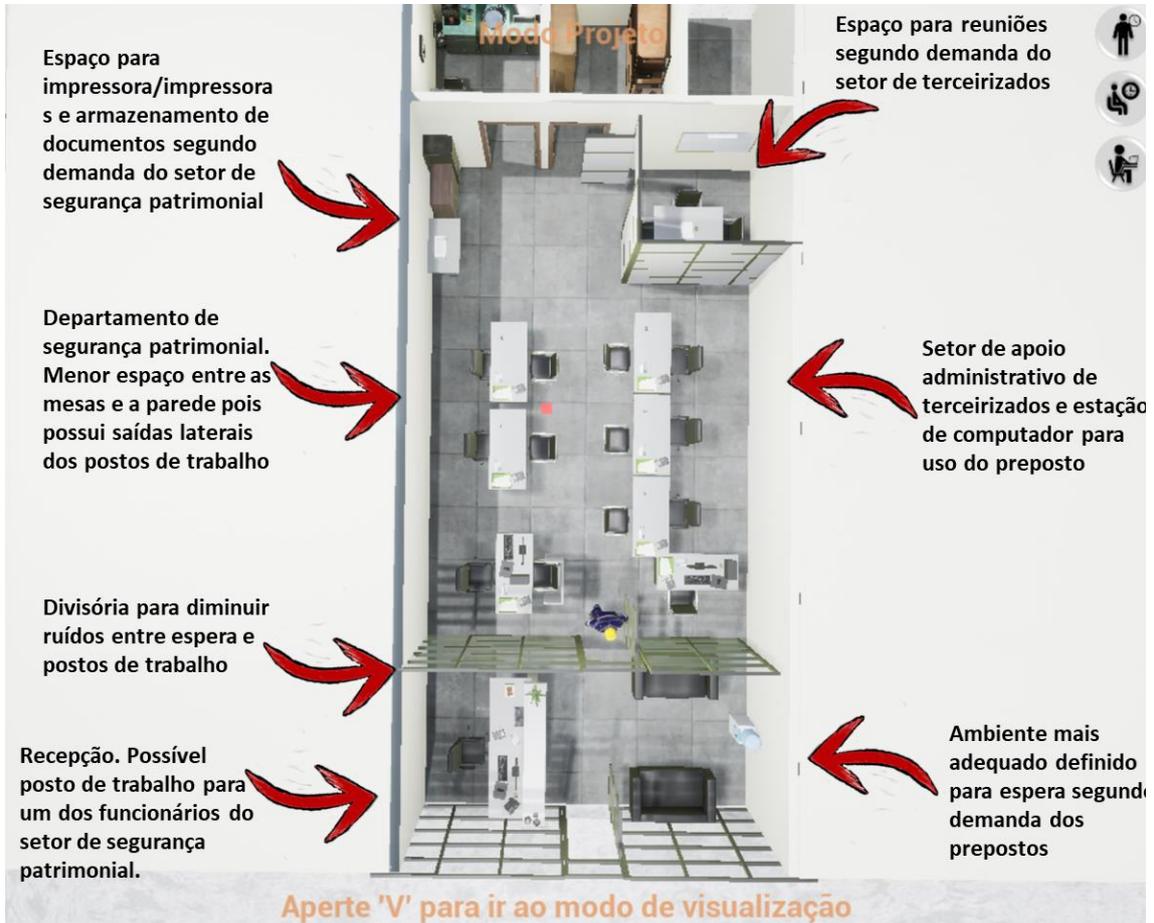
### **Avaliação da proposta** (por um dos orientadores desta pesquisa)

<b>Pontos positivos</b>	O aluno tentou inserir na proposta tanto a tarefa (fluxo das etapas) quanto alguns elementos da atividade (variabilidade/ruído/necessidade prepostos/etc). O aluno conseguiu usar bem o sistema e até fez um projeto prévio usando o powerpoint – e percebeu a limitação de trazer o conceito para a GE. Usou uma quantidade interessante de diferentes objetos. O aluno percebeu a importância de considerar as dimensões dos objetos no projeto. Boa proposta de conceito inicial.
<b>Pontos negativos</b>	A proposta tem limitações para dar conta dos fluxos e atendimentos. Em especial para o atendimento do SAT, é necessário bastante espaço em mesa. A posição de algumas mesas ficou estranha, com destaque par uma junto à porta da copa. O aluno não inseriu pessoas no projeto, o que limita para uma visão técnica do projeto sem simular situações mais próximas da realidade futura possível (presença de 20 pessoas dentro deste espaço, por exemplo).
<b>Observações gerais</b>	Uso interessante do AV. Opção por rascunho. Algumas dificuldades de uso do AV.

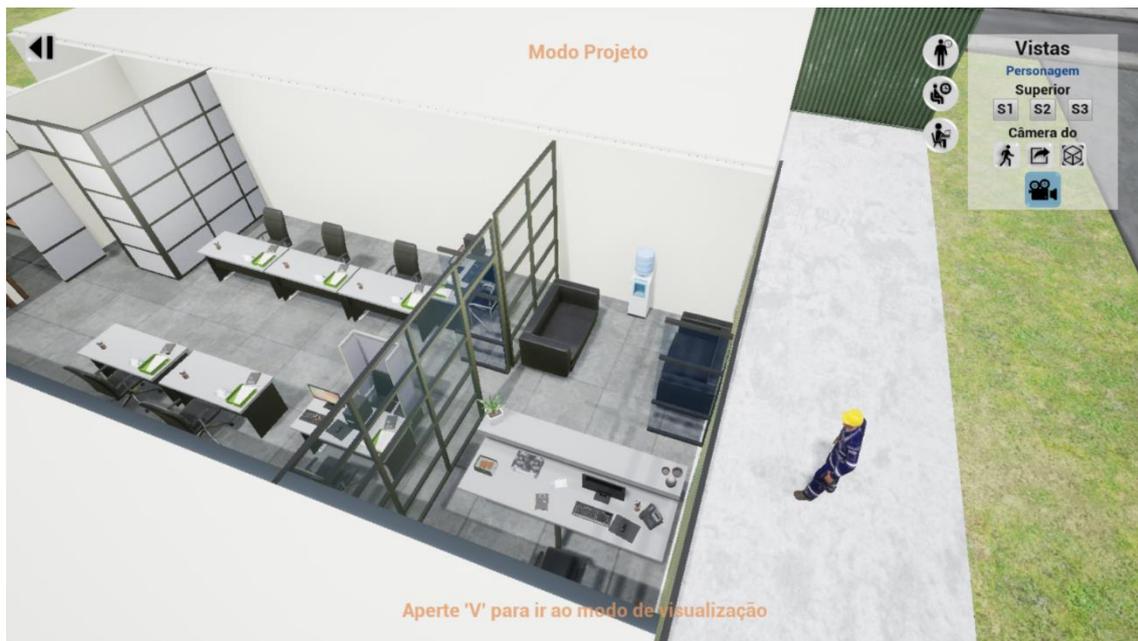
## PARTICIPANTE 2

Rascunho da proposta: não realizou.

Capturas de tela: 5.







### **Descrição da proposta** (texto em Powerpoint).

- Depois de mapear os equipamentos e móveis que os dois departamentos já possuem hoje eu aloquei eles no espaço disponível de acordo com a biblioteca do ambiente virtual.
- Em seguida pensei nos problemas levantados pelos trabalhadores (principalmente) e pelos terceirizados para adicionar possíveis equipamentos demandados e reposicionar os espaços de acordo.
- Visualizar a proposta em tempo real ajudou muito a perceber possíveis problemas com as ideias iniciais.
- Não ter nenhum tipo de limite, como um orçamento por exemplo, acabou me deixando um pouco em dúvida sobre quantos e quais tipos de equipamentos poderia alocar no ambiente.
- Divisórias de vidro na entrada e entre a antessala e os postos de trabalho, divisória cega para a sala de reunião ao fundo.
- Os dois setores tem acesso livre a copa segundo demanda de ambos
- Posto de trabalho da recepção foi feito considerando que um dos 4 funcionários do setor de segurança patrimonial seja alocado ali.
- Os problemas mais aparentes observando essa proposta estão relacionados ao pouco espaço para a sala de reuniões e ao acesso a sala do “cofre” relativamente simples

- Os problemas mais aparentes observando essa proposta estão relacionados ao pouco espaço para a sala de reuniões e ao acesso a sala do “cofre” relativamente simples

### **Comentários:**

O sistema parece muito interessante para visualizar em tempo real as propostas e perceber possíveis problemas que só os projetistas e operadores poderiam só perceber depois do projeto já implementado, e diferente de outros métodos para visualizar o ambiente, como maquetes por exemplo, esse sistema permite propor e modificar em tempo real as ideias de todos os envolvidos em um processo de concepção participativa.

Eu diria que uma das limitações é a dificuldade de se habituar com o sistema, eu não tive muitos problemas com ele pois já conheço esse tipo de ferramenta muito bem e tenho certa afinidade com a forma de mover a câmera, mas acredito que uma pessoa que não tem afinidade pelo menos com softwares de modelagem teria muita dificuldade para interagir com o sistema inicialmente.

Acredito que o ideal para utilizar esse sistema seria formar grupos onde pelo menos uma pessoa já tem certa proficiência com o sistema, ou ainda separar um tempo inicial para as pessoas aprenderem como utilizá-lo, talvez com um mini game antes de iniciar o processo onde as pessoas precisem posicionar certos objetos como em uma imagem pré-definida.

Os efeitos sonoros começam a incomodar quando a pessoa pega o jeito, porque eles ficam muito frequentes. Talvez abaixar um pouco o volume ou usar sons "mais suaves" pode melhorar.

Encontrei alguns problemas de colisão para navegar com a visão do operador, talvez habilitar uma versão totalmente sem colisões (retirando a colisão do boneco) pode ser interessante se possível.

Um ou outro equipamento, como a câmera por exemplo, parecem estar com alturas pré-definidas erradas, mas a maioria parece estar certo.

### **Avaliação da proposta** (por um dos orientadores desta pesquisa).

<b>Pontos positivos</b>	O aluno tentou incorporar “os problemas” levantados pelos trabalhadores dentro da proposta, em especial ruído. O uso do sistema, prints e junção com o powerpoint permitiram uma boa comunicação do projeto. Usou uma quantidade interessante de diferentes objetos, como mesas, armários, sofá, bebedouro, etc.
-------------------------	--

<b>Pontos negativos</b>	A proposta ficou muito próxima da proposta inicial apresentada aos alunos, com exceção da sala de reuniões ao fundo (que ficou pequena e o próprio aluno apontou isso) e a área de recepção com divisória. O aluno não inseriu pessoas no projeto.
<b>Observações gerais</b>	Uso interessante do AV e apresentação da proposta. Levantou a questão de falta de limite de orçamento como sendo limitante.

### PARTICIPANTE 3

Rascunho da proposta: não.

Capturas de tela: 5.







**Descrição da proposta** (áudios transcritos).

A primeira coisa que eu pensei quando vi a proposta foi fazer uma divisória para ficar tipo uma salinha em frente à porta do cofre. Porque assim fica mais protegido e só vai ter uma pessoa que vai ter que ver as coisas lá mesmo, tipo foi só um funcionário que ia mexer com isso. Então ele pode ter uma mesa lá dentro. E fica mais fácil para ele entrar.

Eu coloquei uma câmera, e depois eu ia pesquisar, sei lá, se isso é estranho, porque tipo é o escritório dele. Será que pode ter uma câmera lá? Fiquei em dúvida sobre isso. Mas essa parte não é tão importante. Tipo acho que uma câmera seria bom para evitar, não necessariamente lá dentro, pode ser fora.

Fiquei em dúvida se ficou muito pequeno, queria que tivesse ficado menor. Mas eu consegui entrar com o carinho lá, não quando os dois estão sentados - aí não dá para outro lado. Mas tem duas pessoas lá e eu não sei quão desconfortável seria. E fazer isso também depois eu vi que me deixou um pouco com uma área morta ali do lado. Mas eu tinha gostado da ideia de colocar uma divisória ali e eu fico com ela e não pensei em outras ideias.

Eu escolhi o vidro porque era mais bonita mas talvez fosse melhor que não dava para ver., pra ser mais seguro. A divisória alta era por causa do barulho, já que eu acho que ele vai estar mexendo com coisas que precisam de mais concentração. Acho que colocar uma divisória lá na frente é uma boa. E acho que não deve ter tanto barulho, porque não são tantas pessoas que vão aí. Não é tipo uma sala de espera que ficam sei lá 20 pessoas todo dia pelo menos pelo que eu vi... 20 pessoas tipo juntas a cada segundo sabe?

Também tinha o lance de deixar esses lugares levemente divididos para para não confundir as pessoas que vão tá lá porque isso é uma das coisas. Mas não podia dividir totalmente porque eu não queria colocar uma porta para passar para algum lugar - para os dois terem acesso a copa sabe. Então eu só dividi um pouquinho ali com uma divisória menor também de vidro, que é bonito, só para ter uma ideia de divisão. Só para quando a pessoa for sentar nas cadeiras ali dos representante das empresas para serem atendidos. Que aí eles entraram nas mesas e aí não corre o risco de sentar num lugar vazio do outro lado, sabe? Tipo, dá uma ideia de que é essa direção - dessas duas que estão para cá.

Eu fiquei em dúvida se eu coloquei muito computador, e aí quando eu pensei nisso eu tirei o computador de uma das mesas. Na recepção eu não consigo colocar dois, porque quando eu coloco altura da recepção ele vai lá para a parte mais alta e não para mesinha da recepção sabe. Então coloquei lá, mas teria que ter para usar a câmera. Então eu não sei sobre isso.

Aí eu coloquei uma impressora também aqui atrás, porque tinha de imprimir documentos e tals. Então em uma das mesas, que é a mesa em L, e fica mais pro fundo tem uma impressora. E a impressora de crachá ficou no balcão que ficou ali naquela areazinha morta que podia ser melhor utilizada. Não pensei como, mas fica aí a ideia. Sei lá coloca um bebedouro, mas tem a copa ali do lado... Enfim, não sei.

Apesar da pessoa que tá dentro da sala, provavelmente não vai atender, tipo o trabalho dele não é conversar com os representantes. Mas talvez precise conversar com alguém ou com algum dos outros funcionários, também então coloquei uma cadeira lá na frente da mesa dele porque eu achei que isso é bom. E aí nas duas mesas da frente tem as cadeiras, porque aí sim eles vão atender os representantes das empresas.

No outro lado de segurança, acho que era segurança patrimonial, que era de fazer os crachás e tal. Eu comecei com a recepção. Porque como é uma coisa rápida e que passa por várias pessoas pra ficar pronto - não é uma coisa que você resolve com uma pessoa.

Eu achei que não fazia sentido ser dividido igual o outro. Então como eram 4 funcionários, eu coloquei dois na recepção que é para tirar foto e pegar as primeiras coisas.

E aí tinha cabine de foto, mas eu não curti quando eu coloquei ela, não ficou bom. E aí eu tive a ideia de colocar as câmeras ali na frente, porque vários lugares fazem isso né? Tipo aqui em São Carlos, mesmo quando eu fui fazer a carteirinha e quando eu fui tirar passaporte também - você tá lá na mesa e eles pedem para você olhar para câmera e tirar foto. E como é pra um crachá, acho que uma foto assim tá ok. Então ia ficar fácil pra pessoa já tá ali no computador, você tira foto e já manda os dados para pessoas que estão trabalhando ali nas mesas de trás. Eu coloquei uma de frente para outra por causa do espaço. Ficou a melhor coisa? Não. Mas foi a decisão da hora.

Acho que se tiver duas pessoas sentadas na recepção e a pessoa sentada aqui na mesa que é mais próxima da recepção, não daria muito para passar por ali. Parece bem apertado. Mas você sempre pode dar uma puxadinha para frente, sei lá. Enfim eu acho que funciona, eu não acho que fica completamente não funcional, mas talvez pudesse ser melhor.

Aí atrás das mesinhas da galera do crachá, vai ter o balcão com a impressora de crachá e eu acho que é isso.

Tinha também a questão sobre área para esperar, e aí eu coloquei duas fileiras de cadeira. Também baseada na hipótese de que não vão tantas pessoas lá ao mesmo tempo assim, que fiquem muito tempo lá esperando.

Como o atendimento do outro é bem mais rápido, e como um fica aberto bem mais tempo que o outro então acho que só as duas estariam ok. E eu coloquei elas um pouco distante também, porque vai ter a galera que fica na recepção, e a foto, e tudo mais, então ali eu acho que funciona. Eu não lembro onde era a porta, eu deixei vazio espaço ali.

Ah, também não coloquei ventilador, ar-condicionado nem essas coisas, sinto muito. Eu só acho que isso também seria uma parte importante, mas acho que é mais importante organizar para ter ideia né. Ventilação desse negócio aí é horrível, né? Acho que seria um ar condicionado mesmo aí. É isso aí, se não colocassem janelas.

Eu ia desenhar primeiro em outro lugar, tipo um The Sims ele foi atualizado e quando eu entrei lá tipo tem umas coisas que não são no mesmo lugar e eu fiquei confusa e deixei isso para lá, vou voltar no outro problema e se for dar trabalho nos dois eu prefiro fazer direto no rolê né?

E aí também, sei lá, tava estranho para eu ver a escala, não sei. E aí quando eu abri eu não tinha aberto ainda o que você fez com atualização de arrastar. E ficou muito bom,

tipo tava muito mais fácil de montar. E e aí foi OK assim tipo não deu muito trabalho. Tiveram algumas coisas que eu não consegui excluir e aí eu joguei elas para outro lugar do mundo. E, às vezes, dependendo da onde eu ia, o que que eu tava mexendo, o que tinha por perto dava uma bugada aqui. Ele ficava tremendo no mouse, e acho que é isso. De resto está OK.

Na real eu fiquei meio perdida com conceito geral não sei se porque eu demorei muito para fazer, mas eu comecei a fazer no dia que você explicou. Não sei, eu tava confusa. Eu fiquei meio com dificuldade de entender certinho o que cada um fazia e o que precisava. Porque apesar de terem coisas bem parecidas nos dois, tipo um fala com os representantes das empresas terceirizadas e o outro vai falar com os empregados terceirizados, sabe?

Eu sinto que algumas coisas podiam ser juntas na hora, que não precisava ser assim tão separadinho como eu fiz, mas eu fiquei confusa na hora e não consegui pensar certinho no que podia ser junto, ou como eu podia juntar os dois. Teria que pensar mais sobre, mas acho que seria uma coisa muito da hora. Isso se os dois forem funcionários da mesma empresa em si, porque se eles forem de duas empresas diferentes e cada um faz uma coisa, tipo uma empresa para segurança patrimonial aí não ia dar eu acho.

Fiquei em dúvida se tem porta nesse role... Acho que daria para ver né, eu esqueci de ver. Eu fiquei meio em dúvida quanto ao funcionamento real, tipo eu acho que tava bem detalhado na apresentação, mas não sei, talvez eu precisasse de um mapa de como que funciona no real. Como funciona na real o trabalho lá dentro para eu poder entender melhor o que a pessoa precisa, sabe? Seila, tenho que assistir as pessoas trabalhando para entender como eu faria. Porque, sei lá a minha concentração e memória não tava boa e eu tava tendo dificuldade de separar os dois, e entender o que ia fazer para cada um, e o que cada funcionário ia fazer. E eu fiquei com essas dificuldades.

Dentro dessa dificuldade de concentração eu meio que acabei esquecendo e ignorando um pouco os móveis que eles já tinham. Porque não sei minha mente não tava funcionando, se fosse o The Sims eu colocaria todos os móveis lá e aí iria pegando, só que eu não fiz isso aqui por que que não tô acostumada. Achei que era muito trabalho.

E aí eu fingi que eu não tinha orçamento tá? Porque eu não tinha. Eu ia perguntar até isso... Também não sei, acredito que se não quiser gastar tanto, chama outra pessoa.

Eu não lembro agora certinho, se só às vezes isso acontecia, talvez quando eu girava e tals. Porque eu não lembro de estar acontecendo tanto. Eu tava conseguindo antes mas eu não tentei excluir tantos, eu sei com certeza que a câmera com tripé e eu acho que

a câmera normal tava bem difícil de excluir e o computador também eu não consegui excluir. Eu não sei se tem outros computadores, mas não sei só não dava para selecionar o botão da lixeira, sabe igual como eu não dá para espelhar mesmo porque é só você girar ficava aqui mesma coisa primeira proposta.

E sobre travar o computador não travou aqui não, tava bem tranquilo. Também eu só abri o programa e tava com aba do Chrome aberto. Eu achei meio ruim que eu não consegui minimizar, mas de travar não trava não.

**Avaliação da proposta** (por um dos orientadores desta pesquisa).

<b>Pontos positivos</b>	Proposta inicial interessante. Sala junto ao cofre de boas dimensões. Bom uso do AVP. Algumas verbalizações são bem interessantes! “Mas eu consegui entrar com o carinho lá, não quando os dois estão sentados” e “, mas eu não curti quando eu coloquei ela, não ficou bom” entre outras. Área de espera ampla. Fez paralelos com ambientes de trabalho parecidos (passaporte e carteira ônibus). Levantou um ponto organizacional bem interessante sobre se trata-se de uma empresa ou duas diferentes que realizam o serviço no espaço – pensando em colaboração e compartilhamento. Inseriu pessoas para simular uma situação futura possível.
<b>Pontos negativos</b>	Não atentou para aspectos do trabalho/atividade, em especial ruído e espaço para atendimento de prepostos.
<b>Observações gerais</b>	Apontou para questões de estética e necessidade de “ver” o trabalho para projetar. Outro aluno que aponta a falta de limite de orçamento como algo importante. Algumas dificuldades de usar o AVP – mas elogiou a atualização. Fez comparativo com outro ambiente de jogo (The Sims) mas que desistiu de usar após uma tentativa.

## PARTICIPANTE 4

Rascunho proposta: não.

Capturas de tela: 4.





### **Descrição da proposta (mensagens e áudio transcrito).**

Começando do lado esquerdo: Pensando no fluxo de trabalho / pessoas, deixei assim, a pessoa chegaria, esperaria no sofázinho, seria chamado para tirar foto, o funcionário A já passa as informações para o B que está do lado (em L) e posteriormente, para o funcionário C atrás.

Deixei a área de espera no início para evitar o barulho das conversas... A sala de reuniões deixei com divisórias e porta para evitar barulhos também e a sala de arquivos, tbm tem porta de divisória para um maior controle de acesso.

Do lado direito, como só dois funcionários realizam atendimento, somente as duas estações de trabalho iniciais possuem cadeiras de espera.

Comentários sobre a questão de usabilidade, para modificar a posição dos objetos e clicar na setinha que seria interessante se pudesse ser implementado uma opção tipo clicar e arrastar para você fazer isso com próprio mouse sem precisar ficar clicando várias vezes, modificando para cá e para frente. Acho que seria mais rápido e ficaria mais um pouco menos cansativo para o usuário.

Sobre o carinha lá (personagem) eu te falei, eu não sabia que ele gira na base. Eu ficava clicando nele e não tinha conseguido (selecionar) para girar ele.

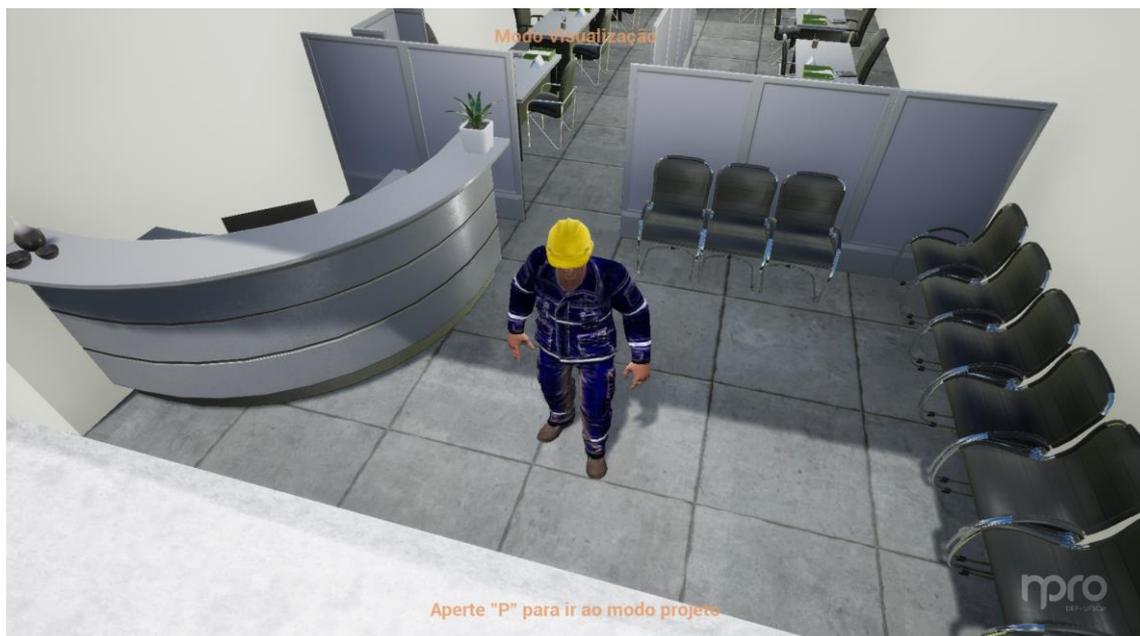
**Avaliação da proposta** (por um dos orientadores desta pesquisa).

<b>Pontos positivos</b>	Boa sala de reuniões com isolamento por divisória alta. Conseguiu enviar bons prints de telas do projeto, apesar de nenhuma de vista superior. Considerou o fluxo de operações para o SEGPAT.
<b>Pontos negativos</b>	Teve dificuldade com os NPCs e com movimentação dos objetos.
<b>Observações gerais</b>	Foi bastante sintético nas observações e na explicação da proposta.

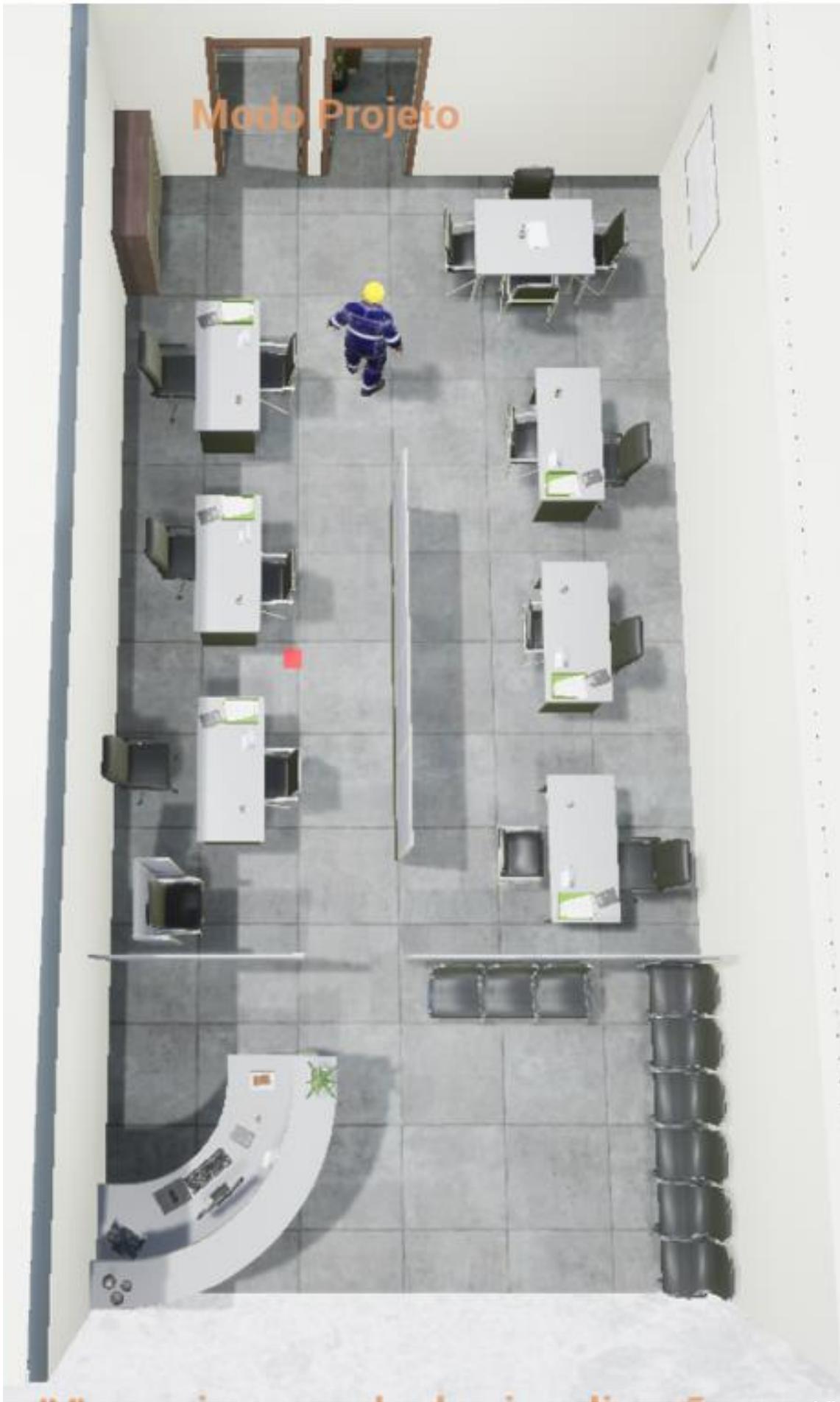
## PARTICIPANTE 5

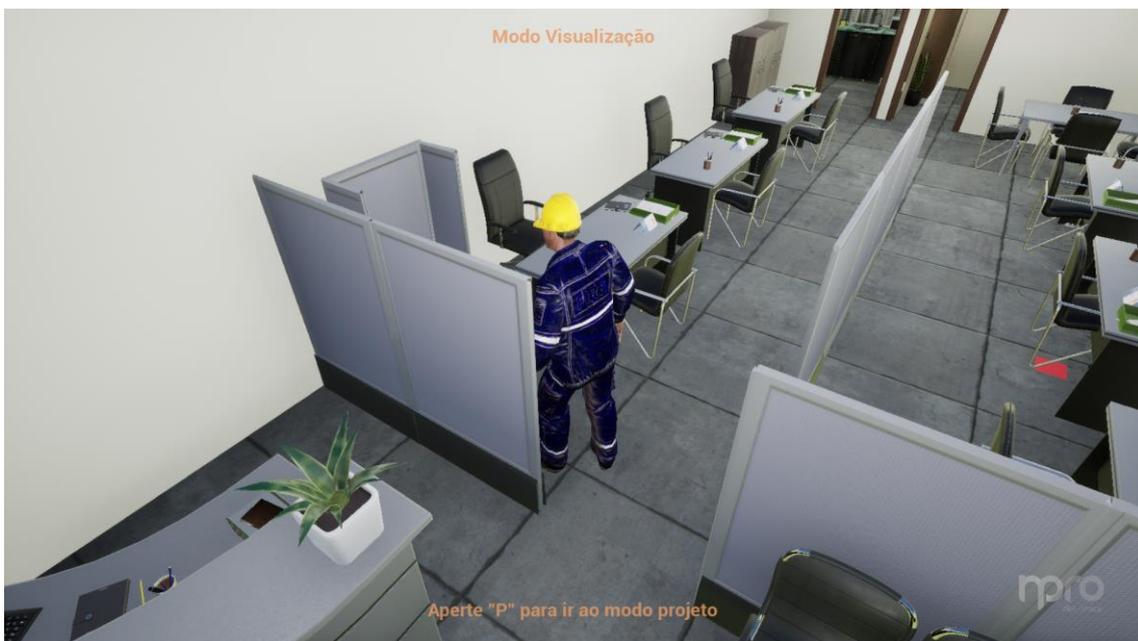
Rascunho proposta: não

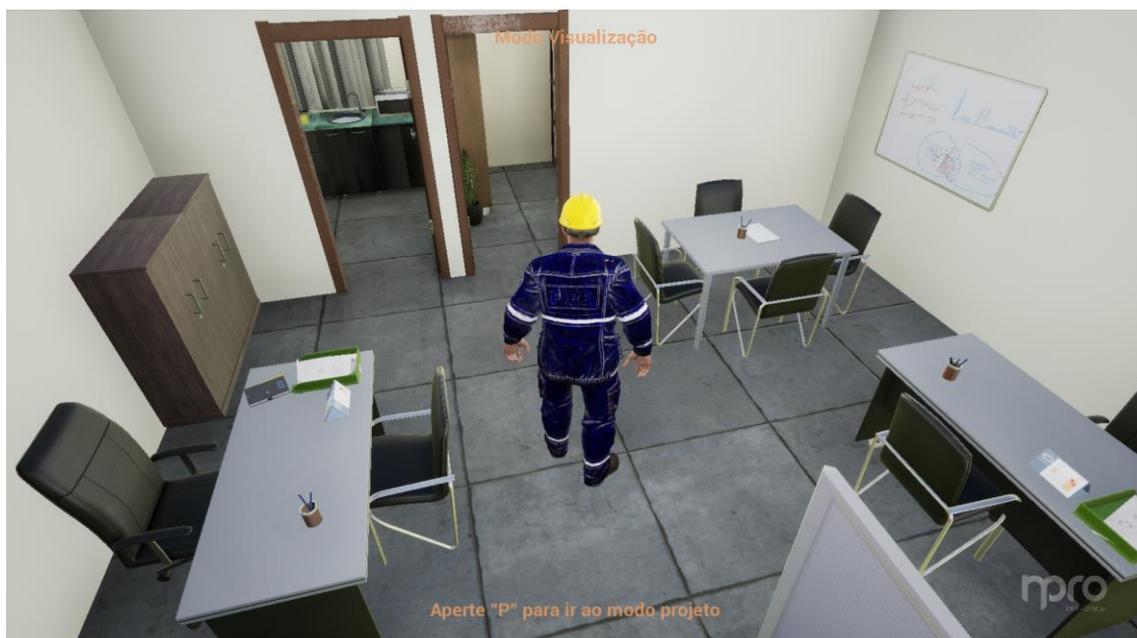
Prints: 6.



# Modo Projeto







### **Descrição da proposta** (mensagens de texto).

Então, inicialmente coloquei no papel algumas ideias, não cheguei a utilizar nenhuma técnica, mais por falta de tempo e dedicação (confesso). Ai eu passei para o jogo, e realmente foi muito mais fácil de visualizar o problema e de distribuir as estações de trabalho.

a minha impressão foi: o jogo facilitou o meu entendimento do ambiente, das dimensões dos moveis e na construção do layout

sobre como eu cheguei nesse desenho que te mandei

Eu resolvi criar uma recepção ontem os clientes pudessem esperar para serem atendidos

E coloquei divisórias para tentar diminuir/amenizar os ruidos externos, para amenizar para os trabalhadores, no geral.

### **Avaliação da proposta** (por um dos orientadores desta pesquisa).

<p><b>Pontos positivos</b></p>	<p>Destaque para as verbalizações feitas pelo aluno, indicando que o “jogo” foi mais fácil que fazer rascunhos no papel. Proposta da recepção foi elaborada – se destacando das demais propostas. Fez um bom uso dos prints com outras ferramentas (powerpoint provavelmente) para melhorar a comunicação/apresentação do projeto proposto. Ótimos prints com visão de topo e de perspectivas. Uso de diferentes objetos da biblioteca disponível.</p>
--------------------------------	--

<b>Pontos negativos</b>	As divisórias usadas foram todas baixas e não auxiliam na questão do ruído e privacidade. Sala de reuniões totalmente aberta para o restante do ambiente. Falta de privacidade e segurança de uso da copa e da sala cofre.
<b>Observações gerais</b>	Foi bastante sintético nas observações e na explicação da proposta.

## **APÊNDICE 5 – ANOTAÇÕES REALIZADAS DURANTE ENTREVISTAS**

### **Reunião 1 - Docente 1, Docente 2, Docente 3**

#### **Docente 1**

- Requisitos de visibilidade
- Imagens do real para discutir e embasar a ideia
- Visualização “cega” as outras questões - estética vs função
- Conceitos da ergonomia

#### **Docente 3**

- Falta do CAD 2D/medidas
  - análises do tipo passa/não passa
  - percentis
- Layout mais preciso
- Requisitos dos clientes/projeto → deixar mais claro

#### **Docente 2**

- Mais ergonomia do que projeto do trabalho
- Pelo que os alunos são avaliados exatamente?
  - Linkar com requisitos de projeto/clientes
  - Linkar com competências novas DCNs de Engenharia
  - Deixar claro as métricas
  - Apresentação: juntar tarefa + atividade

#### **Docente 1**

- AV não deveria ser primeira ferramenta
  - rascunhos/desenhos a mão para auxiliar na compreensão do caso/proposição do projeto
- Plano de massas / análises macro, antes de usar o AV

#### **Docente 2**

- Aspectos cognitivos mais implícitos. (Físico>Organizacional>Cognitivo)
  - Adicionar mais verbalizações (baseadas/criadas) para suportar trazer reflexão sobre aspectos chave
- Momento de uso na disciplina: 60%/75% da disciplina
- Possibilidade de visualizar

#### **Docente 1**

- Descrição do caso: vídeo de preâmbulo

- Possibilidades de análise de campos de visão, adicionar mais informações sobre o conteúdo do trabalho
- 2 disparadores
  - Debriefing ao final da atividade e relatório sistemático, padronizado com campos a respeito das dimensões da ergonomia
  - Algo quantitativo para abarcar mais a questão de projeto do trabalho (gráfico de fluxo do processo, fluxograma dos setores)
  - Adicionar mais verbalizações (baseadas/criadas) para suportar trazer reflexões sobre outras dimensões da ergonomia
  - Gráficos de tempo de atividade (tempo de atendimento/tempo de descanso)
  - Bom ter mais questões de projeto do trabalho para discutir com ergonomia

## **Reunião 2 - Docente 4**

### **Docente 4**

- Sentiu falta de uma contextualização melhor do caso - compreensão do problema
  - Mapofluxograma de microssituações
  - fluxo do trabalhador
  - trazer mais elementos da situação real - fotos, vídeos
  - não explicitar o problema a priori - alunos devem refletir e identificar possíveis questões
  - instrução da demanda
  - mostrar layout atual da situação ou criar um com problemas para disparar reflexão
- Definir melhor requisitos dos usuários (inspirado em PDP/projeto mecânico)
- Necessário tempo para compreensão da situação
- Focos: Organizacional, Cognitiva (informação, processo de decisão)
- Usa simulação, CAD, Flexsim
- Vídeos, fotos, descrição das microssituações corriqueiras
- “Tutorial” situação de referência
- Descrição do caso muito textual → + visual

- Parte prática
  - em grupo (CAD)
- Debate final - modelo ideal

### **Reunião 3 - Docente 5**

- Bastante relacionado com layout
- Aspectos físicos → ambientais
  - antropometria já está resolvida
  - mobiliário padrão - situação aderente com a realidade de empresas (com catálogo de móveis definido)
- Aderente a realidade e abordagens da ergonomia - tanto HF quanto francófona
- Relação do ambiente físico e organização do trabalho
- Tradicionalmente os projetos e trabalhos de alunos em ergonomia não foca no trabalho administrativo
- Apresenta Jack, Catia, Ramsis para simulação humana, mas não ensina/usa de fato
  - aluno busco e utilizou em um dos trabalhos
- Todas as dimensões presentes, sem prevalência
  - Cognitiva (questão da foto), Organizacional (controle de informações, sigilo, etc.)
- Possíveis coisas para incorporar:
  - Vídeo explicativo do caso
  - Referência de dimensões (corredor, acesso, etc)
  - Questões de acessibilidade/cadeirante, etc. (recorte mais genérico, refinaria ok)
  - Custo?
  - Módulo de análise/custo
  - Emulador para linux/mac
  - Sistema mobile?
- Atividade individual é interessante - evita monopólio do CAD, todos projetam. momento em grupo para convergir as propostas =, construindo uma versão integradora do projeto.