



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

ARTHUR FELIPE ECHS LUCENA

**REALIDADE ESTENDIDA NA CONSTRUÇÃO CIVIL:  
MÉTODO PARA CAPACITAÇÃO DE ESTUDANTES DE  
ENGENHARIA CIVIL NO GERENCIAMENTO DE PERDAS  
NÃO-FÍSICAS NO CANTEIRO DE OBRAS**

---

Londrina  
2024

ARTHUR FELIPE ECHS LUCENA

**REALIDADE ESTENDIDA NA CONSTRUÇÃO CIVIL:  
MÉTODO PARA CAPACITAÇÃO DE ESTUDANTES DE  
ENGENHARIA CIVIL NO GERENCIAMENTO DE PERDAS  
NÃO-FÍSICAS NO CANTEIRO DE OBRAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como parte dos pré-requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Altibano Ortenzi  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Wanessa Roberta Fazinga

Londrina  
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Lucena, Arthur Felipe Echs.

Realidade estendida na construção civil : método para capacitação de estudantes de engenharia civil no gerenciamento de perdas não-físicas no canteiro de obras / Arthur Felipe Echs Lucena. - Londrina, 2024.  
230 f. : il.

Orientador: Altibano Orteni.

Coorientador: Wanessa Roberta Fazinga.

Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2024.

Inclui bibliografia.

1. Construção Enxuta - Tese. 2. Gestão - Tese. 3. Realidade Virtual - Tese. 4. Ensino - Tese. I. Orteni, Altibano. II. Fazinga, Wanessa Roberta. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

CDU 62

ARTHUR FELIPE ECHS LUCENA

**REALIDADE ESTENDIDA NA CONSTRUÇÃO CIVIL:  
MÉTODO PARA CAPACITAÇÃO DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA  
CIVIL NO GERENCIAMENTO DE PERDAS NÃO-FÍSICAS NO  
CANTEIRO DE OBRAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como parte dos pré-requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elvira Maria Vieira Lantelme  
Atitus Educação

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Luci Mercedes De Mori  
Universidade Estadual de Maringá - UEM

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Débora de Gois Santos  
Universidade Federal do Sergipe - UFS

---

Prof. Dr. Dante Alves Medeiros Filho  
Universidade Estadual de Maringá - UEM

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Wanessa Roberta Fazinga – Co-orientadora  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Altibano Ortenzi - Orientador  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 27 de fevereiro de 2024.

## AGRADECIMENTOS

Caro leitor, esta tese descreve uma jornada árdua, porém gratificante, de investigação e pesquisa, seguindo as formalidades essenciais do método científico para assegurar o rigor e a confiabilidade de suas reflexões e descobertas. Contudo, nesse momento de agradecimentos, abro uma ligeira exceção à estrutura formal, para permitir que você compreenda as inspirações que motivaram esta pesquisa, e reconheça as muitas mãos que, direta ou indiretamente, contribuíram para transformá-la nessa versão final.

As próximas páginas representam mais do que uma tese de Doutorado. São evidências de anos de esforço e dedicação de um engenheiro que, acima de tudo, se identifica como um professor. Portanto, agradecimentos são devidos àqueles que me mostraram o poder transformador que a Educação pode exercer na sociedade e na vida das pessoas, especialmente na minha. Tenham certeza de que há um pouquinho de cada um de vocês aqui.

Agradeço a Deus, por ter permitido que essa jornada se concretizasse.

Agradeço aos meus pais, Toni e Tânia, porque foram meus primeiros professores. Me ensinaram a sonhar e a perseguir meus objetivos de maneira ética, justa e responsável. Sou quem eu sou graças a vocês.

Agradeço aos meus irmãos, Matheus e Jéssica, assim como a todos os meus familiares e amigos. Junto aos meus pais, vocês foram minha base nessa jornada, me ensinaram que esses sonhos não se realizam sem apoio. Obrigado por tanto.

Agradeço às instituições e participantes de todos os estudos aqui relatados, cujos nomes serão omitidos devido ao princípio de anonimato. Aprendi valiosas lições de empatia com vocês. Contem sempre comigo.

Agradeço a todos os meus alunos. Vocês são minha fonte diária de inspiração. Obrigado por me mostrarem que esse trabalho vale a pena. É uma honra compartilhar a sala de aula com todos vocês.

Agradeço à Banca Examinadora, pelos valiosos conselhos em todas as etapas deste trabalho. Reitero aqui o quanto vocês também me inspiram.

Por fim, agradeço a todos os meus professores, em especial aos meus orientadores de toda a minha trajetória acadêmica: Luci, Miotto, Fernanda, Altibano, Wanessa. Mais do que conhecimento científico, vocês me ensinaram a amar essa profissão. Obrigado por serem exemplos inspiradores de educadores.

Qualquer tecnologia suficientemente  
avançada é indistinta de magia

*(Arthur C. Clarke)*

## RESUMO

LUCENA, Arthur Felipe Echs. **Realidade Estendida na construção civil**: método para capacitação de estudantes de engenharia civil no gerenciamento de perdas não-físicas no canteiro de obras. 2024. 230p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2024.

O ensino de gestão de perdas não-físicas presentes em canteiros de obras enfrenta desafios emergentes no contexto da educação em engenharia. Tecnologias como as contidas no espectro da realidade estendida se mostram como uma alternativa promissora para contribuir com esse tema, mas a literatura carece de diretrizes mais claras sobre como devem ser desenvolvidas ferramentas com essas tecnologias para contribuir nesse contexto. Nesse sentido, o presente estudo objetivou discutir as características desejáveis para o desenvolvimento de inovações que contribuam para a capacitação de estudantes de engenharia civil em relação à identificação e gestão de perdas não-físicas em canteiros de obras da construção civil, por meio do uso de recursos tecnológicos de Realidade Estendida. Para isso, a pesquisa foi estruturada como uma *Design Science Research*. O problema foi investigado por meio de entrevistas com o público-alvo. Em seguida, desenvolveu-se o GerenciObras, uma ferramenta de capacitação, que foi submetida à avaliação do público-alvo. No experimento realizado, não foram identificadas evidências de que a ferramenta desenvolvida, juntamente com seu método intrínseco de desenvolvimento, tenha promovido a aquisição ou retenção de conhecimento além do que seria obtido em aulas teóricas convencionais. No entanto, observou-se que ainda assim a ferramenta recebeu avaliações positivas e foi recomendada pelos alunos participantes para ser utilizada no contexto educacional. Indica-se, assim, que tais ferramentas contribuem para transformar o processo de ensino-aprendizado em um momento mais prazeroso e motivador aos alunos. Os resultados obtidos se limitam às características da ferramenta desenvolvida e contexto do experimento realizado, recomendando-se que novos estudos semelhantes sejam feitos para que seus resultados sejam comparados com os achados deste trabalho.

**Palavras-chave:** realidade virtual; gamificação; ensino; construção enxuta; construção civil

## ABSTRACT

LUCENA, Arthur Felipe Echs. **Extended Reality in civil construction:** method for training civil engineering graduates in non-physical wastes management at the construction site. 2024. 230p. Thesis (PhD in Civil Engineering) – Technology and Urbanism Centre, State University of Londrina, Londrina, 2024.

The teaching of non-physical loss management in construction sites faces emerging challenges in the context of engineering education. Technologies such as those within the spectrum of extended reality appear as a promising alternative to contribute to this subject. Still, the literature lacks clearer guidelines on how tools with these technologies should be developed to contribute to this context. In this sense, the present study aimed to discuss the desirable characteristics for the development of innovations that contribute to the training of civil engineering students in identifying and managing non-physical losses in construction sites, using Extended Reality technological resources. For this purpose, the research was structured as Design Science Research, so the problem was investigated through interviews with the target audience. Subsequently, GerenciObras was developed, a training tool in this context, which was submitted for evaluation by the target audience. In the conducted experiment, no evidence was found that the developed tool, along with its intrinsic development method, promoted the acquisition or retention of knowledge beyond what would be obtained in conventional theoretical classes during the experiments. However, it was observed that the tool still received positive reviews and was recommended by participating students for use in the educational context. Therefore, it is indicated that such tools contribute to transforming the teaching-learning process into a more pleasurable and motivated moment for students. The obtained results are limited to the characteristics of the developed tool and the context of the conducted experiment, and it is recommended that new similar studies be conducted so that their results can be compared with the findings of this work.

**Keywords:** virtual reality; gamification; teaching; lean construction; civil construction.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	– O processo produtivo de acordo com a <i>Lean Construction</i> .....	29
<b>Figura 2</b>	– Mecanismo da Função Produção.....	30
<b>Figura 3</b>	– Influência das perdas nas dimensões TFV .....	36
<b>Figura 4</b>	– Fluxograma de ferramentas <i>Lean</i> para a redução de perdas na produção de blocos.....	38
<b>Figura 5</b>	– Contínuo da Realidade-Virtualidade.....	40
<b>Figura 6</b>	– Contínuo da Realidade-Virtualidade.....	41
<b>Figura 7</b>	– Evolução dos <i>Head Mounted Displays</i> (HMDs) .....	45
<b>Figura 8</b>	– Características das simulações XR/VR já desenvolvidas para treinamentos .....	47
<b>Figura 9</b>	– Delineamento geral da pesquisa.....	61
<b>Figura 10</b>	– Logomarca do GerenciObras .....	72
<b>Figura 11</b>	– Plataforma <i>Unreal Engine</i> , versão 5.3.....	73
<b>Figura 12</b>	– Meta Quest 2.....	74
<b>Figura 13</b>	– Exemplo de diagrama a ser obtido a partir do Estudo II.....	83
<b>Figura 14</b>	– Exemplo de diagrama a ser obtido a partir do Estudo III.....	91
<b>Figura 15</b>	– Distribuição dos dados por região do Brasil .....	93
<b>Figura 16</b>	– Distribuição dos dados por ano da graduação dos participantes .....	94
<b>Figura 17</b>	– Experiência prática dos participantes, em anos completos.....	95
<b>Figura 18</b>	– Estudos publicados ao longo dos anos .....	97
<b>Figura 19</b>	– Distribuição das aulas sobre perdas, em relação ao nível de uso de recursos tecnológicos.....	105
<b>Figura 20</b>	– Ficha-resumo dos papéis dos participantes no GerenciObras.....	117
<b>Figura 21</b>	– Exemplo de página do Manual de Uso do GerenciObras .....	118
<b>Figura 22</b>	– Exemplos de GerenciCards .....	119
<b>Figura 23</b>	– Cenário da simulação do GerenciObras .....	120
<b>Figura 24</b>	– Assistente virtual Alpha e vídeo-tutorial .....	121
<b>Figura 25</b>	– Tarefa de execução de revestimento argamassado – apartamento 202 .....	122
<b>Figura 26</b>	– Questões teóricas sobre o tema .....	123
<b>Figura 27</b>	– Personagens do canteiro de obras .....	124
<b>Figura 28</b>	– Estoques do GerenciObras .....	125

<b>Figura 29</b> – Menu para aquisição de estoques de sacos de cimento.....	126
<b>Figura 30</b> – Almoxarifado do GerenciObras .....	126
<b>Figura 31</b> – Sala de Reuniões do GerenciObras.....	130
<b>Figura 32</b> – Menu de validação das perdas – Sala de Reuniões .....	131
<b>Figura 33</b> – Estatísticas de desempenho dos participantes .....	132
<b>Figura 34</b> – Diagrama-resumo da relação entre as mecânicas do GerenciObras e as premissas para o seu desenvolvimento .....	141
<b>Figura 35</b> – Nova área de treinamento no GerenciObras.....	146
<b>Figura 36</b> – Novo quadro de tarefas no GerenciObras.....	147
<b>Figura 37</b> – Diagrama-resumo da relação entre as mecânicas do GerenciObras e as demandas de aprendizado sugeridas pelos alunos do Estudo I.....	151
<b>Figura 38</b> – Versão final do diagrama de características preferíveis para ferramentas desenvolvidas com tecnologia de Realidade Estendida para capacitações no contexto de gestão de perdas .....	153

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	–	Quantidade de estudos selecionados na revisão de literatura .....	92
<b>Tabela 2</b>	–	Percepção dos participantes quanto às razões pelas quais seu conhecimento sobre gestão de perdas é nulo ou insatisfatório .....	107
<b>Tabela 3</b>	–	Sugestões dos participantes para o processo de ensino-aprendizado sobre gestão de perdas .....	110
<b>Tabela 4</b>	–	Ordem de preferência/importância das mecânicas em cada critério .....	137
<b>Tabela 5</b>	–	Resumo da preferência de cada alternativa .....	144
<b>Tabela 6</b>	–	Ordem de preferência/importância das mecânicas em cada critério .....	148
<b>Tabela 7</b>	–	Resumo da preferência de cada alternativa .....	150
<b>Tabela 8</b>	–	Desempenho dos grupos na análise do Estudo de Caso 01 .....	156
<b>Tabela 9</b>	–	Desempenho dos grupos na análise do Estudo de Caso 02 .....	159
<b>Tabela 10</b>	–	Desempenho dos grupos na análise do Estudo de Caso 03 .....	160
<b>Tabela 11</b>	–	Satisfação do Grupo B em relação ao GerenciObras .....	161

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Associação entre os objetivos propostos e as questões de pesquisa do trabalho .....	26
<b>Quadro 2</b> – Categorias de perdas não-físicas .....	32
<b>Quadro 3</b> – Alternativas do Método AHP do Estudo II.....	79
<b>Quadro 4</b> – Critérios do Método AHP do Estudo II.....	79
<b>Quadro 5</b> – Escala de Saaty .....	81
<b>Quadro 6</b> – Ficha de avaliação – Estudo II .....	82
<b>Quadro 7</b> – Questionário de caracterização dos participantes – Estudo III .....	85
<b>Quadro 8</b> – Ficha avaliativa do Estudo de Caso – Estudo III.....	87
<b>Quadro 9</b> – Autoavaliação quanto ao preparo do participante para identificação de perdas – Estudo III .....	87
<b>Quadro 10</b> – Ficha avaliativa da percepção dos usuários quanto à utilidade e facilidade de uso do GerenciObras – Estudo III .....	88
<b>Quadro 11</b> – Alternativas do Método AHP do Estudo III.....	90
<b>Quadro 12</b> – Critérios do Método AHP do Estudo III .....	90
<b>Quadro 13</b> – Estudos selecionados e correlação com as temáticas de interesse ...	96
<b>Quadro 14</b> – Fatores potenciais para a geração de perdas na construção .....	98
<b>Quadro 15</b> – Benefícios do uso de Realidade Estendida para capacitações e treinamentos .....	103
<b>Quadro 16</b> – Benefícios do uso de Realidade Estendida para capacitações e treinamentos .....	104
<b>Quadro 17</b> – Proposta de características desejáveis a uma ferramenta XR para capacitar alunos de engenharia civil sobre gestão de perdas não-físicas na construção civil.....	113
<b>Quadro 18</b> – Resumo do fluxo de GerenciCoins no GerenciObras .....	121
<b>Quadro 19</b> – Perdas esperadas do GerenciObras e mecânicas aplicadas para sua identificação .....	127

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AR	<i>Augmented Reality</i>
AV	<i>Augmented Virtuality</i>
CAVE	<i>Cave Automatic Virtual Environment</i>
DoF	<i>Degrees of Freedom</i>
DSR	<i>Design Science Research</i>
EPI	Equipamento de Proteção Individual
HMD	<i>Head-Mounted Display</i>
IES	Instituição de Ensino Superior
I4.0	Indústria 4.0
I5.0	Indústria 5.0
JIT	<i>Just In Time</i>
LC	<i>Lean Construction</i>
MFP	Mecanismo da Função Produção
MFV	Mapeamento de Fluxo de Valor
MR	<i>Mixed Reality</i>
NAV	atividades que Não Agregam Valor
NAVN	atividades que Não Agregam Valor, mas que são Necessárias
NPC	<i>Non-Player Character</i>
PPC	Projeto Pedagógico do Curso
QP	Questão de Pesquisa
RA	Realidade Aumentada
RE	Realidade Estendida
RM	Realidade Mista

RSL	Revisão Sistemática de Literatura
RV	Realidade Virtual
STP	Sistema Toyota de Produção
TEP	Trabalho Em Progresso
TFV	Transformação, Fluxo e Valor
TPM	<i>Total Productivity Maintenance</i>
TQM	<i>Total Quality Management</i>
TTS	<i>Text to Speech</i>
VA	Virtualidade Aumentada
VR	<i>Virtual Reality</i>
VSM	<i>Value Steam Mapping</i>
WIP	<i>Work In Progress</i>
XR	<i>Extended Reality</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	17
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA .....	19
1.3	QUESTÕES DE PESQUISA .....	23
1.4	OBJETIVOS .....	25
1.4.1	Objetivo Geral.....	25
1.4.2	Objetivos Específicos .....	25
1.5	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	26
1.6	ESTRUTURA DA TESE.....	27
<b>2</b>	<b>PERDAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL SEGUNDO OS PRECEITOS DA FILOSOFIA <i>LEAN</i> .....</b>	<b>28</b>
2.1	A FILOSOFIA LEAN CONSTRUCTION E O CONCEITO DE PERDAS .....	28
2.2	PERDAS FÍSICAS E NÃO-FÍSICAS.....	30
2.3	CLASSIFICAÇÕES DE PERDAS NÃO-FÍSICAS .....	31
2.4	ESTRATÉGIAS <i>LEAN</i> PARA O GERENCIAMENTO DE PERDAS .....	36
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	38
<b>3</b>	<b>REALIDADE ESTENDIDA APLICADA A CAPACITAÇÕES E TREINAMENTOS.....</b>	<b>40</b>
3.1	TERMINOLOGIAS E DEFINIÇÕES BÁSICAS.....	40
3.1.1	Imersão, Presença, Interação e Fidelidade .....	42
3.2	DISPOSITIVOS E TECNOLOGIAS .....	43
3.3	APLICAÇÕES RECENTES DE SIMULAÇÕES XR/VR EM CAPACITAÇÕES E TREINAMENTOS.....	46
3.4	BENEFÍCIOS DE SIMULAÇÕES XR/VR PARA CAPACITAÇÕES E TREINAMENTOS..	48
3.5	DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO DE SIMULAÇÕES XR/VR PARA CAPACITAÇÕES E TREINAMENTOS .....	51
3.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	57
<b>4</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>59</b>

4.1	DELINEAMENTO GERAL DA PESQUISA .....	59
4.2	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA.....	62
4.2.1	Revisão Sistemática de Literatura (RSL).....	62
4.2.2	Estudo I: Demandas do Público-Alvo .....	66
4.3	SUGESTÃO DE SOLUÇÃO.....	71
4.4	DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO.....	71
4.4.1	Recursos Tecnológicos .....	72
4.4.2	Protótipo do Artefato.....	75
4.4.3	Estudo II: Teste Piloto .....	75
4.4.4	Versão Final do Artefato.....	83
4.5	AVALIAÇÃO DO ARTEFATO (ESTUDO III).....	84
<b>5</b>	<b>RESULTADOS: ANÁLISES E DISCUSSÕES.....</b>	<b>92</b>
5.1	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA.....	92
5.1.1	Coleta e caracterização dos dados .....	92
5.1.2	Reflexões sobre a Revisão Sistemática de Literatura .....	95
5.1.3	Reflexões sobre o Estudo I .....	104
5.2	SUGESTÃO DE SOLUÇÃO (CARACTERÍSTICAS QUE CONTRIBUEM PARA CAPACITAÇÃO – VERSÃO 1).....	112
5.3	DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO.....	115
5.3.1	Protótipo do GerenciObras.....	116
5.3.2	Estudo II .....	132
5.3.2.1	Características que contribuem para a capacitação (Versão 2) .....	137
5.3.3	Alterações para a Versão Final do GerenciObras .....	145
5.4	AVALIAÇÃO DO ARTEFATO (ESTUDO III).....	147
5.4.1	Fase 2 .....	147
5.4.2	Fase 1 e lições aprendidas.....	154
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>164</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>166</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>176</b>

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO UTILIZADO NO ESTUDO I .....	177
APÊNDICE B - SCRIPT DE ANÁLISE ESTATÍSTICA – ESTUDO I .....	181
APÊNDICE C – ROTEIRO DA ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA COM OS ESPECIALISTAS (ESTUDO II).....	187
APÊNDICE D – ESTUDOS DE CASO 01, 02 E 03 – ESTUDO III .....	189
APÊNDICE E - FICHAS-RESUMO COM OS PAPÉIS DO GERENCI OBRAS.....	208
APÊNDICE F - MANUAL DE USO DO GERENCI OBRAS .....	210
APÊNDICE G - GERENCI CARDS DO GERENCI OBRAS .....	226

## 1 INTRODUÇÃO

A presente pesquisa aborda o uso de tecnologias diversificadas contidas no espectro da **Realidade Estendida** para capacitações<sup>1</sup> de estudantes de engenharia civil no que diz respeito à **gestão de perdas não-físicas** no canteiro de obras, fundamentando-se nos conceitos e diretrizes da filosofia de gestão conhecida como *Lean Construction* (LC). Nesse sentido, a seguir se apresenta ao leitor uma breve contextualização a respeito do histórico de uso e principais preceitos teóricos relacionados a cada temática, bem como aspectos que justificam a realização deste trabalho e evidenciam sua relevância e ineditismo no debate científico.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Após profundas mudanças sofridas no decorrer das três primeiras revoluções industriais, a sociedade, de uma maneira geral, tem experimentado avanços tecnológicos significativos que se caracterizam como uma quarta revolução. A Indústria 4.0 (I4.0), termo cunhado para descrever esse fenômeno, tem origem recente, na primeira década do século XXI, sendo caracterizada por fábricas inteligentes e manufatura avançada que buscam digitalizar os processos produtivos (Aires; Kempner-Moreira; Freire, 2017).

Em essência, a quarta revolução industrial lida com uma internet ubíqua e móvel, de tal forma que se pode coletar quantidades massivas de informações (por meio de sensores) e retransmiti-las a outros dispositivos em tempo real, por meio da internet (Aires; Kempner-Moreira; Freire, 2017; Schwab, 2016). Esse novo caminho de coleta e transmissão de informações facilita o uso conjugado de diversas tecnologias, de forma que o escopo se torna ainda mais amplo (Schwab, 2016). Nesse sentido, a partir do uso de recursos como sensores e controles, realidade virtual e aumentada, manufatura aditiva, robôs autônomos e inteligência artificial, tem-se uma aproximação entre os domínios físicos, digitais e biológicos (Alaloul *et al.*, 2020).

Em anos recentes, acredita-se haver ainda o surgimento de uma quinta

---

<sup>1</sup> Salienta-se ao leitor que neste trabalho as expressões “ensino”, “capacitação” e “treinamento” são igualmente utilizadas para se referir a processos educativos relacionados ao público-alvo em questão (alunos graduandos em Engenharia Civil), sem que se faça distinção entre os termos como forma de se referir a diferentes públicos de interesse.

revolução, que coexiste com a anterior. A pandemia do vírus COVID-19 que assolou o mundo no início da década de 2020, associada às crises geopolíticas relacionadas aos conflitos militares entre países, ataques de cibersegurança e demais crises humanitárias, evidenciou a necessidade de ter maior foco no desenvolvimento humano para aperfeiçoar os processos produtivos, caracterizando, assim, o fenômeno da Indústria 5.0 (I5.0) (Barata; Kayser, 2023; Coelho *et al.*, 2023; Golovianko *et al.*, 2023).

Nesse contexto de emergência de profundas mudanças no segmento industrial, as tecnologias relacionadas ao uso parcial ou total de cenários e elementos virtuais para enriquecer atividades relacionadas à visualização, como a Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Virtualidade Aumentada, têm ganhado destaque. As similaridades e singularidades que permeiam as definições dessas tecnologias são alvo de grandes confusões mesmo no meio científico. Haja vista que tais tecnologias não são facilmente distinguíveis e frequentemente são utilizadas em conjunto, define-se o conceito globalizador de Realidade Estendida para se referir a qualquer tecnologia que utilize certo nível de virtualidade para enriquecer a realidade (Li *et al.*, 2018; Mealy, 2018; Tori; Kirner; Siscouto, 2006).

Na indústria da construção civil, acredita-se que as inovações propostas pela I4.0 e I5.0 convergem em diversos aspectos com as diretrizes de gestão de processos produtivos estabelecidas pela filosofia *Lean Construction* (Lekan *et al.*, 2020; Mayr *et al.*, 2018; Naciri *et al.*, 2022). A filosofia *Lean* se originou no Sistema Toyota de Produção e sua adoção no setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) busca aumentar a produtividade e eficiência de seus processos. Para isso, sua implementação no setor industrial geralmente tem foco em maximizar o valor do produto e reduzir perdas (Wang *et al.*, 2020).

Um dos principais aspectos abordados pela filosofia *Lean* para promover uma gestão eficiente em obras é o gerenciamento das perdas ocultas no sistema produtivo (Murata *et al.*, 2018). Segundo os autores, o desempenho do sistema como um todo é aprimorado à medida que essas perdas são constantemente reduzidas ou eliminadas. O grande desafio, no entanto, reside no fato de que as perdas nem sempre são facilmente visíveis. Na busca por facilitar sua identificação, Ohno (1988) estabeleceu sete categorias de perdas existentes em um sistema produtivo, a saber: superprodução, transporte, excesso de processamento, produtos defeituosos, esperas, movimentação de trabalhadores e perdas por estoques.

Nas últimas décadas, outras categorias de perdas foram propostas na literatura, como perdas por investimento desnecessário de capital, talento inutilizado, trabalho sob condições abaixo das ideais, projeto de produtos que não atendem às necessidades dos clientes (Igwe; Nasiri; Hammad, 2021) e *making-do* (perda por improvisação) (Koskela, 2004). Evidencia-se, assim, que a gestão de perdas na construção civil, assim como em outros setores, é um tema de grande complexidade e que necessita ser devidamente analisado para a melhoria geral do sistema produtivo.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Especialmente em países em desenvolvimento, a indústria da construção civil tem enfrentado inúmeros desafios relacionados à inadequada gestão de suas obras (Bajjou; Chafi, 2020). Em particular, à prevalência de atividades que não agregam valor ao produto final, intrinsecamente relacionadas ao conceito de perdas, é um fator protagonista no aumento de custos de construção e baixa produtividade da mão de obra (Bajjou; Chafi, 2018a; Igwe; Nasiri; Hammad, 2021). Além dos problemas relacionados a custos e produtividade, a presença dessas perdas acarreta a má qualidade do produto final, tomadas de decisão equivocadas, comunicação inadequada entre a equipe de trabalho, entre outros impactos negativos (Marhani *et al.*, 2021).

Nesse contexto, à medida que se compreende a seriedade da gestão de perdas para a melhoria geral do processo produtivo na construção civil, também se destaca a importância dos profissionais responsáveis pela gestão dessas obras, especialmente os engenheiros civis (Marhani *et al.*, 2021). Para Igwe, Hammad, Nasiri (2020), há uma necessidade emergente de aprimorar as habilidades técnicas e gerenciais desses profissionais para assim aperfeiçoar suas habilidades e competências na gestão e redução de perdas nas obras da construção civil.

Uma das grandes deficiências reside na própria compreensão do que vem a ser uma perda no processo produtivo. Há uma tendência em conceituar perdas somente tendo em vista seu aspecto físico, predominantemente associado a perdas de materiais. Contudo, como será devidamente discutido no Capítulo 2 desse trabalho, a maior parcela de perdas identificada nesse processo produtivo não é de natureza física, abrangendo também perdas relacionadas a tempo, trabalho e

equipamentos (quebra e manutenção) (Ayalew; Dakhli; Lafhaj, 2018; Bajjou; Chafi, 2018a).

A identificação dessa deficiência relacionada à compreensão e gestão de perdas no setor da construção civil não é novidade. A filosofia de gestão *Lean* tem como princípio reduzir as atividades que não agregam valor ao produto final, justamente por identificá-las como protagonistas na ineficiência do processo produtivo (Koskela, 1992, 2000). Como visto, Taichii Ohno, considerado um dos idealizadores do Sistema Toyota de Produção® e da filosofia *Lean*, identificou sete categorias de perdas, em que muitas dessas tratam de perdas não-físicas (Ohno, 1988).

Assim, entende-se que os preceitos e diretrizes apresentados pela filosofia *Lean* podem acelerar a inovação no setor, fornecendo subsídios aos gestores para investigar as origens das perdas no processo produtivo, bem como para reduzi-las ou eliminá-las (Murata *et al.*, 2018; Rosli; Muhammad Tamyez; Zahari, 2020). Entretanto, ainda que um dos grandes marcos da introdução da filosofia no setor da construção seja a obra de Koskela (1992), que remonta há mais de três décadas atrás, ainda se nota baixa adesão do setor aos princípios propostos por ela.

Segundo Bajjou e Chafi (2018b), o setor carece de uma visão clara dos principais fundamentos e técnicas propostos pela filosofia *Lean*, de tal forma que muitas empresas e profissionais aplicam a proposta da filosofia considerando sua própria compreensão (muitas vezes superficial ou equivocada) sobre o tema. Para Fateh e Sulaiman (2021), esse é o principal obstáculo para a devida adesão à filosofia. Além da falta de conhecimento sobre os preceitos da filosofia *Lean*, outros fatores que influenciam na sua introdução bem-sucedida no setor dizem respeito ao comprometimento dos profissionais de gestão, cultura organizacional, comunicação, capacitação e treinamentos contínuos (Molnar, 2021).

Em síntese, no que se refere à gestão no setor da construção civil, identifica-se que grande parte dos problemas e ineficiências presentes no processo produtivo estão intrinsecamente relacionados à presença de perdas, em especial as de natureza não-física, que são ignoradas e conseqüentemente não geridas adequadamente pelos profissionais. A filosofia *Lean* apresenta diretrizes e ferramentas para identificar e gerir essas perdas, mas os profissionais do setor, em especial os gestores, não possuem conhecimento ou comprometimento suficientes para adotar as ideias da filosofia de forma bem-sucedida, principalmente porque não

foram devidamente capacitados a respeito. Portanto, é latente a necessidade de buscar formas inovadoras e diferentes daquelas já utilizadas até o momento para capacitá-los e conscientizá-los sobre as diretrizes *Lean* relacionadas à gestão de perdas não-físicas (Ayalew; Dakhli; Lafhaj, 2018; Bajjou; Chafi, 2018a; Molnar, 2021; Murata *et al.*, 2018).

Nesse contexto, o uso de simulações e jogos que utilizam elementos virtuais no processo de ensino-aprendizado tem ganhado destaque, haja vista que proporcionam um papel mais ativo ao treinando, sem necessitarem de grandes espaços ou equipamentos. Especialmente em capacitações relacionadas à filosofia *Lean*, as simulações têm assumido importante papel para facilitar sua aceitação e introdução nas estratégias de gestão, visto que facilitam a visualização das complexidades intrínsecas ao processo produtivo e a tomada de decisões (Jacobsen; Strange; Teizer, 2021; Shou; Wang; Wu, 2021).

Contudo, o baixo nível de desenvolvimento tecnológico dessas simulações dificulta a obtenção de melhores resultados. Jogos digitais e simuladores desenvolvidos nessa temática, como “*The Parade of Trade Game*” e “*Villego®*” se limitam a uma mecânica demasiadamente simples, abstrata em expressão, que carece de realismo (Liu *et al.*, 2020). Há uma necessidade de associar essas simulações e treinamentos práticos com tecnologias emergentes do espectro da Realidade Estendida, que possibilitem a criação de um sistema de ensino-aprendizagem interativo e realista, que forneça ao aluno *feedback* direto de suas propostas para a solução de problemas nas temáticas estudadas (Liu *et al.*, 2020; Shou; Wang; Wu, 2021). Ademais, o uso de tais tecnologias se evidencia como uma possível solução para os desafios de infraestrutura e superprocessamento relacionados ao uso de maquetes e protótipos físicos, visto que a tecnologia permite a replicação de cenários para teste de ideias de forma ágil e intuitiva, evitando gastos excessivos (Salvadorinho; Teixeira, 2021; Wang *et al.*, 2020).

Ainda que as tecnologias do espectro da Realidade Estendida se mostrem promissoras para realizar as capacitações e treinamentos que se identificou que os gestores da construção civil carecem, a experiência de aplicação delas em outras áreas mostra que há muita divergência sobre seus reais benefícios ao processo de ensino-aprendizado. Em uma revisão de literatura realizada sobre o uso de jogos sérios em realidade virtual, Makransky e Klingenberg (2022) relataram que apenas 30% dos estudos identificados concluíram que o uso da tecnologia aprimorava o

aprendizado. Grassini, Laumann e Skogstad (2020) e Howard, Gutworth e Jacobs (2021), por sua vez, expõem que muitas experiências anteriores identificaram igual ou pior eficiência dos treinamentos em virtualidade, se comparados às metodologias clássicas. Em contrapartida, para diversos outros autores, como será devidamente detalhado no Capítulo 3 deste trabalho, existem evidências de que essas tecnologias de fato contribuem para o aprendizado.

Uma das razões para essa divergência entre estudos reside no fato de que existe uma quantidade limitada de estudos científicos, especialmente empíricos, que investiguem os efeitos das tecnologias de Realidade Estendida para capacitações e treinamentos (Abich *et al.*, 2021; Grassini; Laumann; Skogstad, 2020). Outro fator importante é a forma com que essas aplicações foram desenvolvidas, visto que não existe um modelo ou forma que seja ideal para todas as situações em que é aplicado (Howard; Gutworth; Jacobs, 2021). A eficiência dessas simulações, portanto, depende de como elas foram desenvolvidas (Makransky; Klingenberg, 2022) e em que contexto elas são empregadas (Grassini; Laumann; Skogstad, 2020; Howard; Gutworth; Jacobs, 2021; Huang; Roscoe, 2021).

Além disso, os resultados de estudos anteriores indicam que essas tecnologias podem ser mais benéficas a certos tipos de treinamentos (Abich *et al.*, 2021). Muitos estudos já realizados abordaram treinamentos de habilidades psicomotoras, mas pouco se sabe sobre os benefícios dessas tecnologias para capacitações relacionadas a habilidades conceituais (Baceviciute *et al.*, 2022). Nesse sentido, também é necessário investigar a melhor abordagem pedagógica a ser utilizada, visto que abordagens bem-sucedidas em modalidades de treinamento anteriores podem não ser igualmente eficazes em treinamentos nessa modalidade (Abich *et al.*, 2021; Baxter; Hainey, 2019; Howard; Gutworth; Jacobs, 2021).

Assim, ainda que capacitações em Realidade Estendida se mostrem uma alternativa promissora para o contexto em questão, é eminente a necessidade de desenvolver estudos científicos empíricos que testem e avaliem sua eficiência frente a esse contexto e tipo de treinamento, discutindo abordagens e tecnologias passíveis de serem utilizadas.

Haja vista essa demanda, a presente pesquisa procura discutir diretrizes para a criação de ferramentas de capacitação de alunos de engenharia civil a respeito da gestão de perdas não-físicas em canteiros de obras, por meio do desenvolvimento de um simulador e uso de ferramentas de Realidade Estendida. Nesse sentido,

destacam-se contribuições teóricas (o método de capacitação, passível de ser replicado em futuros estudos) e práticas (a ferramenta de capacitação desenvolvida a partir do método citado).

Ademais, o contexto de aplicação do estudo se mostra inovador, haja vista que na revisão sistemática de literatura realizada (detalhada no tópico 5.1.2) não se encontraram simuladores e dinâmica de capacitação em Realidade Estendida especificamente para abordar a gestão de perdas no processo produtivo, e poucos estudos foram identificados em um contexto mais genérico de capacitações em *Lean*.

Do ponto de vista tecnológico, o presente trabalho explora o uso de tecnologias altamente imersivas de virtualidade, fazendo uso não somente de Realidade Virtual, mas também de outras tecnologias no espectro da Realidade Estendida, de forma a se permitir treinamentos multiusuários. Isso se mostra inovador, à medida que os estudos anteriores identificados utilizaram recursos com baixo potencial de imersão e interação, majoritariamente limitados a treinamentos individuais. Como será devidamente discutido no Capítulo 3 deste trabalho, acredita-se que o uso de tecnologias mais imersivas e interativas é um dos fatores responsáveis por contribuir com o processo de ensino-aprendizagem nesse contexto.

Finalmente, o presente trabalho também se mostra inédito à medida que, diferentemente dos estudos anteriores, considerados demasiadamente superficiais em termos de investigação do processo de ensino-aprendizado, este se aprofunda na análise das características do simulador e do método desenvolvido que contribuíram ou não para a aprendizagem nesse contexto de aplicação. Como já discutido na seção anterior, a eficiência de treinamentos usando Realidade Estendida varia conforme contexto, tipo de habilidade treinada, tecnologia e abordagem pedagógica utilizados. Assim, é importante que se realizem estudos, como este, que discutam as características dos simuladores e respectivos métodos de capacitação que levam a uma aplicação bem-sucedida nesse cenário.

### 1.3 QUESTÕES DE PESQUISA

A problemática apresentada na seção anterior levanta alguns questionamentos. Por um lado, fica evidente que há uma deficiência na educação de

gestores da construção civil em relação à gestão de perdas não-físicas nos canteiros de obras. Por outro, as tecnologias do espectro da Realidade Estendida têm se destacado como alternativas promissoras em outras áreas e contextos para contribuir com capacitações em situações em que as metodologias tradicionais de ensino não se mostravam satisfatórias. Contrastando-se essas duas constatações, surge a seguinte dúvida, que dá origem a primeira Questão de Pesquisa (QP.1) investigada nesse trabalho: **existem relatos de estudos que tenham tentado desenvolver inovações em Realidade Estendida para realizar capacitações relacionadas à filosofia *Lean Construction* no que diz respeito à gestão de perdas no processo produtivo? Caso existam esses estudos, quais foram as limitações apresentadas por eles que impedem sua disseminação no setor, de modo que ainda se observe esse quadro de deficiência na educação de gestores da construção civil em relação a esse tema?**

A partir da investigação da QP.1, por meio de um mapeamento sistemático da literatura (apresentado no tópico 5.1.2 deste trabalho), notou-se que os estudos existentes são escassos e apresentam diversas limitações nas inovações desenvolvidas. Considerando essa constatação e o fato de que a literatura relata que em outras áreas a forma com que essas inovações foram desenvolvidas foi determinante para o seu sucesso em contribuir com o processo de ensino-aprendizado, questiona-se: **quais devem ser as características de uma inovação desenvolvida por meio do uso de recursos tecnológicos em Realidade Estendida para contribuir com o aprendizado de gestores sobre a identificação e gestão de perdas não-físicas no canteiro de obras?** Este questionamento, entendido como a segunda Questão de Pesquisa (QP.2) investigada nesse trabalho, é considerado a questão central que orienta essa tese.

Desse questionamento, derivam-se outras questões mais específicas, necessárias de serem investigadas para encontrar evidências que ajudem a elucidar a QP.2:

- a) **QP.3:** quais as principais perdas não-físicas identificadas pela literatura no processo produtivo da construção civil e que precisam ser ensinadas aos futuros gestores de obras para possibilitar sua identificação e gestão?
- b) **QP.4:** quais os principais desafios e benefícios relatados na literatura no uso de simulações de realidade estendida para capacitações em outras áreas?
- c) **QP.5:** quais as principais percepções dos alunos quanto às dificuldades no

aprendizado sobre a gestão de perdas do processo produtivo conforme preceitos da filosofia *Lean Construction* e quais as sugestões deles para melhorar esse processo?

#### 1.4 OBJETIVOS

Considerando as questões de pesquisa anteriormente expostas, propõe-se os seguintes objetivos, geral e específicos, apresentados nas seções a seguir.

##### 1.4.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo geral **discutir as características desejáveis para o desenvolvimento de inovações que contribuam para a capacitação de estudantes de engenharia civil em relação à identificação e gestão de perdas não-físicas em canteiros de obras da construção civil, por meio do uso de recursos tecnológicos de Realidade Estendida.**

##### 1.4.2 Objetivos Específicos

Para que esse objetivo geral seja alcançado e as questões de pesquisa propostas sejam devidamente investigadas, entende-se que é necessário atender aos seguintes objetivos específicos:

- a) Investigar a existência de estudos anteriores que tenham desenvolvido inovações em Realidade Estendida para realizar capacitações relacionadas à filosofia *Lean Construction* no que diz respeito à gestão de perdas no processo produtivo, bem com as características dessas inovações desenvolvidas;
- b) Investigar as principais classes de perdas não-físicas identificadas pela literatura no processo produtivo da construção civil e seus fatores causadores;
- c) Investigar os principais desafios e benefícios relatados na literatura no uso de simulações de realidade estendida para capacitações em outras áreas;
- d) Identificar as demandas dos estudantes de engenharia civil no processo de ensino-aprendizado sobre identificação e gestão de perdas não-físicas

- em canteiros de obras da construção civil;
- e) Desenvolver uma simulação gamificada em Realidade Estendida para capacitações sobre identificação e gestão de perdas não-físicas em canteiros de obras da construção civil.

Para facilitar a compreensão do leitor a respeito da associação entre os objetivos do trabalho e as questões de pesquisas propostas no tópico anterior, apresenta-se o Quadro 1.

**Quadro 1** – Associação entre os objetivos propostos e as questões de pesquisa do trabalho

<b>Objetivos da pesquisa</b>	<b>Questões de pesquisa associadas</b>
Objetivo geral	QP.2
Objetivo específico (a)	QP.1
Objetivo específico (b)	QP.3
Objetivo específico (c)	QP.4
Objetivo específico (d)	QP.5
Objetivo específico (e)	QP.2

**Fonte:** o autor

### 1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O presente estudo associa as temáticas de Realidade Estendida, *Lean Construction* e Educação, com o intuito de discutir as características necessárias para inovações desenvolvidas para capacitação de estudantes de engenharia civil a respeito da identificação e gestão de perdas não-físicas em canteiros de obras.

Do ponto de vista da Realidade Estendida, ressalta-se que não se postulou a necessidade de que todas as tecnologias presentes no espectro desse conceito fossem utilizadas, sendo adotadas aquelas que exerciam funcionalidades essenciais no método de capacitação proposto, no caso a Realidade Virtual e a Virtualidade Aumentada. Ademais, não se exploraram diretamente outras tecnologias do universo da Indústria 4.0 e 5.0.

Em relação à filosofia *Lean Construction*, a proposta deste estudo se restringe a explorar modos de realizar capacitações a respeito da identificação e gestão de perdas não-físicas em canteiros de obras com base nos princípios e diretrizes teóricas da filosofia. Assim, não se buscou explorar outros aspectos relacionados à

filosofia LC, como sua introdução, monitoramento e controle em subprocessos específicos do ciclo produtivo no canteiro de obras. Também não foi dado enfoque à gestão de perdas físicas, por se entender, conforme evidências da literatura, que esse tipo de perda é mais facilmente identificável no processo produtivo.

No que diz respeito à temática da Educação, o foco é dado ao ensino de futuros gestores (profissionais em formação a nível de graduação em ensino superior) de obras, por se entender que este é o momento de sua formação em que se tem maior oportunidade de impactar no seu aprendizado sobre gestão de perdas. Não faz parte do escopo desta pesquisa investigar a aplicabilidade do método e da ferramenta de capacitação desenvolvida em outros públicos, como na capacitação de profissionais a nível de pós-graduação ou de operários do canteiro de obras e demais envolvidos no processo produtivo, ainda que se reconheça que esses grupos também possam se beneficiar dos produtos técnicos e científicos resultantes desta tese.

## 1.6 ESTRUTURA DA TESE

A presente tese está estruturada em seis capítulos. O Capítulo 1 apresenta uma breve introdução sobre o tema, em que são apresentados ao leitor aspectos relacionados à relevância e ineditismo da proposta deste trabalho, bem como seus objetivos e questões que motivam a pesquisa. Nos Capítulos 2 e 3, é apresentada a fundamentação teórica do trabalho, reunindo os principais preceitos teóricos sobre as duas temáticas centrais da pesquisa: gestão de perdas na construção civil e capacitações utilizando tecnologia de realidade estendida.

No Capítulo 4, apresentam-se os procedimentos metodológicos que orientaram o trabalho, estruturados enquanto uma *Design Science Research* (DSR) e subdivididos em suas etapas principais: identificação do problema, sugestão de solução, desenvolvimento do artefato e avaliação do artefato. No Capítulo 5 são detalhados os resultados obtidos e suas conseqüentes discussões, subdivididos de forma análoga ao capítulo anterior. No Capítulo 6, apresentam-se as considerações finais do trabalho, destacando-se as suas principais contribuições ao debate científico, limitações e sugestões a pesquisas futuras sobre o tema. Ressaltam-se, ainda, os Apêndices disponibilizados ao final do trabalho, que apresentam conteúdo essencial para assegurar sua reprodutibilidade em estudos futuros.

## **2 PERDAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL SEGUNDO OS PRECEITOS DA FILOSOFIA LEAN**

A discussão sobre perdas na construção civil e como gerenciá-las é bastante recorrente no debate científico. Sob a ótica da filosofia *Lean Construction*, foi amplamente explorada, investigando-se não somente as perdas materiais, denominadas perdas físicas, mas também perdas não-físicas relacionadas à ineficiência do processo produtivo. Nesse sentido, o presente Capítulo busca apresentar ao leitor as principais informações conceituais sobre o tema, destacando-se as principais categorias e fatores que fomentam essas perdas, bem como o papel da gestão *Lean* em identificá-las e gerenciá-las.

### 2.1 A FILOSOFIA LEAN CONSTRUCTION E O CONCEITO DE PERDAS

Aplicada ao setor da construção civil, a filosofia *Lean Construction* (LC) teve suas discussões iniciadas por Koskela (1992) e posteriormente aprofundadas por Ballard e Howell (1998) e Koskela (2000). Em anos recentes, em que o segmento tem passado por significativas mudanças em diversos de seus processos, a filosofia tem ganhado atenção, de tal maneira que se espera que desempenhe papel protagonista nesse processo de transformação (Bhatnagar; Devkar, 2021; Igwe; Hammad; Nasiri, 2020; Neve *et al.*, 2022). Países como os Estados Unidos, Inglaterra e Brasil têm se mostrado líderes na implementação *Lean* no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) (Rosli; Tamyez; Zahari, 2020).

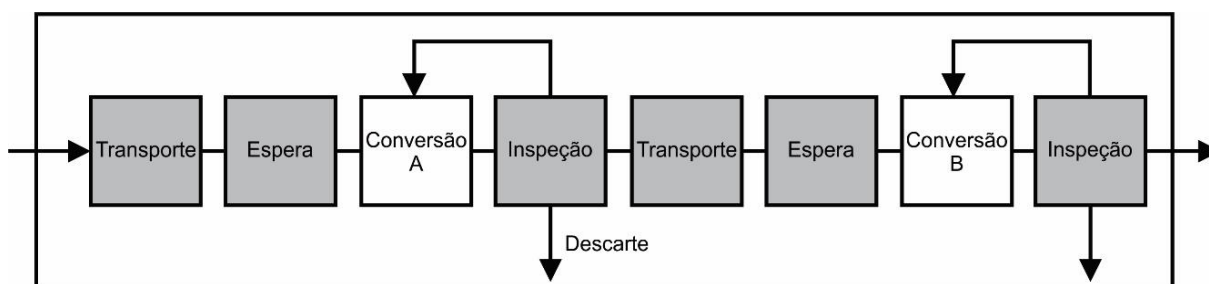
Pautada nos preceitos do Sistema Toyota® de Produção (STP), a filosofia LC entende o sistema produtivo da construção civil como uma combinação de três dimensões: Transformação, Fluxo e Valor (TFV). A teoria TFV, assim denominada, prevê uma explicação coerente da dinâmica de produção no setor, orientando que as três dimensões citadas são complementares e devem ser simultaneamente geridas e associadas para a realização de projetos bem-sucedidos (Neve *et al.*, 2022).

De forma literal, a filosofia *Lean Construction* é traduzida para o português como 'Construção Enxuta'. A expressão remete à ação de 'enxugar' o processo produtivo, de tal modo que se utilizem menos recursos (espaço de produção, mão de obra) para garantir o cumprimento dos requisitos de qualidade, custo e tempo

associados ao projeto, que atendam às expectativas do cliente e agreguem valor ao produto gerado (Bajjou; Chafi, 2018a).

Enxugar o processo não é uma tarefa fácil. Para isso, é necessário visualizar o processo como um fluxo de atividades (Figura 1), em que a matéria-prima não é somente transformada (convertida), mas também é inspecionada, transportada e estocada (Koskela, 1992).

**Figura 1** – O processo produtivo de acordo com a *Lean Construction*

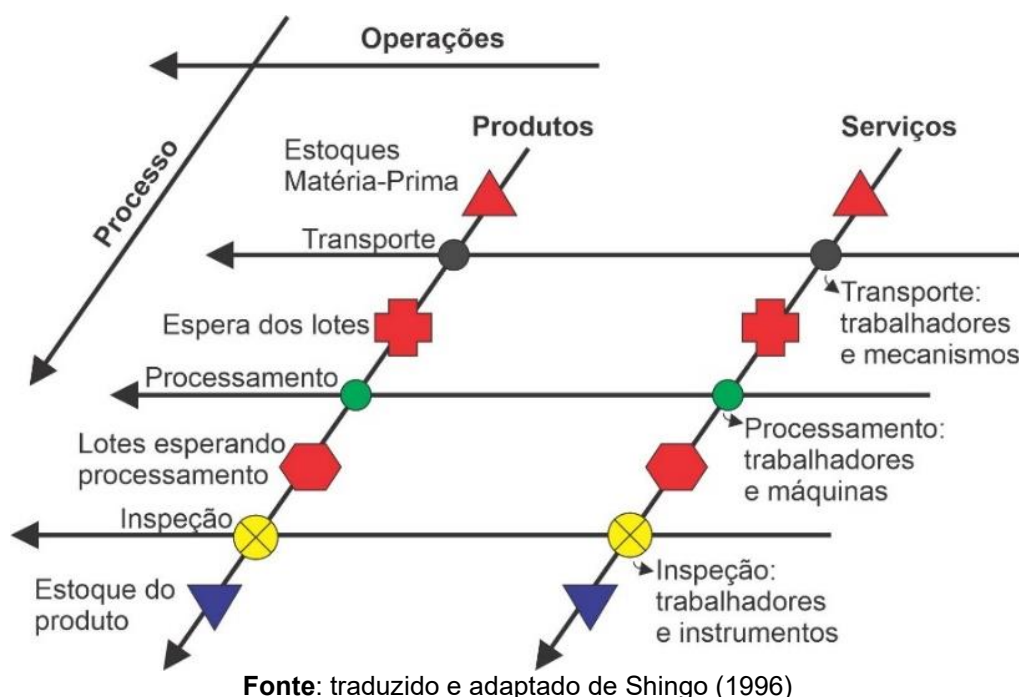


Fonte: traduzido e adaptado de Koskela (1992, p. 15)

Shingo (1996) contribui para a discussão ao apresentar o Mecanismo da Função Produção (MFP) (Figura 2). Neste, a produção é apresentada de forma similar a Koskela (1992), mas é ainda dividida entre etapas de processo e operação, independentes entre si, mas com intersecções ao longo da produção como um todo. As atividades de processo estão associadas ao fluxo do produto, desde a matéria-prima até o produto acabado ou semiacabado. Já as atividades de operação se relacionam com as ações da mão de obra e dos equipamentos para realizar suas tarefas (Shingo, 1996).

A análise dos diagramas de Koskela (1992) e de Shingo (1996) permite entender que existem etapas do processo (as transformações) que agregam valor ao produto e outras (as inspeções, esperas e transportes) que não geram valor. Para enxugar o processo, essas últimas devem ser reduzidas ou eliminadas (Koskela, 1992; Shingo, 1996). Nesse contexto, fica evidente a relação entre o conceito de perdas e os princípios da própria filosofia LC, visto que essas etapas que não agregam valor podem ser entendidas como perdas no processo produtivo, que devem ser identificadas e eliminadas ou reduzidas para melhoria de desempenho da produção (Murata *et al.*, 2018).

**Figura 2 – Mecanismo da Função Produção**



Diversos autores apresentam definições e delimitações do que se constitui uma perda no processo produtivo. Para Aka et al. (2019a, 2019b), perda é qualquer forma de atividade desnecessária no processo produtivo que pode aumentar custos de produção, mas que não agrega valor ao produto em si. De acordo Ayalew, Dakhli e Lafhaj (2018), é qualquer ineficiência que resulta no uso de recursos, como equipamentos, materiais, mão de obra ou capital em maior quantidade do que a considerada necessária para o processo produtivo. Mossman (2009) entende perda como qualquer recurso ou ação que não produz ou agrega valor para o cliente, proprietário ou usuário final do produto.

Assim, no que diz respeito às discussões apresentadas nesse trabalho, define-se **perda** como **qualquer ação que não produz ou agrega valor ao produto final, ou que resulta no uso de recursos em quantidade maior do que a necessária para agregar valor ao produto final.**

## 2.2 PERDAS FÍSICAS E NÃO-FÍSICAS

Sob a ótica da filosofia *Lean* e do ponto de vista da sua natureza, as perdas podem ser divididas em perdas físicas (como a perda de matéria-prima) e perdas não-físicas (relacionadas às atividades e processos na produção) (Fateh; Sulaiman, 2021). Essa diferenciação é importante pois é comum, entre os profissionais do

setor, que o termo 'perda' seja somente associado à sua parcela física (Ayalew; Dakhli; Lafhaj, 2018). Comparativamente às perdas físicas, as perdas não-físicas são consideradas mais difíceis de serem geridas (Igwe; Hammad; Nasiri, 2020), sendo essa uma tarefa crucial para o bom desempenho de todo o processo (Marhani *et al.*, 2021).

Já da perspectiva de valor agregado, ainda que, conforme definição anterior, de forma geral, as perdas não agreguem valor ao produto, estas também se subdividem em dois grupos: (i) derivadas de atividades que não agregam valor ao produto final (NAV) e (ii) derivadas de atividades que não agregam valor, mas que são necessárias (NAVN) (Nassri *et al.*, 2021).

As atividades NAV se assemelham à própria definição de perdas, de tal forma que são consideradas 'perdas puras'. Nesse grupo, enquadram-se ações que não agregam qualquer valor ao produto final, como espera, estoque de subprodutos intermediários (trabalho em progresso) e retrabalhos. Já as atividades NAVN não representam perdas puras, visto que são necessárias ao processo produtivo vigente. Porém, estão sendo realizadas de forma ineficiente. À guisa de exemplo, citam-se as movimentações excessivas para transporte de materiais ou equipamentos (Fateh; Sulaiman, 2021).

Em conjunto, as atividades NAV e NAVN representam uma grande parcela (90%) no processo produtivo (Bajjou; Chafi, 2018a; El Jazzar; Nassereddine, 2021; Nassereddine *et al.*, 2022). Em particular, estima-se que as atividades NAV somatizem cerca de 68% das atividades do processo de produção, e consumam 9,4% do orçamento do projeto (El Jazzar; Nassereddine, 2021).

### 2.3 CLASSIFICAÇÕES DE PERDAS NÃO-FÍSICAS

Como visto na seção anterior, as perdas na construção civil, especialmente as de natureza não-física, são frequentes e diversas, de tal forma que convém classificá-las e agrupá-las com base em características comuns. A classificação mais recorrente no meio científico foi proposta por Ohno (1988) e divide as perdas em sete categorias: superprodução, transporte, excesso de processamento, produtos defeituosos, esperas, movimentação de trabalhadores e perdas por estoques.

Contudo, a classificação proposta por Ohno (1988) não é absoluta. Nas

últimas décadas, outras categorias de perdas foram propostas na literatura, como perdas por investimento desnecessário de capital, talento inutilizado, trabalho sob condições abaixo das ideais, projeto de produtos que não atendem às necessidades dos clientes (Igwe; Nasiri; Hammad, 2021) e *making-do* (perda por improvisação) (Koskela, 2004). No Quadro 2, apresentam-se essas categorias de perdas não-físicas, associadas às obras que as citam.

**Quadro 2 – Categorias de perdas não-físicas**

Categoria	(Bajjou; Chafi, 2018b)	(Aka <i>et al.</i> , 2019b)	(Ayalew; Dakhli; Lafhaj, 2018)	(Nassri <i>et al.</i> , 2021)	(Igwe; Hammad; Nasiri, 2020)	(El Jazzar; Nassereddine, 2021)
Superprodução	X	X	X	X	X	X
Transporte	X	X	X	X	X	X
Excesso de processamento	X	X	X	X	X	X
Produtos defeituosos	X	X	X	X	X	X
Esperas	X	X	X	X	X	X
Movimentação de trabalhadores	X	X	X	X	X	X
Estoques	X	X	X	X	X	X
<i>Making-do</i> (perda por improvisação)				X	X	
Talento / Criatividade Inutilizados	X				X	
Acidentes de trabalho	X					
Pausa interrompida ou absenteísmo				X		
Trabalho Indireto				X		
Investimento desnecessário de capital					X	
Trabalho sob condições abaixo das ideais					X	
Projeto de produtos que não atendem às expectativas dos clientes					X	

Fonte: o autor

A perda por superprodução envolve o ato de se produzir uma quantidade maior do que a requerida, ou antes de ser de fato necessária, causando desperdício de materiais, uso de equipamentos ou horas de trabalho (Ayalew; Dakhli; Lafhaj, 2018). Essa perda também inclui a construção de estruturas que não serão utilizadas ou que serão destruídas em curto prazo (Bajjou; Chafi, 2018a). Trata-se, portanto, de um problema muito sério, que pode afetar diretamente o ritmo de produção (Fateh; Sulaiman, 2021).

A categoria de perda associada ao transporte está relacionada ao movimento de materiais, equipamentos, ferramentas ou produtos no canteiro de obras, geralmente associado a um *layout* de canteiro não otimizado e carência de planejamento no fluxo de materiais (Ayalew; Dakhli; Lafhaj, 2018; El Jazzar; Nasserredine, 2021; Nasserredine *et al.*, 2022). Esse movimento pode ser entre diferentes estações de trabalho, ou ainda utilizando equipamentos, como guias e elevadores cremalheira (Bajjou; Chafi, 2018b). Trata-se de uma perda, visto que a ação de deslocamento em si não agrega valor ao produto final e aumenta o tempo de ciclo, utilizando espaço, mão de obra, energia e materiais para isso (Ayalew; Dakhli; Lafhaj, 2018; Bajjou; Chafi, 2018a).

O excesso de processamento é uma perda pertinente a etapas desnecessárias no processo de transformação da matéria-prima em produto final (El Jazzar; Nasserredine, 2021). Está relacionada a transformações que são mais acuradas, complexas ou custosas do que o necessário, necessitando de trabalho adicional (considerado uma perda) para realizá-las, acrescentando custo de produção sem agregar valor ao produto final (Bajjou; Chafi, 2018b). É considerada uma das perdas mais complexas do processo produtivo, mitigada somente através da melhoria na tecnologia construtiva empregada (Ayalew; Dakhli; Lafhaj, 2018; Fateh; Sulaiman, 2021).

A perda por produtos defeituosos ocorre quando o produto final ou intermediário não atende à qualidade de especificação (Ayalew; Dakhli; Lafhaj, 2018). É considerada uma dupla fonte de geração de perdas, visto que se perde primeiramente pelo trabalho que não foi convertido em um produto adequado, e se perde novamente ao alocar recursos (material, tempo, espaço, mão de obra) para refazê-lo. Ademais, afeta negativamente a sincronização das atividades planejadas, a organização do canteiro de obras e a motivação da equipe em repetir uma atividade (Bajjou; Chafi, 2018b). Geralmente, está associada à falha nas

especificações de projeto, falta de planejamento ou qualificação da mão de obra, ou ainda problemas na integração entre projeto e execução (Ayalew; Dakhli; Lafhaj, 2018; Nassri *et al.*, 2021).

Esperas são uma das principais fontes de perdas no processo produtivo. Referem-se ao tempo ocioso devido à falta de sincronização e balanceamento no fluxo de materiais e o ritmo de trabalho da mão de obra (Ayalew; Dakhli; Lafhaj, 2018). São consideradas perdas à medida que durante esse período não ocorrem alterações no produto que possam significar geração de valor ao usuário final (Molnar, 2021). Ocorrem geralmente pela falta dos requisitos necessários para que certa atividade se desenvolva, como indisponibilidade de mão de obra, informações, ferramentas e matéria-prima, interrupções na cadeia produtiva e atingimento da capacidade máxima de produção em etapas críticas do processo (Bajjou; Chafi, 2018b; Nassri *et al.*, 2021). No sistema construtivo tradicional, a maior parte do tempo gasto no canteiro de obras se refere a perdas por esperas (Bajjou; Chafi, 2018b).

Assim como a perda de transportes, a perda associada à movimentação de trabalhadores se refere a movimentações desnecessárias ou ineficientes, nesse caso feitas pelos operários ao longo de seu trabalho (Ayalew; Dakhli; Lafhaj, 2018). Alguns exemplos são os deslocamentos para encontrar materiais ou ferramentas, para encontrar colegas ou para descarregar materiais que chegaram ao canteiro de obras (Nassri *et al.*, 2021). Essa movimentação também pode ser na forma de levantamento (de materiais ou ferramentas), flexão ou alongamento (Fateh; Sulaiman, 2021). Pode ser causada por equipamentos inadequados, métodos de trabalho ineficientes ou arranjo ineficiente do espaço de trabalho (Ayalew; Dakhli; Lafhaj, 2018). Além das consequências diretas, relacionadas à redução da produtividade do trabalhador, essa perda também pode levar ao cansaço da equipe de trabalho, contribuindo para o aumento da incidência de acidentes de trabalho e reduzindo a qualidade do que é produzido (Fateh; Sulaiman, 2021).

Associada às demais já citadas, a sétima perda elencada por Ohno (1988) está relacionada aos estoques. Trata-se de estoques excessivos ou desnecessários de recursos que não serão utilizados em curto prazo, que levam à perda de materiais por deterioração, condições inadequadas de estocagem, roubos ou vandalismos (Ayalew; Dakhli; Lafhaj, 2018). Também se refere à estocagem de produtos intermediários, aguardando para seguirem para as atividades

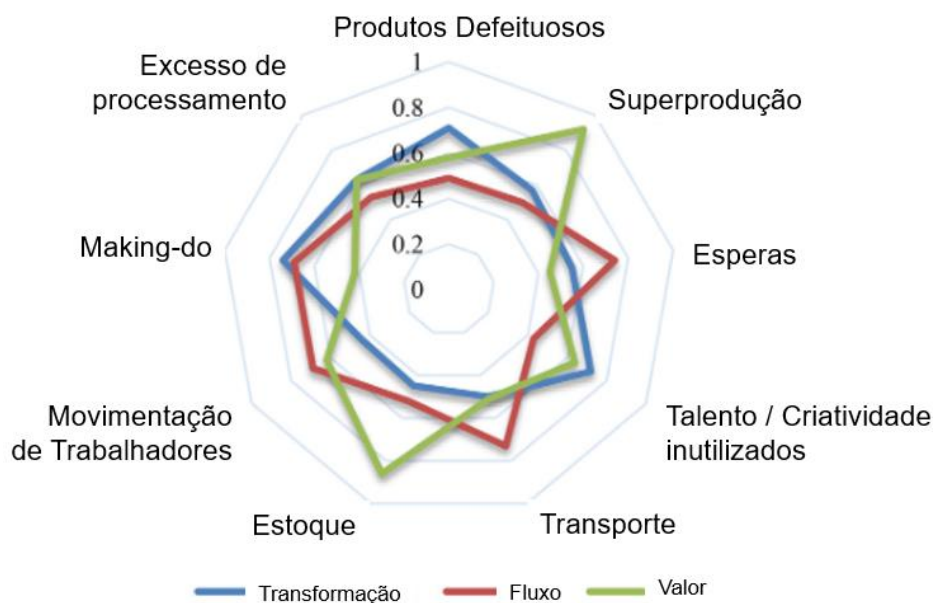
subsequentes no fluxo produtivo – denominados Trabalho em Progresso (TEP) (do inglês, *Work in Progress* – WIP) (El Jazzar; Nassereddine, 2021). Do ponto de vista financeiro, também se constituem uma perda monetária à medida que se imobiliza capital na forma de estoque (Ayalew; Dakhli; Lafhaj, 2018).

Em 2004, Lauri Koskela, considerado um dos precursores da filosofia *Lean* na construção civil, publicou um artigo denominado ‘*Making-do*: a oitava categoria de perda’ (Koskela, 2004, tradução nossa), em referência a uma continuidade das sete categorias de perdas elencadas por Ohno (1988) e apresentadas anteriormente. A perda por ‘*making-do*’, entendida como uma perda por improvisação, se refere ao desperdício relacionado ao operário iniciar uma tarefa antes que todos os seus pré-requisitos estejam cumpridos (Aka *et al.*, 2019a), ou quando a execução de uma tarefa continua ainda que algum dos recursos necessários para sua execução tenha acabado (Murata *et al.*, 2018).

Assim como o *making-do*, a perda por talento ou criatividade inutilizados é considerada como altamente influente nas perdas relacionadas à dimensão de transformação no processo produtivo (Igwe; Hammad; Nasiri, 2020). Essa perda se dá à medida que ordens são dadas pelo setor de engenharia e há pouco espaço para a iniciativa e criatividade do trabalhador, individual ou coletiva, que deve ser entendida como uma importante fonte de soluções para diversos problemas na rotina produtiva (Bajjou; Chafi, 2018a; Fateh; Sulaiman, 2021). Nesse sentido, tem-se queda de desempenho, o que representa valor negativo na produção e pode levar à perda de capital (Igwe; Hammad; Nasiri, 2020).

Para Igwe, Hammad e Nasiri (2020), as nove perdas citadas anteriormente afetam as dimensões TFV do sistema produtivo de maneiras e intensidades diferentes. Nesse sentido, os autores apresentam o diagrama de influência dessas perdas na Figura 3.

Fatalidades e acidentes recentemente passaram a ser considerados por alguns autores como uma categoria de perdas. Isso acontece porque a ocorrência desses eventos leva a uma perda de confiabilidade no processo e gera custos adicionais, relacionados a seguros, tratamentos médicos e programas de recuperação (Bajjou; Chafi, 2018b). Além disso, afeta a motivação da equipe, que pode acarretar uma perda de eficiência e desempenho no processo produtivo (Fateh; Sulaiman, 2021).

**Figura 3** – Influência das perdas nas dimensões TFV

**Fonte:** traduzido e adaptado de Igwe, Hammad e Nasiri (2020)

Nassri et al. (2021) consideram ainda ‘pausa interrompida ou absenteísmo’ e ‘trabalho indireto’ como categorias de perdas. De acordo com os autores, o absenteísmo se dá quando os trabalhadores realizam paradas de descanso (como paradas para almoço) maiores do que as devidas, ou quando interrompem seu fluxo de trabalho por razões pessoais (como para atender ligações telefônicas ou conversar com colegas). Já o trabalho indireto considera atividades necessárias para o desenvolvimento de atividades que agregam valor. Nesse sentido, assemelham-se a definição das atividades que não agregam valor, mas que são necessárias (NAVN), discutida na seção anterior, e que de fato são consideradas perdas. Os autores citam como exemplo nesse grupo a preparação do canteiro de obras, limpeza e sanitização e a desembalagem de produtos.

#### 2.4 ESTRATÉGIAS *LEAN* PARA O GERENCIAMENTO DE PERDAS

Diversas políticas, ferramentas e estratégias *Lean* foram desenvolvidas para melhorar o desempenho dos processos produtivos, com foco na identificação e redução de perdas (Aka et al., 2019b). Nesse contexto, os autores destacam, em especial:

- a) *Just-in-time* (JIT): está relacionado a produzir o que é necessário ou na quantidade necessária apenas quando será demandado seu uso no

processo produtivo;

- b) *Total Quality Management* (TQM): diz respeito a estabelecer procedimentos padronizados que devem ser seguidos na realização de qualquer atividade, a fim de assegurar resultados com a qualidade desejada;
- c) *Total Productivity Maintenance* (TPM): é uma abordagem de gerenciamento da produção baseada em estratégias preventivas (como a manutenção preventiva) que visa reduzir falhas repentinas em equipamentos que possam interromper o processo produtivo;
- d) *Kanban*: consiste em um sistema de informação usado para melhorar o controle de certa rotina produtiva. Um uso comum do *Kanban* é especificar a quantidade necessária de certo recurso que será utilizada pelo processo seguinte, de modo que no processo antecedente se produza exatamente essa mesma quantidade;
- e) Política 5S: é uma estratégia com vistas à organização eficiente do local de trabalho, baseada em cinco sentidos: utilização (*seiri*), organização (*seiton*), limpeza (*seiso*), saúde e padronização (*seiketsu*) e disciplina (*shitsuke*);
- f) *Value Stream Mapping* (VSM): é uma ferramenta que permite analisar e aprimorar fluxos no contexto do processo produtivo. Para isso, mapeia-se o processo como um todo, identificando as etapas que agregam e que não agregam valor em todo o ciclo.

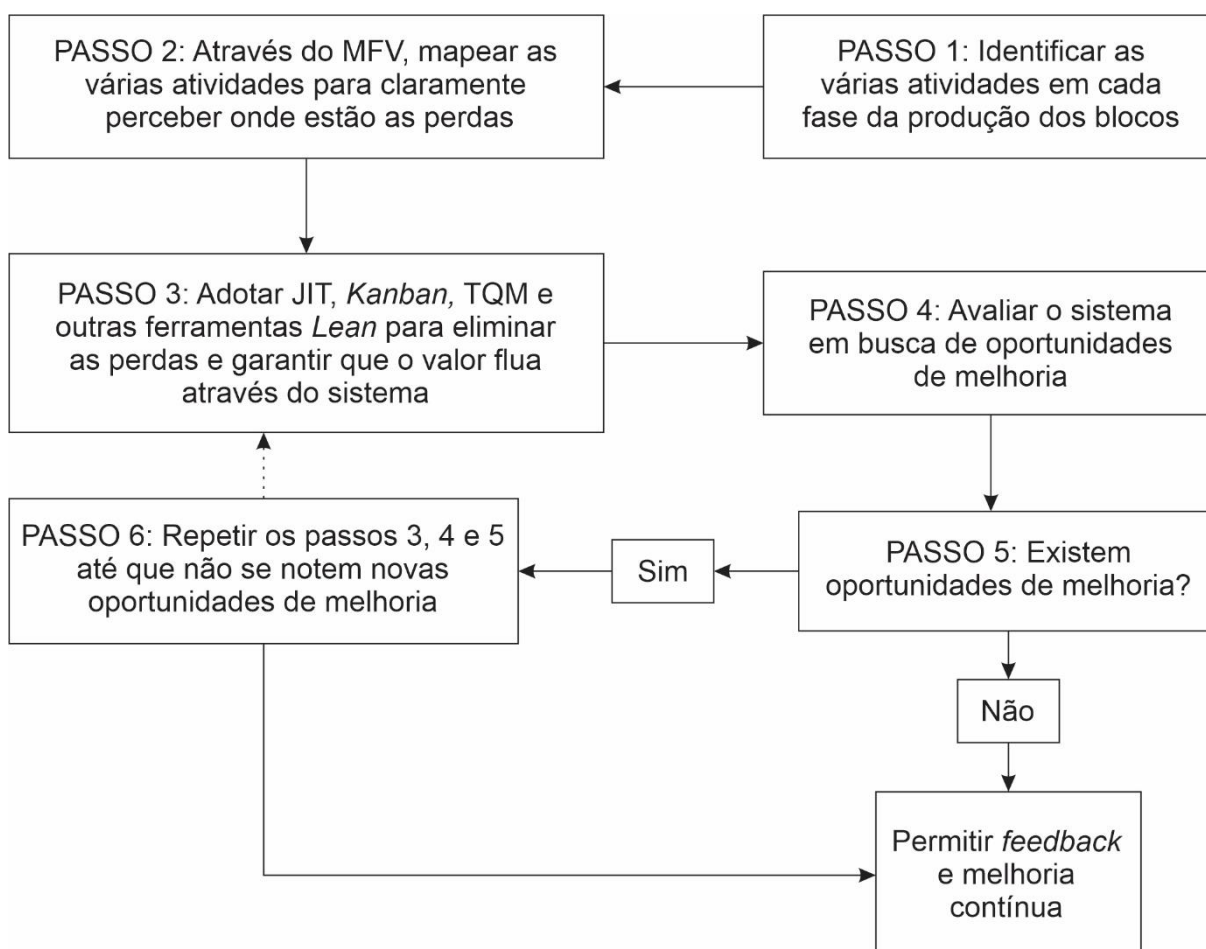
Essa última estratégia é particularmente interessante no contexto de identificação de perdas no processo produtivo. Também conhecida pela expressão em português Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV), trata-se de um recurso com implementação prática, resiliente e inovadora, que pode desempenhar um papel crítico na gestão de perdas do processo produtivo e no gerenciamento da produção como um todo (Schoeman; Oberholster; Somerset, 2020).

O VSM/MFV consiste em algumas etapas. Inicialmente, é necessário definir o escopo do que será analisado e identificar, por meio de sua representação em diagramas e fluxogramas, qual é a situação atual do processo escolhido para análise. Nessa análise, deve-se identificar claramente as atividades que não agregam valor ao processo. Em seguida, é necessário estabelecer um plano futuro

da situação desejada para que aquele mesmo processo aconteça, eliminando atividades NAV e NAVN (Aka *et al.*, 2019a; Schoeman; Oberholster; Somerset, 2020).

A fim de exemplificar de que modo essas ferramentas *Lean* se relacionam de forma sistêmica na gestão e redução de perdas, Aka *et al.* (2019a) desenvolveram o fluxograma apresentado na Figura 4. Ressalta-se que o estudo desenvolvido pelos autores que resultou no desenvolvimento desse fluxograma estava relacionado à produção de blocos, mas pode ser adaptado a outros processos produtivos.

**Figura 4** – Fluxograma de ferramentas *Lean* para a redução de perdas na produção de blocos



**Fonte:** traduzido e adaptado de Aka *et al.* (2019a, p.12).

## 2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Em vista do exposto no presente Capítulo, nota-se que a temática da gestão de perdas na construção civil é um desafio notável do setor, sendo que a adequada

compreensão do tema para a sua devida gestão no processo produtivo requer sensível atenção para suas particularidades e complexidades. Nesse contexto, a filosofia *Lean Construction* apresenta recursos essenciais para a identificação e caracterização dessas perdas. Ademais, o aprofundamento da literatura sobre o tema em anos recentes, distinguindo outras categorias de perdas além das sete categoriais clássicas propostas por Ohno (1988), bem como apresentando ferramentas para contribuir com a sua gestão, evidencia a atualidade do debate científico sobre o assunto e a necessidade de novos estudos e contribuições.

### 3 REALIDADE ESTENDIDA APLICADA A CAPACITAÇÕES E TREINAMENTOS

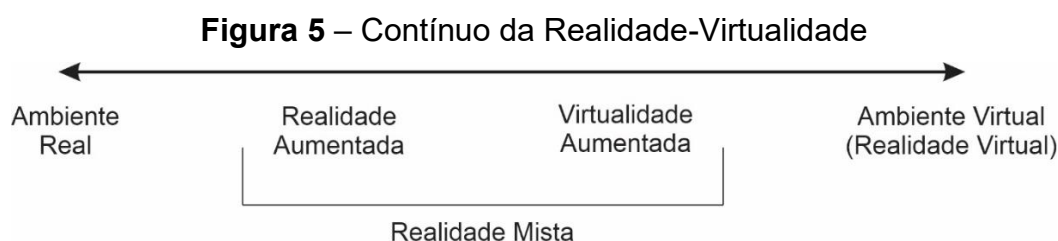
Em anos recentes, o amadurecimento das tecnologias presentes no conceito globalizador da Realidade Estendida fomentou inovações no campo de capacitações e treinamentos em diversas áreas do conhecimento. Essas tecnologias, em especial a Realidade Virtual, têm potencial para tornar o processo de ensino-aprendizado mais eficiente. Contudo, é necessário profundo planejamento e reflexão para o desenvolvimento de simulações usando as tecnologias para este fim, visto que, se usadas de forma inadequada, não geram o resultado pretendido.

A seguir, apresenta-se ao leitor uma reflexão acerca do uso do espectro de tecnologias contidas no conceito de Realidade Estendida aplicadas a capacitações e treinamentos, com foco nas principais terminologias empregadas, aplicações recentes, benefícios e diretrizes para o desenvolvimento de simulações utilizadas nesse contexto. É importante ressaltar que o presente Capítulo não tem a pretensão de esgotar as discussões sobre o tema, mas apresentar ao leitor um recorte de informações relevantes e necessárias para a compreensão deste trabalho.

#### 3.1 TERMINOLOGIAS E DEFINIÇÕES BÁSICAS

Com o advento do fenômeno das Indústrias 4.0 e 5.0, diversas tecnologias relacionadas ao enriquecimento da visão e outros sentidos ganharam destaque. Em especial, destacam-se os conceitos de Realidade Virtual (RV), Realidade Aumentada (RA), Virtualidade Aumentada (VA), Realidade Mista (RM) e Realidade Estendida (RE). Contudo, haja vista a pluralidade de terminologias similares, há muita confusão a respeito das suas definições.

Essa discussão sobre as delimitações de cada tecnologia não é recente. Uma das reflexões mais aceitas pelo meio científico foi proposta por Milgram *et al.* (1994) e é apresentada na Figura 5.

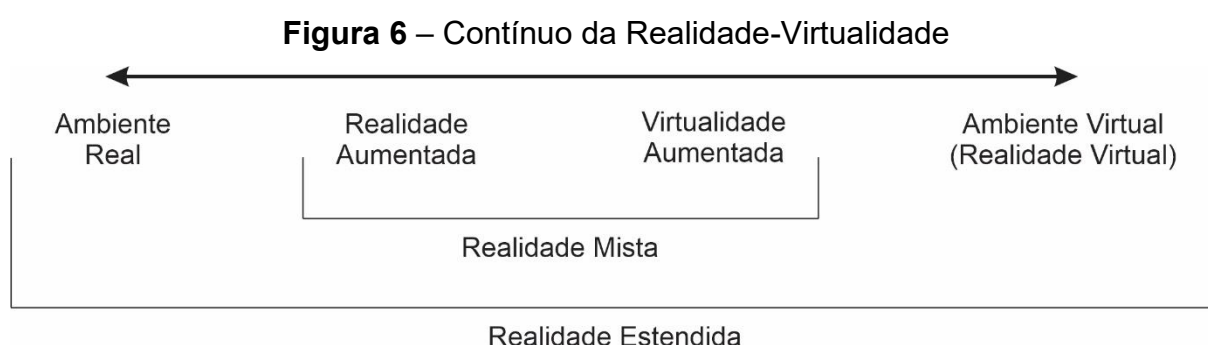


**Fonte:** traduzido e adaptado de Milgram *et al.* (1994, p. 283).

A proposição de Milgram *et al.* (1994), que ficou conhecida como Contínuo da Realidade-Virtualidade, considera que essas tecnologias estão intimamente relacionadas, de tal forma que não é possível estabelecer um limite claro entre elas. Assim, tem-se, em um dos extremos do contínuo o Ambiente Virtual, em que opera a Realidade Virtual (do inglês, *Virtual Reality*, VR), exclusivamente composta por elementos e cenários virtuais. À medida que se misturam elementos reais nessa composição, mas ainda com predomínio de elementos virtuais, tem-se a Virtualidade Aumentada (do inglês *Augmented Virtuality*, AV). Conforme o predomínio passa a ser de elementos reais, a tecnologia passa a ser denominada Realidade Aumentada (do inglês, *Augmented Reality*, AR), até que se chega no outro extremo do contínuo, em que se tem o Ambiente Real, sem a intervenção de tais tecnologias (Milgram *et al.*, 1994).

Nesse contexto, define-se ainda o conceito de Realidade Mista (do inglês, *Mixed Reality*, MR) que engloba qualquer situação em que elementos reais e virtuais são apresentados em conjunto. Em outras palavras, na Realidade Mista estão contidos os conceitos de Realidade Aumentada, Virtualidade Aumentada e qualquer outra tecnologia que esteja entre os dois extremos do contínuo da Realidade-Virtualidade (Milgram *et al.*, 1994).

Nas últimas décadas, o *continuum* proposto por Milgram *et al.* (1994) passou por modificações, sugeridas e disseminadas em outros estudos. Uma das principais modificações foi a inclusão do conceito globalizador da Realidade Estendida (RE – do inglês *Extended Reality*, XR), conforme apresentado na Figura 6.



**Fonte:** traduzido e adaptado de Mealy (2018, p. 14).

A Realidade Estendida, portanto, refere-se a um conceito ainda mais genérico do que a Realidade Mista, visto que engloba todo o espectro de tecnologias apresentadas anteriormente (Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Virtualidade

Aumentada e qualquer outra presente no contínuo) (Mealy, 2018).

Apesar de o Contínuo da Realidade-Virtualidade apresentar interrelações claras entre as tecnologias, há ainda muita confusão sobre os limites entre elas. É bastante comum por exemplo, que os termos “Realidade Mista” e “Realidade Aumentada” sejam tratados como sinônimos, sem que se faça a distinção de aplicações que, tecnicamente, seriam melhor definidas como “Virtualidade Aumentada”, conforme conceito apresentado anteriormente. Analogamente, é frequente o uso da terminologia “Realidade Virtual” para se referir a aplicações que utilizem mais de uma das tecnologias presentes no contínuo (portanto, tratando-se tecnicamente de uma aplicação de Realidade Estendida) (Mealy, 2018).

Em vista do exposto, neste trabalho, utiliza-se a terminologia de “Realidade Estendida” para se referir à ferramenta desenvolvida e que será apresentada nos Capítulos 4 e 5 visto que, tecnicamente, faz-se uso de Realidade Virtual e Virtualidade Aumentada para o seu desenvolvimento e aplicação. Contudo, reconhece-se o papel central e estruturante que a tecnologia de Realidade Virtual, em especial, exerce em sua composição, de tal forma que as seguintes reflexões apresentadas nesse Capítulo têm ênfase nessa tecnologia em particular.

### 3.1.1 Imersão, Presença, Interação e Fidelidade

Ao se virtualizar (parcialmente ou totalmente) o ambiente real, tem-se a criação de um ambiente sintético tridimensional, do qual os usuários se tornam participantes e passam a interagir como se estivessem no mundo real (Alcañiz; Parra; Giglioli, 2018; Huang; Roscoe, 2021). Esse fenômeno é mais nítido especialmente na tecnologia de Realidade Virtual, que mimetiza sensações dos usuários como ver, ouvir e tocar (Fracaro *et al.*, 2021). Nesse contexto, é comum a utilização de termos como imersão, presença, interação e fidelidade.

**Imersão** se refere a um atributo técnico do dispositivo sendo utilizado, definida como a capacidade desse dispositivo de compelir os usuários a uma sensação de estar e poder interagir com aquele ambiente sendo simulado (Grassini; Laumann; Skogstad, 2020; Leder *et al.*, 2019). Ressalta-se, no entanto, que esse atributo não é, necessariamente, dependente do nível de desenvolvimento tecnológico do dispositivo sendo utilizado.

Por exemplo, ao ler um livro interessante, é possível se sentir imerso na

história e imaginá-la acontecendo. Mesmo que o leitor saiba que se trata de uma ficção, ele recria a cena em sua mente (Fracaro *et al.*, 2021). Esse exemplo evidencia um aspecto mais subjetivo e psicológico da definição de imersão, contestada por alguns autores (Radianti *et al.*, 2020). Também é apresentada como imersão simbólica, como quando o usuário de uma simulação RV de uma montanha-russa em movimento se sente com medo ou quando certa simulação gera empatia do usuário pelo que está acontecendo na experiência (Bower; DeWitt; Lai, 2020; Calvert; Abadia, 2020).

**Presença**, por sua vez, refere-se à percepção humana e subjetiva da experiência virtual, isto é, a reação humana à imersão (Grassini; Laumann; Skogstad, 2020). Nesse sentido, é comum se referir ao senso de presença como sendo a sensação de estar naquele local ou ambiente, mesmo que, fisicamente, esteja-se em outro (Radianti *et al.*, 2020). A sensação de presença é aumentada à medida que se atendem certas condições. É necessário um *feedback* em tempo real das consequências geradas na simulação a partir das ações tomadas pelo usuário. Além disso, os recursos audiovisuais na simulação devem funcionar como o usuário normalmente esperaria se aquela situação ocorresse em um ambiente totalmente real. Por fim, a resposta dos agentes e elementos virtuais deve ser apropriada às ações e atividades do usuário (Calvert; Abadia, 2020).

**Fidelidade** diz respeito à capacidade da simulação de reproduzir o ambiente real que ela tem como base. Diferencia-se, nesse sentido, a fidelidade física e a psicológica. No caso da primeira, o ambiente deve fisicamente se parecer com o ambiente real de referência. Já na fidelidade psicológica, ainda que os ambientes não sejam parecidos, devem reproduzir processos cognitivos similares (Howard; Gutworth; Jacobs, 2021). Por fim, a **interatividade** está relacionada ao grau com que o usuário pode modificar o ambiente virtual ao seu redor em tempo real (Radianti *et al.*, 2020).

### 3.2 DISPOSITIVOS E TECNOLOGIAS

Dentre as tecnologias presentes no espectro da Realidade Estendida, a Realidade Virtual é aquela que mais se destaca pela especificidade e singularidade dos dispositivos utilizados. Existem dois componentes principais que precisam ser considerados em um sistema RV: os dispositivos utilizados para visualizar o

ambiente virtual (conhecidos como *display hardware*) e os aparelhos usados para interagir com a simulação (denominados *input hardware*) (Howard; Gutworth; Jacobs, 2021).

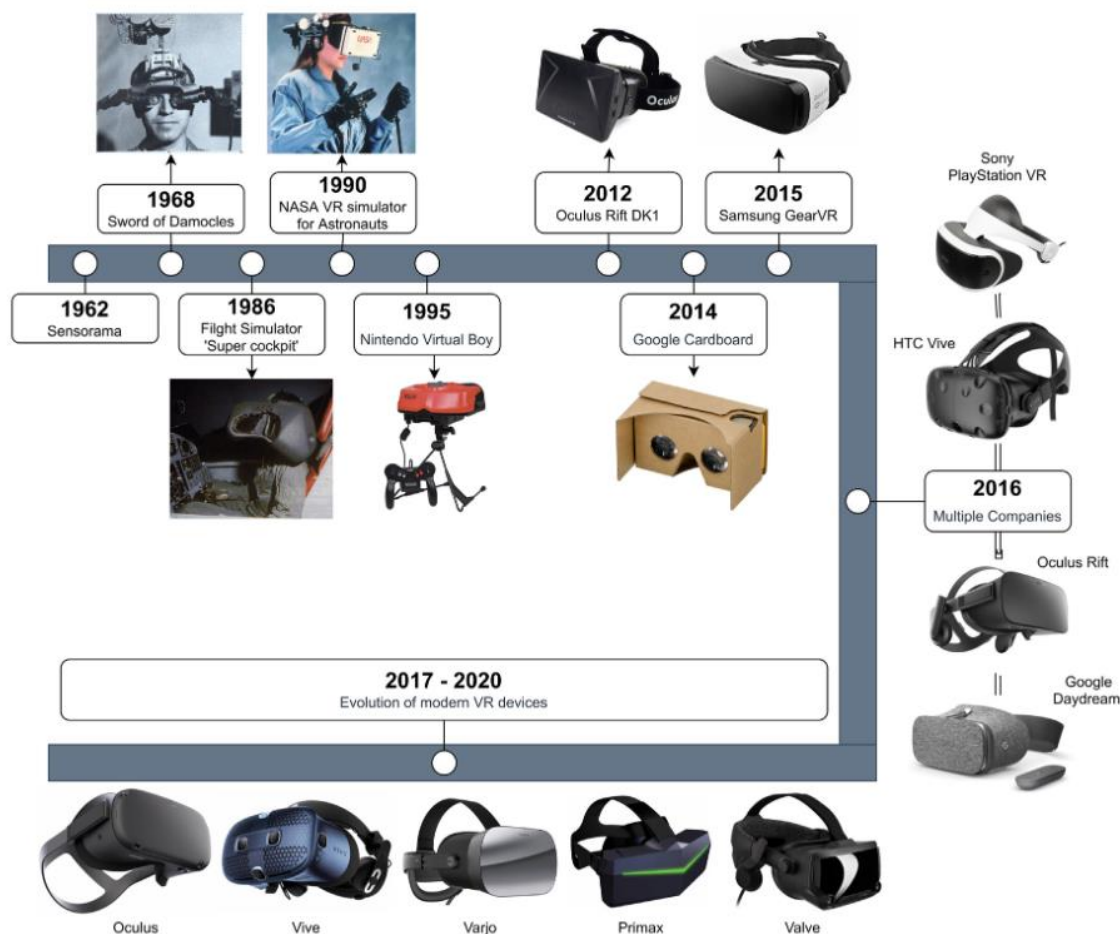
A tecnologia mais comum de *display hardware* utilizada são os monitores de computador. Trata-se, no entanto, de um dispositivo com baixa imersão. Por essa razão, ganharam destaque nesse contexto os *Head-Mounted Displays* (HMDs), dispositivos similares a capacetes que possuem um visor que exibe a simulação de modo a cobrir toda a visão de quem o utiliza, provendo maior imersão. Também existem as *Cave Automatic Virtual Environments* (CAVEs), salas preparadas com projetores que exibem a simulação virtual em todo o ambiente, também garantindo maior imersão (Howard; Gutworth; Jacobs, 2021).

Haja vista que as CAVEs exigem grande investimento para serem empregadas, os HMDs se tornaram os dispositivos mais populares para exibição das simulações RV (Howard; Gutworth; Jacobs, 2021). No decorrer das últimas décadas, os HMDs passaram por grandes evoluções, conforme apresentado na Figura 7.

Na gama de dispositivos apresentados na Figura 7, destacam-se aqueles projetados para uso associado a um celular, como o Google Cardboard®, em que o *smartphone*, inserido no dispositivo, atua como visor da simulação. São dispositivos bastantes acessíveis em termos financeiros, mas possuem apenas funções básicas e limitadas (Baxter; Hainey, 2019).

Em anos recentes, surgiram os HMDs que possuem sistema operacional e visor próprios, caracterizados por grande imersão. Nesse grupo, destaca-se o Oculus Quest®, rebatizado de Meta Quest®, atualmente de propriedade da Meta Inc®, empresa dona de diversas outras plataformas mundialmente conhecidas, como Facebook®, Instagram® e WhatsApp® (Ogrizović; Hadžić; Jardas, 2021). Esses dispositivos garantem grande qualidade de imagem e possuem seis graus de liberdade (do inglês, *Degrees of Freedom*, DOF), possibilitando que a imagem se movimente em diferentes direções. Além disso, podem ser conectados a computadores para que esse dispositivo seja o responsável pelo processamento gráfico, garantindo ainda melhor qualidade na simulação (Bower; DeWitt; Lai, 2020).

**Figura 7 – Evolução dos *Head Mounted Displays* (HMDs)**



Fonte: Fracaro et al. (2021, p. 15).

Em relação aos dispositivos do tipo *input hardware* utilizados atualmente, o mais comum é o uso de teclado e *mouse*, ainda que *gamepads* (controles comumente usados em videogames) também sejam frequentes (Howard; Gutworth; Jacobs, 2021). Além disso, os HMDs da atualidade, como o Meta Quest®, comumente trazem em conjunto dispositivos de controle manuais e sistemas de rastreamento de corpo que funcionam como *input hardware*, provendo maior autonomia dos usuários para navegar e interagir com o ambiente virtual (Baxter; Hailey, 2019; Bower; DeWitt; Lai, 2020).

As demais tecnologias no escopo da Realidade Estendida geralmente utilizam dispositivos menos específicos e já presentes no cotidiano dos usuários. A Realidade Mista, seja ela tecnicamente Realidade Aumentada ou Virtualidade Aumentada, geralmente é exibida por meio das telas e câmeras de *smartphones* e *tablets*, que misturam real e virtual para a exibição do conteúdo. Também é comum o uso de telas verdes que se utilizam da tecnologia de *Chroma Key®* para recortar a

silhueta real do usuário e transportá-la para o cenário virtual (Mealy, 2018).

Como discutido anteriormente, a capacidade de imersão proporcionada pelas simulações de Realidade Estendida está intrinsecamente relacionada aos dispositivos (*display* e *input hardware*) utilizados para gerá-la. Assim, dependendo do dispositivo utilizado, as simulações podem ser classificadas em (i) não imersivas, (ii) semi-imersivas e (iii) imersivas (Ogrizović; Hadžić; Jardas, 2021).

As simulações não imersivas geralmente utilizam monitores de computadores, em que o usuário manipula de forma indireta a simulação, utilizando para isso dispositivos como teclado, *mouse* e *gamepad*. No caso de simulações semi-imersivas, tem-se ferramentas que permitem ao usuário voar, dirigir ou exercer atividade similar em monitores que cobrem uma área maior do seu campo de visão ou em simulações projetadas nas paredes – é o caso das CAVEs. Finalmente, as simulações imersivas são aquelas que preenchem completamente o campo de visão do usuário, geralmente por meio do uso dos HMDs (Ogrizović; Hadžić; Jardas, 2021).

### 3.3 APLICAÇÕES RECENTES DE SIMULAÇÕES XR/VR EM CAPACITAÇÕES E TREINAMENTOS

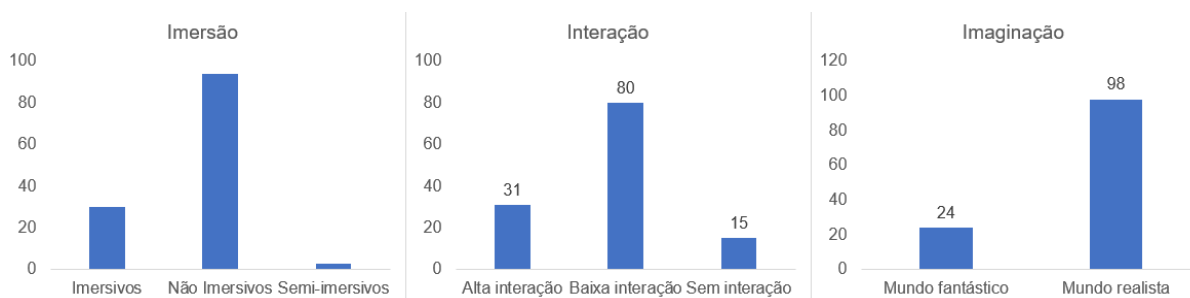
Especialmente no campo de capacitações e treinamentos, as simulações em Realidade Estendida e Realidade Virtual têm sido adotadas para contribuir com o processo de ensino-aprendizado em diferentes áreas do conhecimento (Abich *et al.*, 2021). Em um levantamento a respeito de aplicações científicas publicadas nesse contexto, Abich *et al.* (2021) identificaram que a maioria (57,1%) dos estudos se referiam a treinamentos na área Médica/Cirúrgica, enquanto 23,8% estavam relacionados a treinamentos de Segurança, 9,5% na área da Educação e os demais 9,5% no segmento da Indústria.

A prevalência de aplicações nas áreas médica e de segurança também é discutida por outros autores. Luo *et al.* (2021) destacam que a falta de treinamento, altos custos e a usabilidade dos dispositivos podem dificultar a disseminação do uso dessas ferramentas na Educação, mas que, à medida que a tecnologia vem se desenvolvendo e se tornando mais acessível, essas limitações anteriores tendem a serem dissolvidas.

Em relação às capacidades de imersão, interação e imaginação das aplicações XR/VR já desenvolvidas, o levantamento realizado por Luo *et al.* (2021)

revelou que a maioria das simulações são não-imersivas, com baixa capacidade de imersão e baseadas em um mundo realista, conforme apresentado na Figura 8.

**Figura 8** – Características das simulações XR/VR já desenvolvidas para treinamentos



**Fonte:** traduzido e adaptado de Luo et al. (2021, p. 894).

Em particular, as aplicações de XR/VR já realizadas na área Médica e Cirúrgica revelaram uma melhora de desempenho dos treinandos a partir do uso da tecnologia, apresentando maior agilidade ao completar tarefas, menos danos aos tecidos e menor quantidade de movimentos desnecessários (Abich *et al.*, 2021). A partir da simulação, é possível criar um ambiente de forma realista, expondo o treinando a uma situação controlada em que o estresse e a pressão com a situação aumentam de forma progressiva, sem expor qualquer paciente ao risco (Naranjo *et al.*, 2020).

Na área da Segurança, a criação de simulações realistas e imersivas possibilita experiências significativas e contextuais que facilitam o engajamento e a motivação com o aprendizado, bem como a retenção do conhecimento e habilidades adquiridas. Além disso, a possibilidade de repetir práticas e situações, explorar de forma segura situações perigosas e prover *feedback* imediato ao treinando a partir das suas ações se mostram como grandes vantagens (Abich *et al.*, 2021; Lucena; Saffaro, 2020; Makransky; Klingenberg, 2022).

No segmento Industrial, o uso de simulações XR/VR nos treinamentos tem potencial para diminuir erros na realização de tarefas e no tempo para executá-las. O treinamento de montagem de componentes, em geral, é bastante frequente, visto que a tecnologia provê um ambiente sem riscos para o aprendizado, em que o usuário pode interagir de forma intuitiva com os componentes digitais (Abich *et al.*, 2021; Abidi *et al.*, 2019).

As aplicações no setor da Educação, especialmente no Ensino Superior,

referem-se principalmente ao ensino de conhecimento procedural/prático, como preencher um relatório ou extinguir incêndios, além de conhecimento declarativo, como aprender os nomes dos planetas e conceitos teóricos de pneumática. Além disso, também se evidenciam ferramentas para fomentar habilidades de análise e resolução de problemas, como diagnosticar pacientes ou aprender a programar (Radianti *et al.*, 2020).

### 3.4 BENEFÍCIOS DE SIMULAÇÕES XR/VR PARA CAPACITAÇÕES E TREINAMENTOS

Como visto na seção anterior, diversos estudos realizados nas últimas décadas concluíram que as tecnologias XR/VR são eficazes, fáceis de usar, seguras, e contribuem para capacitações e treinamentos em diferentes campos, como saúde, segurança, educação e indústria (Alcañiz; Parra; Giglioli, 2018). Nessa seção, busca-se detalhar e aprofundar essa discussão a respeito dos benefícios do uso de tais tecnologias para capacitações e treinamentos de uma forma geral, sem foco ou distinção em um campo de aplicação em específico.

Uma das principais características benéficas das simulações XR/VR que é frequentemente destacada no debate científico diz respeito à capacidade do treinando de realizar repetições do processo de capacitação ou treinamento de forma ágil e fácil. Isso possibilita elevar a eficiência e a eficácia do aprendizado sem incorrer em grandes custos devido ao consumo de recursos, além de preservar um ambiente de treinamento seguro, eliminando potenciais erros e perigos de configuração e implementação impróprias (Paszkievicz *et al.*, 2021).

A capacidade de levar o treinando a um ambiente tridimensional e virtual de aprendizagem possibilita um treinamento de natureza experiencial ou situacional (Paszkievicz *et al.*, 2021). Nesse sentido, ao invés de “aprender vendo, ouvindo ou observando” o treinando pode “aprender fazendo” – uma modalidade de aprendizado que enfatiza o protagonismo da experiência no processo de ensino-aprendizado e que se mostra mais próxima da forma natural com que os indivíduos, especialmente os adultos, aprendem e se desenvolvem (Abidi *et al.*, 2019; Ahmed, 2019; Paszkievicz *et al.*, 2021). No aprendizado experiencial, o treinando pode realizar, compreender e transformar experiências, o que possibilita entender quais comportamentos e ações levam a erros e quais as consequências desses erros (Howard; Gutworth; Jacobs, 2021).

Além de possibilitar o aprendizado situacional, as simulações XR/VR também permitem o aprendizado à distância ou a ambientes inacessíveis. Nesse sentido, rompem-se barreiras geográficas e demográficas, tornando o processo de ensino-aprendizado mais democrático e acessível. Ademais, ao mitigar a necessidade de grande quantidade de equipamentos especializados e requisitos de espaço físico, tem-se uma modalidade de capacitação e treinamento de melhor custo-benefício do que metodologias tradicionais, e que se mostra mais compatível com as premissas do desenvolvimento sustentável (Goulding *et al.*, 2012; Grassini; Laumann; Skogstad, 2020; Lege; Bonner, 2020; Paszkiewicz *et al.*, 2021).

É, contudo, principalmente na esfera pedagógica que as simulações XR/VR se destacam em relação às metodologias tradicionais. De forma geral, os estudos evidenciam benefícios para habilidades cognitivas (lembrar e entender, por exemplo), além das psicomotoras (visuais e observacionais) e afetivas (relacionadas ao controle emocional) (Lanzo *et al.*, 2020).

Na perspectiva de processos cognitivos, Paszkiewicz *et al.* (2021) explicam que esses processos podem ser analisados em termos mais específicos ou mais amplos. O primeiro caso se refere a funções cerebrais que permitem o processamento de informações no sistema nervoso humano, envolvendo receber, armazenar, transformar e transferir informações recebidas para a situação. O segundo caso trata de um processo pós-cognitivo de criar, construir e modificar conhecimento sobre a situação. Segundo os autores, é possível concluir que as simulações XR/VR possuem potencial de aperfeiçoar ambos os tipos de processos cognitivos.

De fato, a literatura relata benefícios observados tanto para a aquisição de conhecimento quanto para a retenção deste. Em relação à aquisição de conhecimento gerada, existe grande debate no meio científico. Para Abich *et al.* (2021), a tecnologia apresenta contribuições, porém, não está claro se essas contribuições são maiores do que um treinamento por meio de slides de PowerPoint®, por exemplo, ou ainda, se dependem do contexto de utilização. Por outro lado, quando comparada a treinamentos orais ministrados por instrutores (sem o uso de recursos audiovisuais adicionais) ou em simulações computacionais simples, a conclusão mais comum é que as simulações XR/VR geram maior e mais rápida aquisição de conhecimento (Abich *et al.*, 2021).

A retenção de conhecimento também parece ser uma conclusão consensual

entre os estudos do meio científico. Abich *et al.* (2021) citam que três avaliações independentes levantadas pelos autores concluíram que treinamentos XR/VR geravam maior retenção de conhecimento imediatamente após o treinamento, bem como uma semana e duas semanas depois deste (Abich *et al.*, 2021). Acredita-se que isso se deve primordialmente ao fato de que as simulações XR/VR oferecem estímulos visuais, auditivos e cinestésicos, adaptando-se a diversos tipos de treinandos. Essa característica também contribui para o desenvolvimento de outras habilidades cognitivas, relacionadas à compreensão de termos e teorias complexas, ou ainda o desenvolvimento de comunicação, criatividade e pensamento crítico (Ahmed, 2019; Baxter; Hainey, 2019).

Entretanto, de acordo com Howard, Gutworth e Jacobs (2021), não há consenso no meio científico se as simulações XR/VR são potencialmente úteis somente para o treinamento de informações complexas ou se são também válidas para capacitações que envolvam conhecimentos mais diretos e objetivos. Dessa forma, os autores sugerem que os limites das simulações XR/VR devem ser mais bem discutidos e testados em pesquisas futuras.

Em relação às habilidades afetivas e comportamentais, as simulações XR/VR criam ambientes virtuais que transportam comportamentos, atitudes e crenças do treinando do mundo real para o virtual, de forma espontânea e inconsciente. Em decorrência disso, emoções e sentimentos como ansiedade, medos e preocupações vivenciados na simulação se assemelham fortemente àqueles experimentados no mundo real (Alcañiz; Parra; Giglioli, 2018; Patle *et al.*, 2019).

Esse tipo de experiência fomenta reações comportamentais e afetivas como empatia, motivação e engajamento. A empatia se evidencia principalmente à medida que a simulação permite não somente que os usuários visitem novos cenários, mas também que se coloquem e assumam papéis de outras pessoas (Lege; Bonner, 2020). A motivação surge ao passo que, devido à imersão e à transferência de sensações para o ambiente virtual, a experiência se torna excitante e interessante. Conseqüentemente, o treinando direciona seu foco a ela e aloca maior quantidade de recursos mentais para o aprendizado, engajando-se nesse processo (Baceviciute *et al.*, 2022; Bower; DeWitt; Lai, 2020; Howard; Gutworth; Jacobs, 2021; Lege; Bonner, 2020).

Finalmente, em relação aos benefícios às habilidades psicomotoras, a literatura destaca principalmente os ganhos relacionados às habilidades e memória

espaciais. As simulações XR/VR transportam seus usuários para o ambiente virtual e possibilitam sua movimentação e interação com aquele ambiente de forma bastante livre. Assim, é possível visualizar objetos e cenas múltiplas vezes de diferentes perspectivas e formas, o que pode aumentar a retenção de informações sobre a cena e seus objetos (Lege; Bonner, 2020).

As habilidades espaciais são definidas como a capacidade de se orientar no espaço ou estabelecer relações entre objetos e elementos presentes neste. Acredita-se que as simulações XR/VR geram grandes melhorias de desempenho em treinamentos focados em tais habilidades espaciais. À guisa de exemplo, citam-se treinamentos realizados com bombeiros, em que o grupo que visualizou a planta do local do incêndio em questão via Realidade Virtual apresentou menor tempo de resgate e erros de navegação do que o grupo que não visualizou a planta (Abich *et al.*, 2021).

### 3.5 DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO DE SIMULAÇÕES XR/VR PARA CAPACITAÇÕES E TREINAMENTOS

Apesar dos múltiplos benefícios constatados no uso de simulações XR/VR para capacitações e treinamentos, seu uso deve ser feito de forma planejada e cuidadosa. Além das questões técnicas sobre o custo e usabilidade dos dispositivos, aspectos como distração, excesso de uso e falta de familiaridade com a tecnologia podem afetar a eficiência do processo de ensino-aprendizagem (Bower; DeWitt; Lai, 2020). Nesse sentido, diversos autores, baseados nas experiências de estudos anteriores, estabeleceram diretrizes para o desenvolvimento de tais simulações.

Um aspecto bastante discutido nesse contexto é o tempo de treinamento. É bastante comum a mensuração do tempo de treinamento como um parâmetro para determinar a eficiência da capacitação, assumindo-se que tempos de treino menores são preferíveis (Abich *et al.*, 2021). Em treinamentos XR/VR, no entanto, o treinando costuma necessitar de mais tempo do que em treinamentos convencionais (Abich *et al.*, 2021; Abidi *et al.*, 2019), mas isso não necessariamente é algo ruim.

O maior tempo empregado se deve provavelmente ao fato de que o treinando possui liberdade para explorar o mundo virtual e progredir no seu próprio ritmo (Bower; DeWitt; Lai, 2020). Além disso, reflete a habilidade do treinando de praticar, reiniciar o treinamento e realizar interações no ambiente virtual, aspectos

potencialmente benéficos ao processo de ensino-aprendizado. Assim, o tempo de treino, se analisado de forma unilateral, não parece ser suficiente para inferir conclusões sobre a eficiência do treinamento (Abich *et al.*, 2021).

Outro aspecto que parece influir no tempo de treinamento está relacionado à familiarização do usuário com a tecnologia e com o ambiente virtual (Fracaro *et al.*, 2021; Huang; Roscoe, 2021). Nesse caso, uma recomendação interessante diz respeito a prover uma oportunidade do treinando para praticar o uso da tecnologia antes de iniciar o treinamento, ou ainda, realizá-lo de uma forma passo a passo, sem que o usuário seja confrontado com todas as possibilidades de interação e informação simultaneamente (Abich *et al.*, 2021; Fracaro *et al.*, 2021).

Como visto na seção anterior, vários benefícios das simulações estão relacionados aos aspectos pedagógicos do processo de ensino-aprendizado. Assim, deve se ter grande atenção com a abordagem pedagógica a ser adotada no desenvolvimento da simulação. Não se pode assumir que simplesmente por estarem participando de uma experiência XR/VR os treinandos vão automaticamente aprender com ela (Abich *et al.*, 2021). Ainda que seja possível, com certo sucesso, enquadrar o processo de ensino-aprendizagem dessas simulações em abordagens pedagógicas tradicionais, idealmente deve se ter uma abordagem específica para esse tipo de situação (Lege; Bonner, 2020).

Para a experiência ser pedagogicamente bem-sucedida, é necessário que que as especificidades desse tipo de simulação (imersão, interações multimodais, visão em primeira pessoa) se adequem a um processo de treinamento que proporcione uma experiência motivadora, que forneça *feedback* e experiências significativas ao treinando (Abich *et al.*, 2021; Baceviciute *et al.*, 2022; Fracaro *et al.*, 2021). Nesse sentido, abordagens baseadas em histórias (do inglês, *story-based* ou *storytelling*) parecem particularmente interessantes e efetivas para simulações XR/VR, pois proporcionam uma estrutura compreensiva e contextualizada que facilita a compreensão de conceitos que poderiam ser difíceis de serem compreendidos no ambiente real ou em treinamentos por qualquer outro meio (Baceviciute *et al.*, 2022; Calvert; Abadia, 2020).

De forma geral, esse tipo de abordagem em experiências XR/VR aumenta a sensação de presença e a imersão, possibilitando uma interação corporal mais completa e que induz reações emocionais do treinando (Calvert; Abadia, 2020). Por exemplo, em capacitações tradicionais relacionadas ao ensino de História, a

narrativa é apresentada de forma passiva e linear, utilizando estímulos visuais, auditivos e cinestésicos. Em uma capacitação do mesmo tema utilizando XR/VR, os treinandos podem assumir um papel mais ativo, vivenciando a narrativa contada em diferentes perspectivas e interagindo com pessoas e objetos à medida que se apropriam do conhecimento da cena (Calvert; Abadia, 2020).

Essa participação mais ativa do usuário é fundamental, visto que gera motivação e engajamento, outros aspectos importantes de serem considerados. Nesse contexto, a motivação intrínseca é possivelmente a mais relevante, definida como sendo o estado em que o treinando está engajado na atividade devido à sua percepção individual e inconsciente de que ela é agradável e interessante. Diferencia-se, portanto, da motivação extrínseca, em que a motivação é fomentada a partir de estímulos externos, como pontuação e placares (Fracaro *et al.*, 2021).

A motivação intrínseca se mostra mais importante nessa situação à medida que tem potencial para provocar mudanças comportamentais no treinando e engajá-lo no processo de treinamento (Baceviciute *et al.*, 2022; Bower; DeWitt; Lai, 2020), ao passo que as motivações extrínsecas podem não se sustentar por muito tempo (Fracaro *et al.*, 2021). Segundo Fracaro *et al.* (2021), gerá-la depende de três tipos de satisfação principais:

- a) **satisfação por competência:** refere-se à sensação do usuário de dominar tarefas relativamente difíceis ou complexas. Nesse sentido, devem se propor desafios que não sejam tão difíceis ao ponto de causarem ansiedade, e nem tão fáceis ao ponto de serem tediosos. Recompensas externas, como pontos e medalhas, podem ser usados como *feedback* ao treinando sobre seu progresso e desempenho;
- b) **satisfação por autonomia:** faz alusão a capacidade de personalização e controle do treinando sobre a sua experiência. Nesse caso, o usuário se satisfaz à medida que tem autonomia para explorar o ambiente no seu próprio ritmo, tomando decisões que podem alterar o resultado da simulação;
- c) **satisfação por empatia:** diz respeito à sensação de conexão e a ter relações sociais significativas. Assim, o treinando se satisfaz à medida que pode interagir com outros jogadores, especialmente de forma colaborativa. Se a modalidade multijogadores não for possível, essa satisfação também pode decorrer da interação com *Non-Player Characters* (NPCs), avatares

controlados pela própria simulação.

Por outro lado, alguns autores destacam que os estímulos para gerar motivação não podem ser excessivos. Ao vivenciar experiências demasiadamente vívidas e repletas de detalhes sedutores que não são relevantes ao treinamento, o treinando pode alocar seus recursos mentais para processos que inibem a capacidade de codificação de memória e não geram aprendizado profundo ou significativo (Baceviciute *et al.*, 2022; Grassini; Laumann; Skogstad, 2020).

Outro aspecto importante de ser considerado é a forma com que o usuário será instruído ao longo da simulação. A literatura aponta que a associação do treinamento XR/VR com uma dinâmica guiada por um instrutor se mostra benéfica e pode melhorar o desempenho dos treinandos, visto que o instrutor passa a ser acionado somente em dúvidas mais relevantes, sendo que os questionamentos básicos são muitas vezes sanados pela própria simulação (Abich *et al.*, 2021). Nesse contexto, sugere-se que o suporte dado ao treinando seja do tipo “*scaffolding*”, isto é, uma instrução objetiva dada pelo instrutor no exato momento em que ela é necessária, de forma a facilitar o aprendizado e participação significativa do usuário (Luo *et al.*, 2021).

Ademais, as simulações XR/VR permitem que seja explorada uma dinâmica bastante particular na comunicação entre instrutor e treinando ou entre diferentes treinandos. A tecnologia possibilita trocas de papéis e identidades entre os envolvidos na simulação, de tal forma que estes podem alternar entre tarefas e papéis que exijam diferentes habilidades, fomentando, assim, a interação entre o grupo (Philippe *et al.*, 2020).

As orientações dadas ao usuário durante a simulação não precisam necessariamente serem oriundas de um instrutor. Outra possibilidade é fornecer estatísticas e *feedbacks* automáticos, gerados por meio da coleta e análise de dados em tempo real do desempenho do treinando (Abich *et al.*, 2021; Grassini; Laumann; Skogstad, 2020). Para Abich *et al.* (2021), a decisão pela forma com que esses *feedbacks* devem ser transmitidos ao usuário deve levar em conta os seguintes aspectos:

- a) **o quê:** deve se considerar quais dados são importantes de serem apresentados ao treinando. É importante apresentar parâmetros relacionados diretamente ao seu desempenho, sendo para isso fornecidos

*feedbacks* instantâneos quando o usuário comete um erro, além de bloquear seu progresso até que a situação seja corrigida. Outro grupo de parâmetros importantes diz respeito à forma com que as pessoas lidam com seus pensamentos, comportamentos e emoções ao longo do processo de ensino-aprendizado. Nesse sentido, solicitar uma autoavaliação do treinando quanto ao seu desempenho ao completar certa tarefa pode ajudá-lo a se preparar melhor para tarefas futuras;

- b) **quando**: refere-se ao momento adequado de apresentar as informações ao usuário. Quando os dados são apresentados antes da realização da tarefa, o treinando pode se planejar melhor para realizá-la. Ao apresentá-los durante a realização, esse *feedback* pode auxiliá-lo em ajustes finos no seu desempenho. Já ao exibi-los ao final da tarefa, promove-se uma autorreflexão do usuário quanto ao seu desempenho;
- c) **quem**: diz respeito a quem terá acesso a esses dados de desempenho, que podem ser apresentados não somente ao treinando e ao instrutor, mas também à instituição/empresa que demanda o treinamento. Exibi-los à instituição pode trazer contribuições, visto que a entidade pode usar tais informações como base para tomadas de decisões e políticas institucionais.

Associar mecanismos instrucionais a elementos do universo dos jogos também tem potencial para contribuir com a motivação do usuário e enriquecer a capacitação/treinamento (Goulding *et al.*, 2012). Recursos gamificados são frequentemente considerados responsáveis pela motivação e engajamento dos usuários (Howard; Gutworth; Jacobs, 2021), mas sua implementação na simulação deve considerar aspectos relacionados à autonomia, identidade e interatividade do treinando (Merchant *et al.*, 2014).

Para gerar aprendizado, é necessário que essa mecânica gamificada da simulação possibilite ao usuário planejar suas ações, testar alternativas e solucionar os problemas apresentados. Para isso, a simulação pode utilizar recursos como sistema de pontos, metas e recompensas. A presença de uma narrativa, assim como *Non-Player Characters* também é importante, visto que podem trazer informações sobre o contexto do ambiente virtual, orientações e *feedback* aos treinandos (Howard; Gutworth; Jacobs, 2021).

Para Goulding et al. (2012), um ambiente de treinamento XR/VR ideal é aquele que apresenta um cenário rico, repleto de ações e tarefas possíveis ao treinando e que simule adequadamente o mundo real. Assim, a cada vez que o usuário entra na simulação, as diferentes possibilidades de interação o conduzem a diferentes experiências e resultados, maximizando o aprendizado.

Nesse sentido, destacam-se outras duas características bastante proeminentes de simulações XR/VR que precisam ser devidamente planejadas no seu desenvolvimento: a interação e a imersão. A interação é potencialmente a qualidade de uma simulação XR/VR que mais a diferencia de treinamentos tradicionais e permite com que os usuários tenham a capacidade de participar ativamente do cenário (Abich *et al.*, 2021). Essa forma mais intensa de participação fomenta a sensação de presença e autonomia que, como já discutido, gera motivação intrínseca ao treinando e otimiza seu aprendizado (Makransky; Klingenberg, 2022).

Em relação à imersão, há grande evidência na literatura que sistemas imersivos são importantes para promover motivação, engajamento e aumentar a eficiência do processo de ensino-aprendizado (Fracaro *et al.*, 2021; Grassini; Laumann; Skogstad, 2020; Paszkiewicz *et al.*, 2021). Em estudos anteriores, treinandos que participaram de experiências XR/VR mais imersivas se mostraram mais engajados, investiram mais tempo nas tarefas e tiveram uma aquisição mais eficiente de habilidades cognitivas, psicomotoras e afetivas (Radianti *et al.*, 2020). Também existem relatos de que participantes que experimentaram treinamentos mais imersivos apresentaram melhor desempenho ao realizar suas tarefas no mundo real (Grassini; Laumann; Skogstad, 2020). Contudo, é importante destacar que também existem relatos de experimentos que não identificaram diferenças significativas de aprendizado entre treinamentos imersivos e não imersivos (Leder *et al.*, 2019).

Como já discutido, a imersão costuma ser bastante dependente da capacidade dos dispositivos tecnológicos utilizados para gerar a simulação. Assim, caso não sejam utilizados dispositivos adequados, eventos como má resolução, falta de foco ou embaçamento da imagem podem diminuir a sensação de presença do usuário, assim como altas temperaturas, umidade ou qualquer outro desconforto no uso dos equipamentos (Lege; Bonner, 2020).

Para prover imersão, também se deve considerar a adequabilidade da

tecnologia para simular a realização de determinada tarefa. É importante que a tecnologia não seja demasiadamente complexa para a realização de uma tarefa simples, ou ainda, e de forma mais preocupante, que não faltem recursos à tecnologia para mimetizar a complexidade de determinada tarefa (Howard; Gutworth; Jacobs, 2021).

Especialmente em simulações XR/VR, a inadequabilidade dos dispositivos comumente gera sensações de náusea nos usuários, fenômeno conhecido como *cybersickness* (náusea digital, tradução nossa). Naturalmente, simulações que gerem grande grau desse tipo de desconforto em seus usuários terão o desempenho do treinamento afetado (Baxter; Hailey, 2019; Grassini; Laumann; Skogstad, 2020).

Finalmente, o desenvolvimento de simulações XR/VR para treinamentos e capacitações também deve se atentar para o perfil do público a ser capacitado. Em estudos anteriores, notou-se que o gênero do treinando não parece influenciar na eficiência do treinamento, mas a idade sim. Usuários mais jovens costumam se adaptar mais rapidamente à tecnologia. O mesmo também acontece com usuários que já tenham tido experiências anteriores com tecnologias de Realidade Estendida ou com jogos em geral. Assim, é essencial realizar uma análise da audiência para se compreender as necessidades dos treinandos (Abich *et al.*, 2021; Huang; Roscoe, 2021).

### 3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Aplicadas a capacitações e treinamentos, as tecnologias contidas no conceito globalizador da Realidade Estendida têm se mostrado alternativas promissoras, com potencial de contribuir com os processos de ensino-aprendizado. Nota-se, com base no apresentado no presente Capítulo, que apesar de serem relatados diversos benefícios em aplicações anteriores da tecnologia, não há uma diretriz clara para o desenvolvimento de inovações nesse contexto, visto que as particularidades de cada área e contexto de aplicação exigem abordagens específicas. Além disso, do ponto de vista tecnológico, observa-se que a tecnologia em si está em pleno processo de expansão e desenvolvimento, uma vez que se notam constantes atualizações e aprimoramentos nos seus dispositivos disponíveis no mercado consumidor da atualidade. Essa constatação reforça a necessidade de que sejam realizados novos

estudos sobre o tema, que possam investigar as possibilidades de aplicação desses novos dispositivos.

## 4 MÉTODO DE PESQUISA

O presente trabalho se caracteriza como uma *Design Science Research* (DSR), abordagem metodológica de caráter prescritivo utilizada em pesquisas focadas no desenvolvimento de inovações e soluções para problemas identificados em certo setor. A seguir, são apresentados ao leitor os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho, fundamentados nas diretrizes de condução de uma DSR.

### 4.1 DELINEAMENTO GERAL DA PESQUISA

A *Design Science Research*, que embasa os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho, tem sido particularmente útil e efetiva em pesquisas na área de Gestão. A estratégia permite que o pesquisador não somente explore e descreva um determinado fenômeno, mas também projete e prescreva soluções para um problema identificado nesse contexto. Pesquisas na área de Gestão, como esta apresentada neste trabalho, buscam solucionar problemas e criar artefatos que possam ser utilizados na rotina dos processos produtivos de determinado setor, o que evidencia sua inerente compatibilidade com a estratégia adotada pela DSR (Dresch; Lacerda; Miguel, 2015).

O desenvolvimento de uma DSR deve seguir quatro etapas básicas: identificação do problema, sugestão de solução, desenvolvimento do artefato e avaliação (Dresch; Lacerda; Miguel, 2015). Na primeira etapa (identificação do problema), o pesquisador deve utilizar estratégias que permitam definir e formalizar o problema a ser solucionado, estabelecendo suas fronteiras e delimitações (Dresch; Lacerda; Miguel, 2015; Lacerda *et al.*, 2013). Na segunda etapa (sugestão de solução), é necessário explicitar as alternativas propostas para solucionar parcialmente ou totalmente o problema identificado anteriormente, sendo que essas alternativas recebem o nome de artefatos (Dresch; Lacerda; Miguel, 2015; Lacerda *et al.*, 2013).

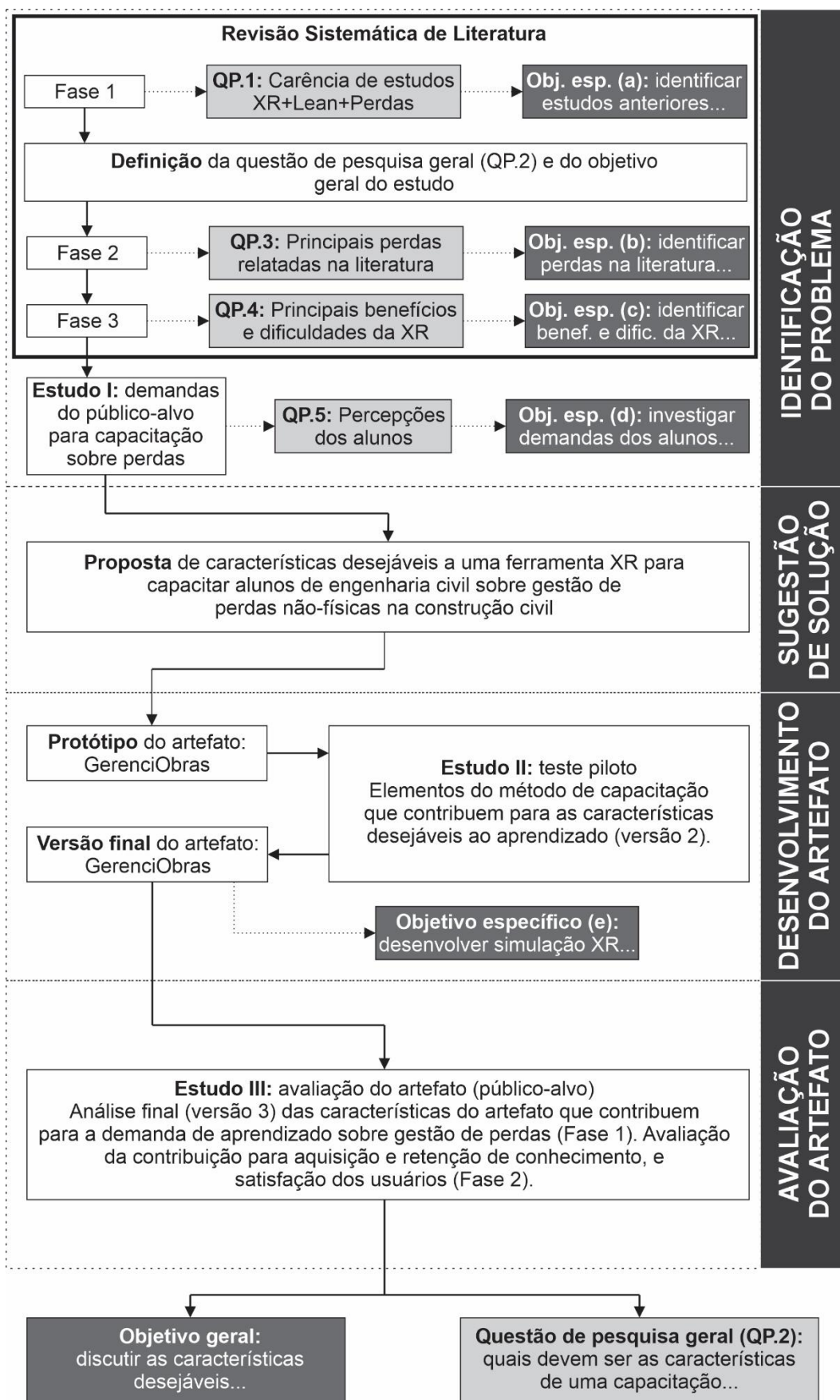
O artefato é o produto central da DSR e pode assumir quatro formas principais: constructo, modelo, método ou instanciação. O constructo é um objeto conceitual para descrever ou representar certo fenômeno. O modelo é um objeto conceitual que contém constructos e associações entre eles para melhor representar

certo fenômeno. O método consiste em uma série de ações a serem adotadas para se obter certo resultado. Finalmente, a instanciação diz respeito a um sistema de hardware/software produzido por pesquisadores usando certo método para implementar um constructo ou modelo. Em pesquisas envolvendo inovações tecnológicas, a discriminação do artefato em uma das quatro categorias apresentadas não é simples, de tal modo que se entende o artefato como um composto de dois elementos: um sistema ou método genérico desenvolvido e a teoria que se aplica àquele sistema ou método (Weber, 2018)

Na terceira etapa da DSR, o artefato é efetivamente desenvolvido (Dresch; Lacerda; Miguel, 2015). Nesse momento, é fundamental um equilíbrio entre construção e testagem de protótipos para o desenvolvimento do artefato (Hevner, 2007). Por fim, na quarta e última etapa, o artefato é avaliado, momento em que se utiliza uma série de procedimentos para verificar se o comportamento e o desempenho do artefato atendem às funções a que se propôs alcançar (Dresch; Lacerda; Miguel, 2015; Lacerda *et al.*, 2013).

O presente trabalho está estruturado nas quatro etapas apresentadas por Dresch, Lacerda e Miguel (2015). Em síntese, o delineamento geral do trabalho é apresentado na Figura 9. A seguir, são detalhados ao leitor os procedimentos metodológicos adotados em cada etapa.

**Figura 9 – Delineamento geral da pesquisa**



Fonte: o autor.

## 4.2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

A identificação do problema ocorreu por meio de procedimentos que visavam tanto o levantamento de informações contidas em acervo bibliográfico de estudos anteriores quanto por meio de investigação do público-alvo do método desenvolvido neste trabalho. Assim, realizou-se uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) sobre o tema, bem como uma pesquisa por meio de questionário com alunos graduandos em engenharia civil, visando identificar demandas no processo de capacitação sobre gestão de perdas não-físicas na construção civil (Estudo I).

### 4.2.1 Revisão Sistemática de Literatura (RSL)

A escolha pelo uso de uma Revisão Sistemática de Literatura para essa etapa se deve ao fato de que metodologias tradicionais de revisão literária podem não identificar todos os estudos publicados em certo assunto de forma sistemática (van Dinter; Tekinerdogan; Catal, 2021). Para pesquisas relacionadas à inovação, como a apresentada no presente trabalho, conhecer os avanços e as dificuldades de estudos anteriores associados à temática de interesse é essencial.

A investigação dos estudos por meio da Revisão Sistemática de Literatura ocorreu no primeiro semestre de 2022. Inicialmente, foi definida a primeira Questão de Pesquisa (QP) a ser investigada por meio da RSL, já apresentada anteriormente na seção 1.3. Com vistas a facilitar a compreensão do leitor, a RSL realizada foi subdividida em três fases. A **Fase 1** teve como foco a QP.1, de modo que seu objetivo principal era identificar a existência de estudos anteriores similares nesse contexto específico. Assim, foram utilizadas duas<sup>2</sup> *strings* de busca, a saber:

- a) *Lean AND Construction AND (“Virtual Reality” OR “Extended Reality”) AND (Training OR Education OR Teaching);*
- b) *“Waste Management” AND Construction AND (“Virtual Reality” OR “Extended Reality”) AND (Training OR Education OR Teaching).*

A primeira *string* foi estruturada para identificar estudos que utilizassem

---

<sup>2</sup> O leitor pode notar que as *strings* apresentadas poderiam facilmente serem unificadas em uma única *string* por meio do uso da estrutura *Lean OR “Waste Management”* na primeira parte da construção da *string*. Porém, as plataformas indexadoras utilizadas possuíam limitações em relação à extensão da *string*, de modo que, para possibilitar a consulta, foi necessário dividir a *string* da forma apresentada, sem que haja perda de conteúdo ou significado em relação à sua alternativa unificada.

tecnologia de Realidade Virtual ou Estendida para capacitações relacionada à filosofia *Lean* no contexto da construção civil. Não se buscou especificamente pelo termo Realidade Aumentada (RA) porque, por mais que a tecnologia esteja contida no conceito de Realidade Estendida, capacitações que utilizem exclusivamente de RA para seu desenvolvimento se diferenciam sumariamente da proposta deste trabalho. Ademais, essa *string* não apresentou um recorte específico sobre gestão de perdas porque se verificou que existem estudos sobre capacitações em *Lean* que abordam indiretamente a gestão de perdas sem utilizar necessariamente essa terminologia.

A segunda *string* utilizada é similar a anterior, substituindo o recorte sobre filosofia *Lean* pela gestão de perdas. Isso foi realizado para identificar estudos que abordassem capacitações sobre gestão de perdas na construção civil sem necessariamente se referir à filosofia *Lean* enquanto embasamento teórico.

Como critérios de inclusão de estudos na Fase 1 da revisão, foram estabelecidos os seguintes:

- a) Tecnologia: estudos que abordam o uso de tecnologia de Realidade Virtual ou Estendida;
- b) Ano de publicação: estudos publicados após 2012. O ano marca o lançamento dos primeiros óculos de Realidade Virtual de alta imersão;
- c) Idioma: estudos publicados em inglês. A medida visa selecionar estudos com maior impacto e qualidade;
- d) Qualidade: artigos publicados em periódicos com revisão dupla às cegas ou trabalhos publicados em congressos. A medida visa selecionar estudos com maior confiabilidade de resultados, mas observando nichos específicos de publicação;
- e) Contexto 1: estudos aplicados à área da Construção Civil;
- f) Contexto 2: estudos abordam *Lean Construction* ou Gestão de Perdas;
- g) Contexto 3: estudos abordam treinamentos ou capacitações ou ensino;

Após as reflexões geradas pelos achados da Fase 1, que possibilitaram o delineamento da questão de pesquisa e objetivo gerais da tese, notou-se a necessidade de estender a busca para outros aspectos. Assim, na **Fase 2** da revisão, o foco foi dado à QP.3, isto é, a identificação dos principais conceitos relacionados à temática de perdas nos processos produtivos da construção civil,

focados em dificuldades de gestão ainda latentes na sociedade. Foi utilizada a seguinte *string* de busca:

- a) (*Waste OR “Non-Value” AND Lean AND Construction AND (Challenges OR Difficulties OR Agenda OR Barriers)*).

Nessa *string*, o uso alternativo das expressões “*waste*” e “*non-value*” foi adotado tendo em vista que muitos estudos fazem alusão a atividades ou tarefas que não agregam valor que, conforme apresentado no Capítulo 2 deste trabalho, são entendidas pela filosofia *Lean* como perdas. O recorte específico nessa *string*, que restringe a busca a estudos relacionados à filosofia *Lean* e à construção, deve-se ao fato de que o tema é amplo e a gestão de perdas enfrenta diferentes desafios em outros setores. Além disso, a definição de perdas estabelecida neste trabalho e pautada nos preceitos da filosofia *Lean* se diferencia da conceituação de perdas em outras abordagens.

Como critérios de inclusão de estudos na Fase 2 da revisão, foram estabelecidos os seguintes:

- a) Ano de publicação: estudos publicados após 2017. A medida visa selecionar estudos recentes (últimos cinco anos, em relação ao período em que se realizou a revisão);
- b) Idioma: estudos publicados em inglês. A medida visa selecionar estudos com maior impacto e qualidade;
- c) Qualidade: artigos publicados em periódicos com revisão dupla às cegas ou trabalhos publicados em congressos. A medida visa selecionar estudos com maior confiabilidade de resultados, mas observando nichos específicos de publicação;
- d) Contexto 1: estudos aplicados à área da Construção Civil ou área correlata;
- e) Contexto 2: estudos abordam conceitos, desafios e dificuldades na gestão de Perdas com base na filosofia *Lean*;

Por fim, na **Fase 3** da revisão, o foco foi dado à QP.4, isto é, aos benefícios e dificuldades do uso de tecnologias de Realidade Virtual e Estendida em outras áreas do conhecimento. Foram utilizadas as seguintes *strings*<sup>3</sup> de busca:

- a) (*“Virtual Reality” OR “Extended Reality” AND (Training OR Education OR*

---

<sup>3</sup> Analogamente ao ocorrido na Fase 1, as *strings* de busca poderiam ser unificadas em uma única *string*, sem perda de conteúdo. Porém foi necessário subdividi-las em duas *strings*, devido às limitações das plataformas de busca.

- Teaching) AND (Benefits OR Contribution OR Advantage);*
- b) *(“Virtual Reality” OR “Extended Reality”) AND (Training OR Education OR Teaching) AND (Challenges OR Difficulties OR Agenda OR Barriers).*

Novamente, a estruturação das *strings* de busca utilizando alternativamente as expressões “*Virtual Reality*” e “*Extended Reality*”, sem discriminar a terminologia relacionada à Realidade Aumentada, visa identificar estudos com maior semelhança à proposição deste trabalho. Além disso, salienta-se a inexistência de um recorte em uma área específica do conhecimento, visto que a intenção da busca foi especificamente entender quais as constatações, positivas e negativas, que a aplicação dessa tecnologia revelou em capacitações em outros setores.

Como critérios de inclusão de estudos na Fase 3 da revisão, foram estabelecidos os seguintes:

- a) Tecnologia: estudos que abordam o uso de tecnologia de Realidade Virtual ou Estendida;
- b) Ano de publicação: estudos publicados após 2012. O ano marca o lançamento dos primeiros óculos de Realidade Virtual de alta imersão;
- c) Idioma: estudos publicados em inglês. A medida visa selecionar estudos com maior impacto e qualidade;
- d) Qualidade: artigos publicados em periódicos com revisão dupla às cegas ou trabalhos publicados em congressos. A medida visa selecionar estudos com maior confiabilidade de resultados, mas observando nichos específicos de publicação;
- e) Contexto: benefícios e dificuldades do uso de Realidade Estendida ou Realidade Virtual para capacitações na área industrial ou educacional.

Em todas as fases, a busca foi realizada nas plataformas ScienceDirect®, CAPES Periódicos e Scopus®. A seleção dos estudos, conforme critérios de inclusão apresentados, foi realizada em quatro etapas. Inicialmente, os estudos foram identificados por meio do uso das *strings* de busca e filtros disponíveis nas plataformas de busca. Em seguida, foi realizada a análise dos títulos dos estudos e foram descartados aqueles que definitivamente reprovavam em algum critério de inclusão. Em um terceiro momento, foi realizada a análise dos resumos e palavras-chave dos estudos restantes e novamente foram descartados aqueles que se observou que reprovavam em algum critério. Por fim, na quarta etapa, foi realizada a

leitura completa dos estudos restantes e novamente foram descartados aqueles que não se enquadravam em todos os critérios de inclusão.

A seleção dos estudos foi realizada com o auxílio da plataforma Rayyan® nas três primeiras etapas. Os metadados dos estudos foram importados para a plataforma, o que possibilitou a exclusão de duplicatas já na primeira etapa da seleção dos estudos, além das demais análises supracitadas. Para a quarta etapa da seleção (leitura completa dos artigos), os metadados foram transferidos para a plataforma Mendeley®, procedendo-se para o *download* da versão completa de cada estudo. Nessa etapa, também se realizou a exclusão de estudos aos quais o pesquisador não conseguiu acesso à sua versão completa.

As constatações observadas na Fase 1 da revisão estão devidamente apresentadas na subseção 5.1.2 deste trabalho. Além da análise de conteúdo dos estudos selecionados, também se elaborou um quadro de correlação dos estudos com as três temáticas de centrais do trabalho (“Realidade Virtual / Estendida”; “Educação”; “Perdas conforme a *Lean*”), em que o pesquisador classificou a correlação dos estudos com as temáticas em três níveis: “Forte”, “Médio” ou “Fraco”, sendo:

- a) Forte: quando o estudo fazia aplicação direta da temática de interesse em seu desenvolvimento;
- b) Médio: quando o estudo não fazia uma aplicação direta da temática de interesse, mas estabelecia referências e reflexões genéricas que poderiam ser estendidas para a temática de interesse;
- c) Fraco: quando o estudo não fazia uma aplicação direta da temática em interesse, e era necessário que o leitor percebesse uma correlação indireta entre o conteúdo do estudo e discussões similares a respeito da temática de interesse presentes em outros estudos da literatura.

No que é tocante às Fases 2 e 3 da revisão, as constatações observadas são apresentadas detalhadamente nos respectivos capítulos de revisão sobre as temáticas (Capítulos 2 e 3 deste trabalho). Quadros-resumos com os principais achados de cada fase também são apresentados no Capítulo 5.

#### 4.2.2 Estudo I: Demandas do Público-Alvo

O Estudo I foi realizado com vistas à questão **QP.5**, relacionada às

percepções do público-alvo, isto é, graduandos em engenharia civil, quanto às dificuldades apresentadas no processo de ensino-aprendizado sobre gestão de perdas no processo produtivo, bem como suas sugestões para inovar nesse processo.

O estudo foi realizado por meio da aplicação de um questionário *online* com voluntários na plataforma *Google Forms*. O questionário utilizado está integralmente apresentado no Apêndice A deste trabalho. A divulgação da pesquisa foi realizada em publicações em mídias sociais e em contato com docentes e alunos de Engenharia Civil em diversas Instituições de Ensino Superior (IES) brasileiras. Para participar da pesquisa, o voluntário necessitava estar regularmente matriculado no curso de Engenharia Civil em uma IES, podendo estar em qualquer ano de curso.

O questionário foi dividido em três seções. Na **Seção 1**, os participantes foram orientados sobre o objetivo da pesquisa e contextualizados sobre a sua inserção na presente tese de Doutorado. Também foram informados que sua participação seria anônima e voluntária, de modo que poderiam interromper sua participação a qualquer momento que desejassem. Em seguida, deveriam informar alguns dados referentes à caracterização dos voluntários, como região de residência, qualificação jurídica da instituição em que estuda (pública ou privada), entre outros. Ressalta-se que foram solicitados dados que revelavam a identidade dos participantes (nome e e-mail), porém foi informado que os dados não seriam divulgados em quaisquer publicações dos resultados da pesquisa.

A **Seção 2** do questionário buscou analisar o conhecimento dos voluntários a respeito da temática de gestão de perdas não-físicas. Para isso, inicialmente foi apresentada a mesma definição de perdas estabelecida no Capítulo 2 deste trabalho aos participantes, bem como informações sobre sua classificação em perdas físicas e não-físicas, além das sete categorias de perdas propostas por Ohno (1988). Salienta-se que as demais categorias de perdas discutidas no Capítulo 2 não foram apresentadas aos voluntários neste momento, visto que a intenção deste texto introdutório da Seção 2 era apenas contextualizá-los a respeito da temática para evitar respostas incorretas devido a algum tipo de mau entendimento sobre tema. Com vistas a essa finalidade, foi considerado que uma breve explicação e contextualização do tema, englobando apenas as sete categorias de perdas mais recorrentes na literatura, era suficiente.

Ainda na segunda seção do questionário, os participantes foram questionados

sobre já terem participado de alguma disciplina que abordava a temática de perdas em seu conteúdo programático. Participantes que responderam que não se lembravam ou não sabiam dizer foram excluídos da análise posterior dos dados, visto que a incerteza nessa resposta comprometia a confiabilidade dos demais dados apresentados e de suas respectivas análises, conforme será apresentado a seguir.

Em seguida, apenas os participantes que responderam que já haviam participado de alguma disciplina sobre o tema deveriam responder uma pergunta que classificava a distribuição das aulas entre exposições teóricas e práticas. Também foram questionados sobre o nível de uso de recursos tecnológicos durante a aula.

Encerrando a Seção 2, os voluntários deveriam classificar seu conhecimento sobre o tema com notas de 1 a 3, em que as Notas 1 e 2 estavam associadas a um nível de conhecimento nulo e/ou insatisfatório sobre o tema e a Nota 3 se relacionava a um nível de conhecimento adequado sobre o assunto. Na análise posterior dos dados, os participantes que classificaram seu conhecimento como Nota 3 foram desconsiderados, visto que o intuito da pesquisa era buscar demandas de capacitação do público-alvo, naturalmente associadas aos voluntários que não apresentavam conhecimento satisfatório sobre o tema (Notas 1 e 2).

A **Seção 3** do questionário deveria ser respondida somente pelos participantes que haviam classificado seu conhecimento com Nota 1 ou 2. Nesta seção, os voluntários deveriam apresentar as razões pelas quais acreditavam que seu conhecimento sobre o assunto era insatisfatório. Foram apresentadas dez possíveis razões, sendo que o participante poderia selecionar quantas desejasse e escrever outras se achasse necessário.

Ainda na terceira seção do questionário, os participantes foram solicitados a apresentar sugestões para aperfeiçoar o ensino sobre o tema. Novamente, foram apresentadas doze sugestões de resposta, podendo o voluntário selecionar quantas se aplicassem e escrever outras se necessário.

Além das exclusões de respostas já citadas, também foram retirados da análise dados de voluntários que mostrassem algum tipo de inconsistência em suas respostas. Por exemplo, caso o voluntário respondesse, na Seção 2, que já cursou disciplina sobre o tema, mas na Seção 3, apontasse como uma das razões para seu baixo conhecimento sobre o assunto a opção “ainda não cursei nenhuma disciplina

que abordava esse assunto”, sua resposta seria desconsiderada na análise. O mesmo aconteceria para o voluntário que respondesse que não teve aula sobre o assunto, mas que apontasse como razão para seu conhecimento insatisfatório a opção “considero inadequada a didática utilizada pelo professor que abordou esse assunto”.

A coleta de dados do estudo foi realizada no período compreendido entre as datas 27 de fevereiro de 2023 e 27 de março de 2023. A análise dos dados utilizou o *software* Microsoft Excel® para criação de gráficos e tabulação de dados e o *software* R® para desenvolvimento de testes estatísticos, gráfico *box-plot* e identificação de *outliers*. Os dados foram inicialmente reunidos em um grupo único (**Grupo Geral**), e também analisados em subgrupos, em que o **Subgrupo 1** agrupava os dados de voluntários que já haviam participado de aulas sobre a temática de gestão de perdas.

Em relação ao **Grupo Geral**, foram elaborados gráficos, índices percentuais e tabelas de frequências para facilitar a visualização e descrição das respostas dadas sobre o perfil dos entrevistados (região de residência, tipo de instituição, ano de curso e experiência prévia sobre o assunto em disciplina) e demandas de capacitação (autoavaliação sobre o conhecimento sobre perdas e sugestões de estratégias para melhorar o ensino do tema).

Em particular, as informações referentes aos anos completos de experiência prática dos participantes foram ilustradas em um gráfico do tipo *box-plot*, que facilita a identificação de *outliers*. Uma vez identificados, os *outliers* foram removidos e um novo gráfico *box-plot* foi desenvolvido, em que foram calculados os valores de média e mediana desse dado em específico.

Para o **Subgrupo1**, foram elaboradas tabelas e gráficos descritivos dos perfis das aulas que tiveram sobre o assunto (divisão das aulas entre teoria e prática e nível de uso de recursos tecnológicos nessas aulas), além das suas percepções das causas que justificavam seu conhecimento ser insatisfatório sobre o tema.

Testes Qui-Quadrados de Homogeneidade foram utilizados para verificar se o número de observações das respostas dadas a respeito do perfil das aulas (divisão das aulas entre teoria e prática e nível de uso de recursos tecnológicos nessas aulas) eram igualmente bem distribuídas, ou se alguma resposta se sobressaía em relação às demais. Foi realizada a análise dos resíduos, considerando significância de 5%. Para ambos os testes, consideraram-se como hipóteses:

- a) Hipótese nula ( $H_0$ ): a frequência com que cada alternativa foi assinalada não apresenta diferença significativa em relação ao que seria esperado caso as respostas tivessem sido selecionadas pelos participantes de forma homogênea;
- b) Hipótese alternativa ( $H_1$ ): a frequência com que cada alternativa foi assinalada apresenta diferença significativa em relação ao que seria esperado caso as respostas tivessem sido selecionadas pelos participantes de forma homogênea.

Para verificar se a percepção da qualidade das aulas pelos alunos possuía relação com o tipo de instituição em que eles estudavam, utilizou-se o Teste Qui-Quadrado de Independência. Assim, elaborou-se uma tabela de contingência que relacionava o número de observações de participantes que assinalaram ao menos uma das alternativas “considero insatisfatória a forma com que o tema foi abordado na disciplina que cursei sobre esse assunto”, “considero inadequada a didática utilizada pelo professor que abordou esse assunto” e “me senti entediado / perdi o foco quando estudei esse assunto” com o seu tipo de instituição (pública/ privada). Entende-se que a escolha de uma das alternativas destacadas anteriormente expressa uma percepção negativa da aula vivenciada sobre o tema. Consideraram-se como hipótese do teste:

- a) Hipótese nula ( $H_0$ ): a percepção da qualidade da aula vivenciada pelo participante sobre gestão de perdas depende da qualificação jurídica da instituição (pública/privada) em que ele estuda;
- b) Hipótese alternativa ( $H_1$ ): a percepção da qualidade da aula vivenciada pelo participante sobre gestão de perdas não depende da qualificação jurídica da instituição (pública/privada) em que ele estuda.

Analogamente, Testes Qui-Quadrado de Independência também foram utilizados para verificar possíveis relações entre a percepção da qualidade das aulas pelos alunos e o tipo de aula (teórica e/ou prática) e o nível de uso de recursos tecnológicos utilizados nessas aulas. Para a análise da primeira possível relação, consideraram-se como hipóteses:

- a) Hipótese nula ( $H_0$ ): a percepção da qualidade da aula vivenciada pelo participante sobre gestão de perdas depende do tipo de aula (teórica, prática ou equilibrada) que ele vivenciou;

- b) Hipótese alternativa ( $H_1$ ): a percepção da qualidade da aula vivenciada pelo participante sobre gestão de perdas não depende do tipo de aula (teórica, prática ou equilibrada) que ele vivenciou.

Para a análise da segunda possível relação, consideraram-se como hipóteses:

- a) Hipótese nula ( $H_0$ ): a percepção da qualidade da aula vivenciada pelo participante sobre gestão de perdas depende do nível de uso de recursos tecnológicos no decorrer da aula que ele vivenciou;
- b) Hipótese alternativa ( $H_1$ ): a percepção da qualidade da aula vivenciada pelo participante sobre gestão de perdas não depende do nível de uso de recursos tecnológicos no decorrer da aula que ele vivenciou.

Em situações em que as frequências esperadas no Teste Qui-Quadrado eram baixas (menores que 5), utilizou o teste exato de Fisher para realizar a análise, conforme recomendado por Williams e Quave (2019). Para os Testes Qui-Quadrado compostos por matrizes 2x2, foi realizada a correção de continuidade de Yates para maior assertividade na análise, conforme recomendado por Daya (2001). No Apêndice B deste trabalho, foi disponibilizada a transcrição do *script* utilizado no Software R® para realizar as análises supracitadas.

#### 4.3 SUGESTÃO DE SOLUÇÃO

Em vista do problema identificado e caracterizado na etapa anterior, essa etapa consistiu em propor características desejáveis a uma ferramenta que utilize tecnologia de Realidade Estendida para capacitar alunos de engenharia civil sobre gestão de perdas não-físicas na construção civil.

A discriminação dessas características foi realizada por meio da reflexão a respeito dos achados da etapa anterior. Assim, foram relacionadas as principais vantagens (benefícios) e cuidados (desafios) no uso da tecnologia de Realidade Estendida para capacitações e as demandas do público-alvo sobre capacitação de gestão de perdas não-físicas no canteiro de obras.

#### 4.4 DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

Na etapa anterior, estabeleceu-se uma possível solução, em caráter teórico,

para o problema discutido nesta pesquisa. Essa etapa, por sua vez, buscou materializar a solução teórica anteriormente proposta em uma ferramenta concreta para capacitação dos alunos. Nesse sentido, a presente seção apresenta as etapas que foram necessárias para o desenvolvimento do **GerenciObras®** (Número do registro: BR512023003592-0 – Instituto Nacional da Propriedade Industrial/INPI), uma ferramenta de Realidade Estendida para capacitações de alunos de engenharia civil sobre a gestão de perdas não-físicas na construção civil (Figura 10).

**Figura 10** – Logomarca do GerenciObras

A logomarca do GerenciObras é composta pelo texto "GERENCI" em uma fonte sans-serif em cor laranja, um ícone de engrenagem preta no centro, e o texto "BRAS" em uma fonte sans-serif em cor preta.

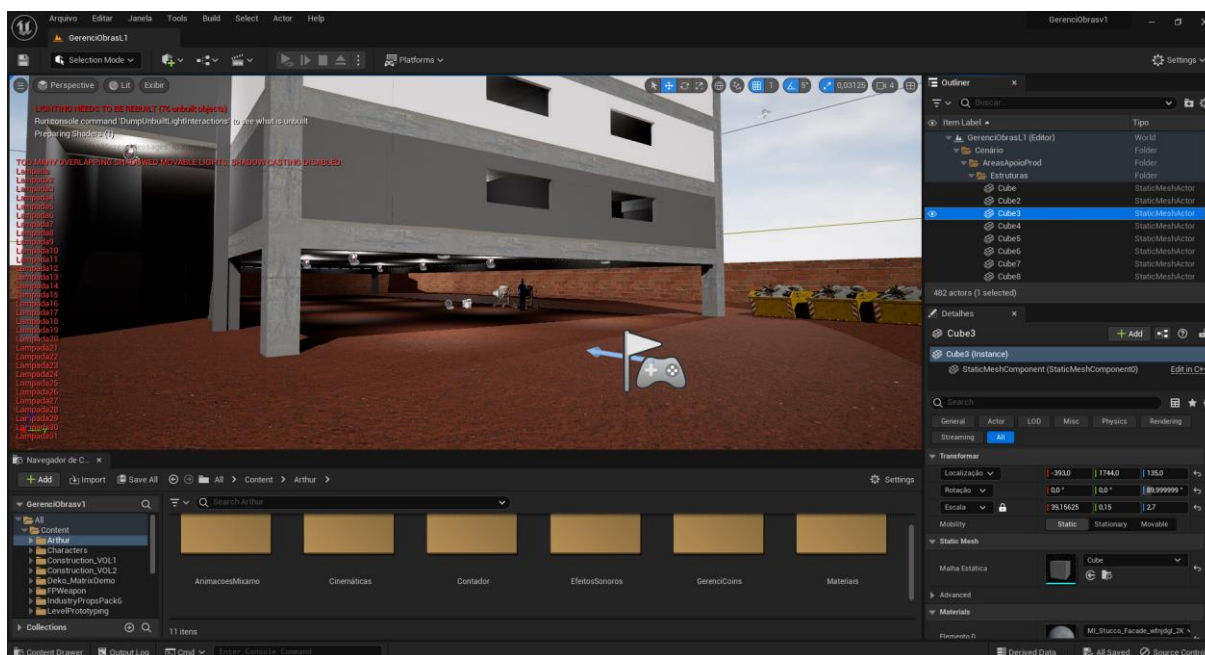
Fonte: o autor.

A estratégia utilizada para o desenvolvimento e uso do GerenciObras no contexto de sala de aula demanda uma série de procedimentos específicos para contribuir com o processo de ensino-aprendizado, constituindo, portanto, um método de capacitação. No contexto da estratégia de pesquisa *Design Science Research* (DSR), que embasa este trabalho, o GerenciObras e seu inerente método de capacitação são denominados “artefato”.

#### 4.4.1 Recursos Tecnológicos

Para o **desenvolvimento do GerenciObras**, a principal plataforma utilizada foi a **Unreal Engine®**, nas versões 5.2 e 5.3. A **Unreal Engine®** (Figura 11) é uma *game engine*, isto é, uma plataforma de desenvolvimento de jogos e simulações, desenvolvida pela empresa **Epic Games®**. A plataforma apresenta uma série de recursos que facilitam o desenvolvimento de simulações, com suporte às tecnologias de Realidade Virtual, Aumentada e outras do espectro de tecnologias da Realidade Estendida. É gratuita para uso, sendo necessário o pagamento de *royalties* somente para projetos comerciais que excedam receita de um milhão de dólares (Epic Games, 2023a).

Figura 11 – Plataforma Unreal Engine, versão 5.3



Fonte: o autor.

Assim, a *Unreal Engine*® foi utilizada para o desenvolvimento do ambiente virtual da simulação, bem como para a criação das mecânicas de interação entre usuário e simulação, programadas por meio de *Blueprints*® (um sistema visual de *scripts* da *Unreal Engine*® para utilizar a linguagem de programação C++ para criar mecânicas de jogabilidade na simulação).

Além dos recursos nativos da *Unreal Engine*®, foram utilizados elementos de outras bibliotecas de objetos tridimensionais para a composição do cenário virtual, como *Unreal Engine Marketplace*® (Epic Games, 2023b), *CGTrader*® (CgTrader, 2023) e *Quixel*® (Quixel, 2023). Para os efeitos sonoros presentes na cena, foram usados os efeitos disponíveis nas plataformas *SoundBible*® (SoundBible, 2023), *YouTube Audio Library*® (Google, 2023) e *Pixabay*® (PixaBay, 2023). Para as falas dos personagens presentes na cena, foi utilizado o sistema de conversão de Texto em Fala (do inglês *Text To Speech*, TTS) da plataforma *TTSFree.com*® (TTSFree, 2023).

Os personagens humanoides presentes na cena, que atuam como Personagens Não-Jogáveis (do inglês *Non-Playable Characters*, NPCs), foram obtidos na plataforma *Adobe Mixamo*® (Adobe, 2023), e animados por meio dos *assets* de animação disponíveis na própria plataforma. Já os elementos gráficos bidimensionais, como as cartas do jogo, logomarca e demais elementos da

identidade visual do GerenciObras foram desenvolvidos na plataforma *Corel Draw*®. É importante salientar que todos os recursos utilizados possuíam licenciamento que permitiam seu uso em projetos com fins pessoais e comerciais.

Para a **reprodução (uso) do GerenciObras**, foi novamente utilizada a plataforma *Unreal Engine*® para a reprodução da simulação virtual, associada aos óculos de realidade virtual *Meta Quest 2*®. O dispositivo (Figura 12) é composto por um *Head-Mounted Display* (HMD) que é encaixado na cabeça do usuário, permitindo a visualização 360° do cenário virtual com resolução de 1832x1920 pixels por olho e suporte para taxas de atualização de 60Hz, 72Hz e 90Hz. Possui seis níveis de liberdade (do inglês *Degrees of Freedom*, DoF), possibilitando rastreamento preciso dos movimentos da cabeça e do corpo. Para a interação, possui um par de controles modelo *Meta Quest 2 Touch*® que são segurados pelo usuário em cada uma das mãos (Meta, 2023).

**Figura 12** – Meta Quest 2



**Fonte:** Meta (2023).

A associação dos recursos de reprodução supracitados (*Unreal Engine*® e *Meta Quest 2*®) possibilitou a visualização da simulação do GerenciObras por um único indivíduo (aluno), usando tecnologia de realidade virtual. Para a reprodução da simulação para os demais alunos presentes no uso da ferramenta, foi utilizada uma televisão ou projetor.

#### 4.4.2 Protótipo do Artefato

O protótipo do GerenciObras a ser desenvolvido nessa etapa da pesquisa considerou um nível **beta** (Garone, 2020) para posterior testagem e aprimoramento. Logo, em nível beta, o protótipo já possuía todo o conteúdo esperado para a versão final da ferramenta, com suas mecânicas e elementos em pleno funcionamento, consistindo em:

- a) simulação em realidade virtual com todas as mecânicas estabelecidas, incluindo sistema de pontos, presença e interação com NPCs e tarefas a serem realizadas;
- b) jogo de cartas com pistas sobre as perdas presentes na simulação;
- c) manual de uso da ferramenta.

Esse protótipo foi utilizado no Estudo II (teste piloto), detalhado na próxima seção.

#### 4.4.3 Estudo II: Teste Piloto

O Estudo II teve por finalidade testar o protótipo desenvolvido na etapa anterior com um pequeno grupo do público-alvo e de especialistas na temática, visando a identificação de eventuais problemas no uso do GerenciObras e possibilidades de melhorias. Além disso, esse estudo também buscou estabelecer uma relação de associação entre as características desejáveis à ferramenta, postuladas em caráter teórico na etapa de “Sugestão de Solução”, e os elementos e mecânicas presentes no GerenciObras.

Assim, o estudo se iniciou com a utilização do GerenciObras por um grupo composto por cinco graduandos em engenharia civil e o pesquisador autor deste trabalho (que atuou no papel de “juiz” – conforme dinâmica do GerenciObras apresentada na seção 5.3.1 deste trabalho). A seleção dos alunos para este estudo teve como único pré-requisito que os alunos estivessem cursando a graduação em engenharia civil no momento do estudo. Em vista desse critério, o pesquisador convidou para participarem do estudo uma turma de alunos para a qual ele leciona uma disciplina. Os alunos convidados estavam no terceiro ano da graduação em uma Instituição de Ensino Superior (IES) privada.

Foram considerados aptos e selecionados a participar do estudo aqueles

estudantes da turma convidada que aceitaram participar. Considerando o Projeto Pedagógico do Curso (PPC) da referida IES, nessa etapa da graduação os alunos participantes ainda não haviam cursado disciplinas especificamente relacionadas à gestão de obras e suas perdas inerentes.

A experiência com os alunos foi realizada no dia 25 de setembro de 2023. Inicialmente, os discentes participaram de uma aula, expositiva e teórica, com o uso de *slides*, em que se apresentaram os principais preceitos relacionados à filosofia *Lean Construction*, bem como as diferentes categorias de perdas não-físicas presentes no ambiente de trabalho da construção civil, conforme apresentado no Capítulo 2 deste trabalho. A aula introdutória teve o intuito de contextualizar os alunos a respeito da temática, visto que se indica que a ferramenta desenvolvida (GerenciObras) seja de uso complementar à metodologia de ensino (essencialmente teórica) tradicionalmente utilizada atualmente no Ensino Superior brasileiro.

A explicação teve duração de 20 minutos, e foi ministrada pelo pesquisador autor deste trabalho. O escopo da aula teórica foi definido com o auxílio da ferramenta de inteligência artificial ChatGPT® (Open AI, 2023), com vistas a dirimir possíveis imprecisões devido à subjetividade e parcialidade, caso a definição do escopo fosse feita exclusivamente pelo pesquisador. Assim, foi solicitado à ferramenta uma sugestão de escopo para a referida aula introdutória, sendo a sugestão analisada e ajustada pelo pesquisador para elaboração dos slides.

Posteriormente à aula teórica, deu-se início ao uso do GerenciObras. A experiência com o simulador teve duração de 60 minutos, e foi realizada em um ambiente convencional de sala de aula. A simulação foi utilizada com o auxílio dos óculos de realidade virtual, e reproduzida na televisão presente na sala de aula. Após a experiência, o pesquisador conduziu uma entrevistada não-estruturada com os participantes, com o objetivo de suscitar manifestações espontâneas dos alunos a respeito de suas percepções com o uso da ferramenta.

Além do teste com os alunos, o protótipo do simulador também foi testado com especialistas na temática de gestão na construção civil. Foram considerados especialistas, nesse contexto, profissionais formados em Engenharia Civil, com titulação mínima de Mestrado na área de Gestão na Construção. Considerando o atendimento a estes critérios, o pesquisador autor do trabalho convidou dois professores que atuam nas mesmas IES em que ele atua como docente para participarem do estudo.

A experiência com os especialistas foi realizada no dia 04 de outubro de 2023. Diferentemente do teste realizado com os alunos, não se realizou a aula teórica introdutória com esses profissionais, por se entender que, enquanto especialistas, estes profissionais já possuíam capacitação suficiente sobre o tema para utilizarem o GerenciObras. Assim, a experiência se iniciou diretamente com o uso da ferramenta gamificada, em que o pesquisador autor deste trabalho atuou novamente como “Juiz” (conforme dinâmica do GerenciObras apresentada na seção 5.3.1 deste trabalho), e os demais participantes se alternaram nos papéis de “Investigador” e “Equipe”.

A capacitação com o GerenciObras teve duração aproximada de 60 minutos. Após sua conclusão, o pesquisador conduziu uma entrevista semi-estruturada com os participantes. Trata-se de um tipo de entrevista em que o entrevistador possui um roteiro para sua condução, mas que se permite que o entrevistado discorra subjetivamente a respeito da questão colocada (Santos; Jesus; Battisti, 2021). A utilização dessa estratégia de pesquisa se mostrou adequada para prover foco à coleta de dados, por meio de questões norteadoras, sem inibir a espontaneidade dos entrevistados, possibilitando sua manifestação com percepções que pudessem ser relevantes ao desenvolvimento da ferramenta.

As questões norteadoras utilizadas na entrevista semi-estruturada foram agrupadas em seis blocos de perguntas, descritos a seguir. O roteiro detalhado com as perguntas norteadoras dessa entrevista é apresentado no Apêndice C.

- a) Introdução: contextualização da pesquisa e do objetivo da entrevista, apresentação dos entrevistados e verificação da sua compreensão quanto ao objetivo do estudo;
- b) Aspectos conceituais e didáticos: levantamento das primeiras impressões dos entrevistados, bem como suas percepções quanto à possível contribuição da ferramenta para o processo de ensino-aprendizado;
- c) Aspectos técnicos: percepção dos especialistas quanto à facilidade de uso e qualidade técnica da simulação para representar o ambiente de trabalho da construção civil;
- d) Percepções quanto ao envolvimento: análises dos especialistas quanto à sua motivação e engajamento no decorrer da experiência e formulação de hipóteses quanto à adequabilidade da ferramenta para fomentar o envolvimento dos alunos no processo de ensino-aprendizado;

- e) Pontos de melhoria e sugestões: comentários dos especialistas quanto a possíveis melhorias que poderiam ser feitas no protótipo do GerenciObras;
- f) Conclusão: oportunidade para os especialistas apresentarem seus comentários finais, de forma livre, e agradecimentos por suas participações.

Concluída a entrevista semi-estruturada, foi solicitado que os especialistas participantes do Estudo II preenchessem uma ficha para avaliar a importância das mecânicas e estratégias utilizadas no GerenciObras para gerar circunstâncias que a literatura aponta serem importantes para contribuir com o processo de ensino-aprendizado. Uma vez que se tratava de uma análise complexa, envolvendo uma quantidade razoável de alternativas e critérios, utilizou-se uma adaptação do método de tomada de decisão multicritério denominado *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (Saaty, 2004) para estruturação da ficha.

O método é particularmente útil em situações como a apresentada, visto que permite a hierarquização de diferentes alternativas em relação a determinado critério por meio da realização de comparações paritárias (duas a duas) entre as alternativas. A estratégia de se utilizar comparações paritárias facilita o processo de análise do avaliador, à medida que este não precisa comparar diversas alternativas simultaneamente para realizar sua análise, o que seria um processo substancialmente trabalhoso e complexo (Lucena; De Mori, 2018).

No contexto da ficha avaliativa a ser preenchida, e seguindo-se os procedimentos metodológicos da abordagem AHP, foram definidas as alternativas (mecânicas/características do GerenciObras), apresentadas no Quadro 3, a serem avaliadas e hierarquizadas. Para isso, tais alternativas foram comparadas paritariamente em relação à sua importância/relevância em relação a cada um dos critérios apresentados no Quadro 4, que fazem alusão às características desejáveis a uma ferramenta que utilize tecnologia de Realidade Estendida para capacitar alunos de engenharia civil sobre gestão de perdas não-físicas na construção civil (extraídas da análise da literatura e detalhadas nos tópicos 4.3 e 5.2 deste trabalho).

**Quadro 3 – Alternativas do Método AHP do Estudo II**

ID	Descrição	Exemplos no GerenciObras
A1	Observação passiva (missões, tarefas, informações visuais ou verbais sem direcionamento do foco do participante ao objetivo pretendido)	Cenário virtual, quadros informativos no cenário, instruções do personagem Alpha, animações da central de argamassa e estoques
A2	Observação ativa (missões, tarefas, informações visuais ou verbais que direcionam o foco do participante ao objetivo pretendido)	GerenciCards, tarefas nos apartamentos
A3	Tomadas de decisão	Botão para compra de estoques no canteiro de obras
A4	Interação com NPCs (Personagens)	Diálogos com os trabalhadores
A5	Tutorial e/ou presença de um personagem instrutor e/ou manual de uso	Tutorial, Manual de Uso, personagem Alpha, presença do Juiz
A6	Informações e questões conceituais/teóricas	Questões de concurso apresentadas na simulação
A7	Sistemas de pontos	GerenciCoins, Reais
A8	Atribuição de papéis para os participantes	Papéis de Juiz, Investigador e Equipe
A9	Alternância de papéis entre os participantes	Rodízio entre Investigador e Equipe a cada 20 minutos
A10	Associação de componentes virtuais e reais no decorrer da experiência	Simulação e GerenciCards
A11	<i>Feedback</i> de desempenho	Quadro de reuniões, momento de reflexão após a experiência
A12	Missões e objetivos bem definidos	Busca por perdas no cenário
A13	Exploração da percepção espacial do usuário	Alocação de itens no almoxarifado de forma confusa e em diferentes alturas, necessidade de visitar um local específico não identificado (ex.: apartamento 301)

Fonte: o autor.

**Quadro 4 – Critérios do Método AHP do Estudo II (continua)**

ID	Descrição	Explicação
C1	Virtualidade e Portabilidade	Capacidade de a ferramenta ser utilizada sem grande dependência de infraestrutura física fixa e presença física de todos os envolvidos
C2	Repetitividade	Possibilidade de refazer a capacitação de forma ágil e prática
C3	Interatividade	Existência de recursos que possibilitem ao usuário interagir ativamente com a ferramenta
C4	Aprendizagem Experiencial	Aprendizado pautado na vivência de experiências práticas
C5	Flexibilidade e Versatilidade	Capacidade da dinâmica da ferramenta de se adaptar às especificidades do público-alvo (idade, facilidade com o uso de tecnologia, entre outros)

Fonte: o autor.

**Quadro 4 – Critérios do Método AHP do Estudo II (continuação)**

ID	Descrição	Explicação
C6	Transparência	Presença de elementos e mecânicas que facilitem a visualização e análise da simulação, bem como a relação entre as decisões tomadas e as suas consequências
C7	Imersão tecnológica	Uso sistemático de recursos tecnológicos que promovam a sensação de presença do usuário durante a simulação
C8	Rastreabilidade de desempenho	Capacidade de fornecer dados e parâmetros ao usuário que permita analisar seu desempenho alcançado
C9	Abordagem pedagógica	Presença de elementos adequados ao tipo de capacitação desejada: conhecimento técnico e teórico, habilidades psicomotoras, habilidades interpessoais ou compreensão espacial

**Fonte:** o autor.

Assim, conforme procedimentos metodológicos do método AHP (Saaty, 2004), os avaliadores deveriam comparar o quanto uma alternativa é mais ou menos importante do que outra frente a certo critério. Por exemplo, para comparar as mecânicas “observação passiva (missões, tarefas, informações visuais ou verbais sem direcionamento do foco do participante ao objetivo pretendido)” e “observação ativa (missões, tarefas, informações visuais ou verbais que direcionam o foco do participante ao objetivo pretendido)” frente ao critério “Virtualidade e Portabilidade”, o avaliador deveria responder à pergunta: “quão preferível/importante é a mecânica de ‘**observação passiva**’ em relação a mecânica de ‘**observação ativa**’ para contribuir com a característica ‘**Virtualidade e Portabilidade**’ no GerenciObras?”

A pergunta deveria ser respondida atribuindo-se uma nota que expressava a percepção do avaliador. Essa nota deveria obedecer aos possíveis valores estabelecidos na Escala de Saaty, conforme apresentado no Quadro 5.

Nessa escala, valores menores que 1 representam que o primeiro critério/alternativa é menos preferível que o segundo, de modo que 1/9 significa que ele é extremamente menos preferível e 1 significa que ele é igualmente preferível. Analogamente, valores maiores que 1 evidenciam que o primeiro critério/alternativa é mais preferível que o segundo, de modo que 9 significa que ele é extremamente mais preferível e 1 significa que ele é igualmente preferível.

**Quadro 5 – Escala de Saaty**

<b>Nota</b>	<b>Descrição</b>
1/9	EXTREMAMENTE <b>menos</b> importante
1/7	BASTANTE <b>menos</b> importante
1/5	MUITO <b>menos</b> importante
1/3	POUCO <b>menos</b> importante
1	IGUALMENTE importante
3	POUCO <b>mais</b> importante
5	MUITO <b>mais</b> importante
7	BASTANTE <b>mais</b> importante
9	EXTREMAMENTE <b>mais</b> importante

**Fonte:** (Lucena, 2017)

Na aplicação tradicional do método AHP, orienta-se que, em um mesmo critério, todas as alternativas precisam ser confrontadas entre si para que seja realizada a hierarquização (Saaty, 2004). Porém, para a situação apresentada no Estudo II, que conta com 13 alternativas e 9 critérios, esse processo resultaria em 1404 comparações paritárias, tornando a análise demasiadamente trabalhosa e inviável.

Assim, utilizou-se uma adaptação do método proposta por Leal (2008), que consiste na adoção de uma única alternativa como referência em cada critério, sendo a comparação paritária realizada confrontando-se as demais alternativas com esta adotada como referência. Ressalta-se que Wolff (2008) comparou os resultados obtidos na aplicação do método AHP com a simplificação proposta por Leal (2008) e com os procedimentos tradicionais do método (Saaty, 2004) e não observou mudanças expressivas, concluindo que a simplificação poderia ser utilizada sem grandes distorções nos resultados gerados. Ao utilizar a adaptação de Leal (2008) na aplicação do método no Estudo II, os avaliadores necessitaram realizar apenas 108 comparações paritárias, o que tornou a análise viável de ser executada.

Em síntese, os especialistas convidados a participar do Estudo II, denominados “avaliadores” nesse processo de análise por meio do método AHP, realizaram a comparação entre as alternativas em relação a cada critério, preenchendo a ficha avaliativa (Quadro 6) individualmente, atribuindo notas conforme a Escala de Saaty. Em seguida, as respostas de ambos os avaliadores foram unificadas em uma única matriz de julgamentos, realizando-se uma média

geométrica entre as notas correspondentes atribuídas pelos avaliadores em suas respectivas fichas.

**Quadro 6 – Ficha de avaliação – Estudo II**

<b>Critério</b>	C <sub>i</sub>	<b>Definição</b>	...										
<b>Alternativa de referência</b>	A <sub>i</sub>	<b>Definição</b>	...										
<b>Matriz de Julgamento</b>	<b>Demais alternativas de comparação (A<sub>j</sub>)</b>												
	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>	<b>A6</b>	<b>A7</b>	<b>A8</b>	<b>A9</b>	<b>A10</b>	<b>A11</b>	<b>A12</b>	<b>A13</b>
<b>A<sub>i</sub> (alternativa de referência)</b>													

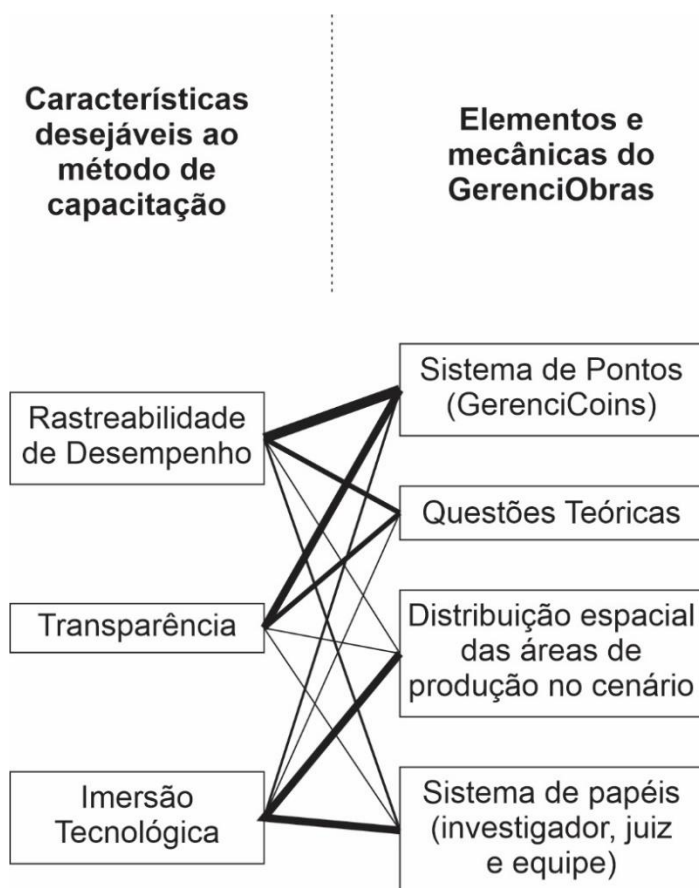
**Fonte:** o autor

Para determinação da hierarquia das alternativas em cada critério, foram realizados os seguintes procedimentos de cálculo, conforme a adaptação proposta por Leal (2008):

- Determinação do inverso ( $\frac{1}{a_{ij}}$ ) das notas ( $a_{ij}$ ) atribuídas pelos avaliadores, comparando a alternativa de referência (i) com a alternativa (j);
- Determinação do peso de preferência/importância da alternativa de referência (i) no critério analisado, dado por  $\frac{1}{\sum \frac{1}{a_{ij}}}$ ;
- Determinação dos pesos de preferência/importância das demais alternativas (j) no critério analisado, dados por  $\frac{1}{a_{ij}} \cdot \frac{1}{\sum \frac{1}{a_{ij}}}$ .

Ordenando-se as alternativas em relação aos pesos obtidos em cada critério, estabeleceu-se a ordem de preferência dos avaliadores quanto à utilização de certa mecânica (alternativa) para acentuar uma característica específica (critério) no GerenciObras. Por fim, para facilitar a visualização dessa hierarquia, desenvolveram-se diagramas que conectam as mecânicas às características, de modo que a espessura da reta de conexão entre elas expressa a proximidade da sua relação (quanto mais espessa a linha, mais forte a relação, e vice-versa). Um exemplo ilustrativo dos diagramas desenvolvidos é apresentado na Figura 13.

**Figura 13** – Exemplo de diagrama a ser obtido a partir do Estudo II



**Fonte:** o autor.

#### 4.4.4 Versão Final do Artefato

Durante a realização do Estudo II, foram identificados pontos de melhoria no protótipo (versão beta) do GerenciObras. Tais melhorias foram analisadas pelo pesquisador autor deste trabalho e, conforme se julgou possível e adequado realizá-las, foram incorporadas à ferramenta. Um resumo das mudanças efetuadas no GerenciObras após a realização do Estudo II é apresentado na seção 5.3.3 deste trabalho. Assim, a versão final do GerenciObras, denominado “artefato” na estratégia de pesquisa que fundamenta esse trabalho, é constituída essencialmente pelos mesmos recursos da versão beta (protótipo), acrescidos das correções e melhorias estabelecidas no Estudo II.

#### 4.5 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO (ESTUDO III)

A avaliação da versão final do artefato desenvolvido foi realizada por meio do Estudo III, em que a inovação foi utilizada com alunos graduandos em engenharia civil de duas instituições públicas de ensino superior, denominadas Instituição X e Instituição Y. Este estudo foi dividido em duas Fases:

- a) Fase 1 (Instituição X): avaliação do potencial do GerenciObras e do método intrínseco a ele para contribuir com a capacidade dos treinandos para identificar fontes de perdas não-físicas no processo produtivo de canteiros de obras da construção civil, e avaliação da percepção dos treinandos quanto à utilidade e facilidade de uso da inovação;
- b) Fase 2 (Instituição Y): avaliação das características do GerenciObras que contribuem, na percepção dos usuários, para demandas do processo de ensino-aprendizado.

Na **Fase 1**, foram convidados a participar do estudo 13 alunos regularmente matriculados no curso de graduação em engenharia civil (modalidade presencial) na Instituição X. Salienta-se que a amostra pequena de alunos selecionados para esse estudo se deve ao fato de que os procedimentos realizados para a avaliação do simulador são trabalhosos e extensos, impossibilitando que sejam feitos com grupos maiores ou reaplicados em diferentes ocasiões.

O único pré-requisito para a participação foi que os alunos estivessem cursando Engenharia Civil no momento de realização do estudo. Não foram estabelecidos requisitos quanto ao conhecimento prévio ou ano da graduação dos participantes, visto que os voluntários participariam de um nivelamento teórico sobre o tema (como será detalhado a seguir). Além disso, um dos pontos de interesse do estudo era analisar as contribuições do GerenciObras a alunos com diferentes experiências (acadêmicas e profissionais).

Os alunos convidados a participar do estudo faziam parte de um projeto extracurricular de atividades de ensino, pesquisa e extensão da instituição. No momento do convite, o pesquisador autor deste trabalho informou que a participação deles era anônima e voluntária, e que eles poderiam interromper a participação deles no estudo quando desejassem. Foram considerados aptos e, portanto, selecionados a participar do estudo, todos os que consentiram com essas condições.

Inicialmente, no dia 06 de novembro de 2023, os participantes participaram de uma aula teórica sobre a temática de gestão de perdas na construção civil ministrada pelo pesquisador autor deste trabalho, com a finalidade de nivelar o conhecimento de todos os alunos a respeito do tema, bem como simular a metodologia tradicionalmente utilizada no processo de ensino-aprendizado no cenário brasileiro. Os procedimentos metodológicos desta aula foram os mesmos utilizados no Estudo II.

Em seguida, por meio de um sorteio, os alunos participantes foram igualmente<sup>4</sup> e aleatoriamente divididos em dois grupos, denominados Grupo A e Grupo B. Individualmente, responderam ao questionário de caracterização dos participantes apresentado no Quadro 7.

**Quadro 7** – Questionário de caracterização dos participantes – Estudo III

<b>Grupo da pesquisa</b>	
<b>Nome completo</b>	
<b>Instituição em que estuda</b>	
<b>Tipo de instituição em que estuda (pública/particular)</b>	
<b>Idade</b>	
<b>Ano da graduação que está cursando (considere o ano em que tem mais disciplinas em andamento)</b>	
<b>Tempo, em anos completos, de experiência prática na área (estágio ou atividades relacionadas ao setor de construção civil)</b>	

**Fonte:** o autor

Nesse momento, também foi solicitado que os participantes de ambos os grupos realizassem uma atividade com vistas a verificar se ambos os grupos apresentavam desempenho semelhante na identificação de perdas não-físicas em processos produtivos da construção civil. A atividade, denominada Estudo de Caso 01, consistiu em um relato fictício, com cerca de 1200 palavras, que descrevia a rotina de trabalho de um canteiro de obras de um edifício multipavimentos. O relato

<sup>4</sup> Devido ao número ímpar de participantes, sete foram selecionados para o Grupo A e seis foram selecionados para o Grupo B. Salienta-se que a existência de um integrante a mais no Grupo A não representa um problema para a análise, visto que os dados coletados foram analisados tendo em vista os valores médios de cada grupo.

foi gerado com o auxílio da ferramenta de inteligência artificial ChatGPT® (Open AI, 2023), de modo que caracterizasse uma rotina produtiva em que várias perdas processuais pudessem ser identificadas. Para isso, forneceu-se à plataforma a relação de fatores de perdas não-físicas identificados na etapa de revisão sistemática de literatura relatada neste trabalho (cujos resultados são devidamente apresentados na seção 5.1.2).

Além do relato, foi solicitado que a plataforma gerasse um quadro com os possíveis fatores de perdas processuais que poderiam ser identificados na história contada. As versões-base do relato e do quadro de perdas gerados pela inteligência artificial foram revisadas e aprimoradas pelo pesquisador autor deste trabalho, e estão disponíveis no Apêndice D deste trabalho.

De posse do relato (Estudo de Caso 01), os alunos participantes deveriam realizar a sua leitura, grifando ou destacando com a caneta (ou instrumento similar) passagens do texto em que se pudessem identificar fontes de perdas processuais na narrativa. Cada destaque realizado pelos participantes no texto deveria ser identificado com o número, sem ocorrer repetições. Em seguida, ele deveria preencher uma ficha avaliativa (Quadro 8), informando o código de identificação da perda grifada e descrevendo ao que se referia essa perda. No momento de preenchimento da ficha, também foi solicitado que os participantes autoavaliassem seu preparo para identificar fontes de perdas processuais ao atuar como gestor em um canteiro de obras da construção civil (Quadro 9).

Após a realização do Estudo de Caso 01, os dois grupos, A e B, foram separados. Nesse momento, o Grupo B foi conduzido a participar da capacitação complementar sobre o tema utilizando o GerenciObras. O pesquisador autor deste trabalho atuou como instrutor da atividade (assumindo o papel de “juiz” na dinâmica do GerenciObras, conforme dinâmica do GerenciObras apresentada na seção 5.3.1 deste trabalho), e os demais participantes se alternaram nos papéis de “Investigador” e “Equipe”. A simulação foi exibida aos participantes por meio do uso dos óculos de realidade virtual Meta Quest 2® e de um projetor multimídia conectado ao computador que processava a simulação. A capacitação teve duração aproximada de 60 minutos.

**Quadro 8** – Ficha avaliativa do Estudo de Caso – Estudo III

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	CORREÇÃO
1	...	...
2	...	...

**Fonte:** o autor

**Quadro 9** – Autoavaliação quanto ao preparo do participante para identificação de perdas – Estudo III

<b>Em uma escala de 1 a 5, por favor, avalie o seu nível de preparo para identificar fontes de perdas processuais enquanto atua como gestor em um canteiro de obras da construção civil.</b>	
<b>Legenda:</b> <b>Nota 1:</b> Não me sinto preparado para identificar perdas processuais como gestor de canteiro de obras. <b>Nota 2:</b> Estou razoavelmente preparado, mas vejo espaço para melhorias. <b>Nota 3:</b> Tenho um preparo moderado, com margem para aprimoramento. <b>Nota 4:</b> Sinto-me bem-preparado, embora haja espaço para melhorias. <b>Nota 5:</b> Estou extremamente preparado e confiante na identificação de perdas processuais.	

**Fonte:** o autor

Após o uso do GerenciObras pelo Grupo B, ambos os grupos A e B foram novamente reunidos. Os participantes de ambos os grupos foram orientados a não compartilharem experiências entre si sobre as vivências no decorrer do estudo, com vistas a reduzir fatores que pudessem intervir no estudo. Em seguida, foi solicitado que eles fizessem a análise do Estudo de Caso 02, que consistiu em um novo relato fictício da rotina de trabalho de um canteiro de obras (também disponível no Apêndice D). O desenvolvimento do relato pelo pesquisador e a sua análise pelos participantes seguiu os mesmos procedimentos já relatados para o Estudo de Caso 01. Adicionalmente, neste momento foi solicitado que os participantes do Grupo B preenchessem uma ficha avaliativa adicional (Quadro 10), relacionada a suas percepções quanto à utilidade e facilidade de uso do GerenciObras.

A intenção com a realização do Estudo de Caso 02 foi investigar se houve alguma mudança de desempenho da análise do Caso 01 para o Caso 02 diferente entre os Grupos A e B. Assim, caso fossem identificados desempenhos similares entre os Grupos A (grupo de controle) e o Grupo B (grupo que usou o simulador), indicar-se-ia que, possivelmente, o treinamento complementar com o GerenciObras não acarreta influências expressivas no desempenho dos seus usuários no que diz

respeito à identificação de perdas processuais no canteiro de obras. Em contrapartida, ao se notar diferenças nos desempenhos de ambos os grupos, pode-se suspeitar de que o treinamento complementar influencia (positivamente ou negativamente) nesse aspecto.

**Quadro 10** – Ficha avaliativa da percepção dos usuários quanto à utilidade e facilidade de uso do GerenciObras – Estudo III

<b>Avalie cada item com uma nota de 1 a 5, indicando o quanto você concorda com a afirmação, onde 1 representa forte discordância e 5 representa forte concordância.</b>	
<b>ITEM</b>	<b>NOTA</b>
A interface virtual do GerenciObras era intuitiva e fácil de usar.	
O GerenciObras proporcionou uma experiência realista de situações de gestão de perdas na construção civil.	
O GerenciObras ajudou a melhorar minha compreensão das práticas de gestão de perdas na construção civil.	
O GerenciObras estimulou meu interesse em aprender mais sobre gestão de perdas na construção civil.	
O tempo gasto no GerenciObras foi bem investido em termos de aprendizado.	
A duração da experiência no GerenciObras foi adequada.	
Eu recomendaria o uso do GerenciObras a outros interessados em aprender sobre gestão de perdas na construção civil.	
<b>Legenda:</b> 1: Muito Insatisfatório 2: Insatisfatório	3: Neutro 4: Satisfatório 5: Muito Satisfatório

**Fonte:** o autor

É importante lembrar também que, conforme discutido no Capítulo 3 deste trabalho, estudos anteriores observaram mudanças de desempenho a longo prazo dos usuários treinados por meio de recursos de realidade estendida. Nesse sentido, a literatura discute que pode haver diferentes contribuições no uso desse tipo de treinamento a curto prazo (para aquisição de conhecimento) e a longo prazo (para retenção do conhecimento adquirido).

Nesse sentido, para verificar os impactos do uso do simulador a longo prazo, foi solicitado que os Grupos A e B analisassem um novo estudo de caso no dia 20 de novembro de 2023, duas semanas<sup>5</sup> após a realização dos Estudos de Caso 01 e 02. Esse novo estudo de caso, denominado Estudo de Caso 03, também é apresentado no Apêndice D deste trabalho. O desenvolvimento e análise deste estudo de caso seguiu os mesmos procedimentos metodológicos que os anteriores.

Como dito, a intenção com o Estudo de Caso 03 foi avaliar se a longo prazo

<sup>5</sup> O intervalo de tempo foi definido com base em Buttussi e Chittaro (2018), que também utilizaram esse período de duas semanas para a condução de um estudo similar ao apresentado no Estudo III – Fase 1.

(após duas semanas), notavam-se diferenças de desempenho entre os grupos investigados, avaliando-se os possíveis impactos, a longo prazo, do uso do simulador. As fichas avaliativas preenchidas pelos participantes nos três estudos de caso foram analisadas pelo pesquisador autor deste trabalho, que contabilizou o número de perdas identificadas de forma assertiva e de forma inadequada pelos voluntários.

Na **Fase 2** do Estudo III, um grupo de 2 alunos da Instituição Y foram convidados a participar do estudo. Novamente, salienta-se que a quantidade reduzida dos participantes se deve à natureza do estudo, especificamente em relação à aplicação do método AHP, que requer procedimentos trabalhosos que impedem sua realização com grupos maiores.

De forma análoga à Fase 1, considerou-se serem aptos a participar do estudo alunos regularmente matriculados no curso de Engenharia Civil (modalidade presencial) da referida instituição. O convite para participação do estudo foi divulgado entre as turmas da instituição, tendo sido selecionados para participar os dois primeiros a se manifestaram, compondo, assim, o Grupo C.

No dia 17 de novembro de 2023, paralelamente à realização da Fase 1 do estudo, os voluntários do Grupo C participaram de uma experiência com o GerenciObras. De forma análoga ao descrito para a Fase 1, todos os participantes do Grupo C vivenciaram a experiência no GerenciObras, em que o pesquisador autor deste trabalho novamente atuou como instrutor/juiz.

Concluída a experiência no simulador, foi solicitado que os participantes preenchessem uma ficha para avaliar a importância das mecânicas e estratégias utilizadas no GerenciObras para contribuir com demandas do processo de ensino-aprendizado sobre gestão de perdas na construção. Essas demandas foram mapeadas no decorrer do Estudo I relatado neste trabalho (cujos resultados são devidamente discutidos na seção 5.1.3).

De forma análoga ao Estudo II, foi utilizada uma adaptação do método de tomada de decisão multicritério denominado *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (Saaty, 2004) para preenchimento da ficha avaliativa. Assim, foram definidas as alternativas (mecânicas/características do GerenciObras), apresentadas no Quadro 11, a serem avaliadas e hierarquizadas (as mesmas alternativas do Estudo II). Tais alternativas foram comparadas paritariamente em relação à sua importância/relevância em relação a cada um dos critérios apresentados no Quadro

12, que fazem alusão às demandas do processo de ensino-aprendizado sobre gestão de perdas não-físicas na construção civil mais relatadas pelos alunos consultados no Estudo I (detalhadas no tópico 5.1.3 deste trabalho).

**Quadro 11 – Alternativas do Método AHP do Estudo III**

ID	Descrição	Exemplos no GerenciObras
A1	Observação passiva (missões, tarefas, informações visuais ou verbais sem direcionamento do foco do participante ao objetivo pretendido)	Cenário virtual, quadros informativos no cenário, instruções do personagem Alpha, animações da central de argamassa e estoques
A2	Observação ativa (missões, tarefas, informações visuais ou verbais que direcionam o foco do participante ao objetivo pretendido)	GerenciCards, tarefas nos apartamentos
A3	Tomadas de decisão	Botão para compra de estoques no canteiro de obras
A4	Interação com NPCs (Personagens)	Diálogos com os trabalhadores
A5	Tutorial e/ou presença de um personagem instrutor e/ou manual de uso	Tutorial, Manual de Uso, personagem Alpha, presença do Juiz
A6	Informações e questões conceituais/teóricas	Questões de concurso apresentadas na simulação
A7	Sistemas de pontos	GerenciCoins, Reais
A8	Atribuição de papéis para os participantes	Papéis de Juiz, Investigador e Equipe
A9	Alternância de papéis entre os participantes	Rodízio entre Investigador e Equipe a cada 20 minutos
A10	Associação de componentes virtuais e reais no decorrer da experiência	Simulação e GerenciCards
A11	Feedback de desempenho	Quadro de reuniões, momento de reflexão após a experiência
A12	Missões e objetivos bem definidos	Busca por perdas no cenário
A13	Exploração da percepção espacial do usuário	Alocação de itens no almoxarifado de forma confusa e em diferentes alturas, necessidade de visitar um local específico não identificado (ex.: apartamento 301)

Fonte: o autor.

**Quadro 12 – Critérios do Método AHP do Estudo III (continua)**

ID	Descrição	Explicação (demanda do aluno no processo de ensino-aprendizado)
C1	Experiência prática	Vivenciar situações práticas relacionadas ao conteúdo aprendido
C2	Visualização da relação de causa-consequência	Compreender a relação de causa-consequência entre as decisões tomadas pelo treinando e seus impactos na situação

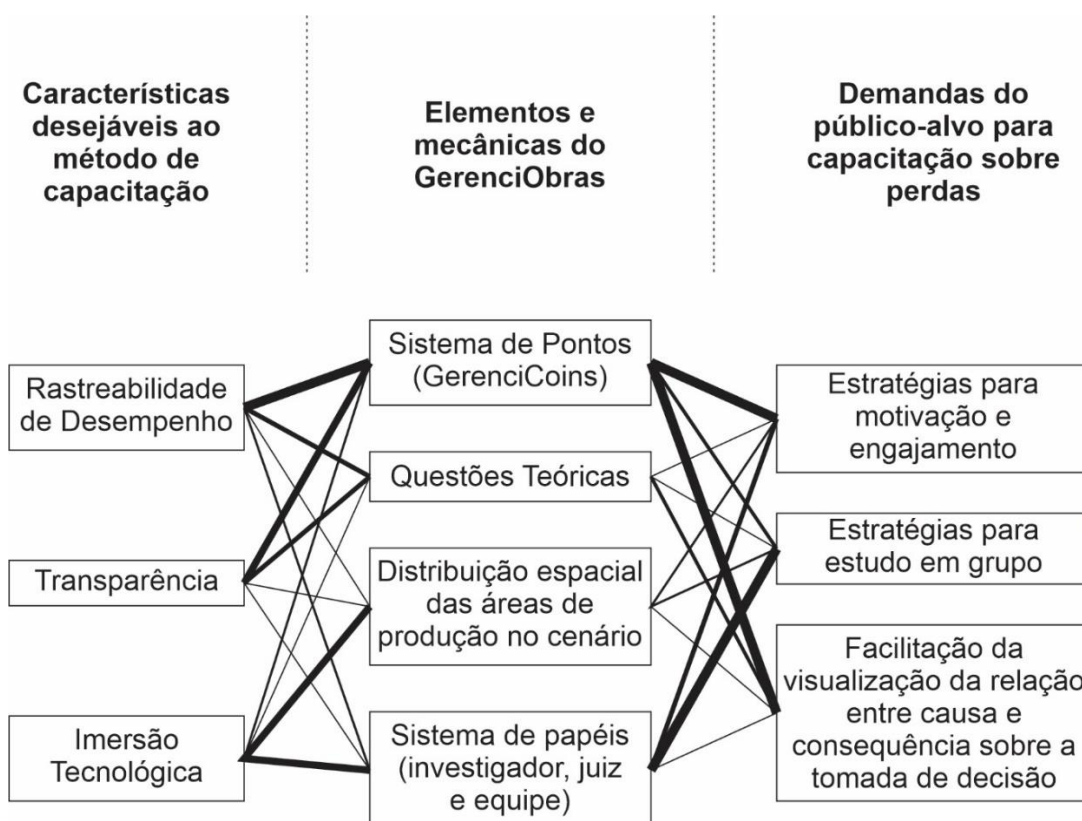
Fonte: o autor.

**Quadro 12** – Critérios do Método AHP do Estudo III (continuação)

ID	Descrição	Explicação (demanda do aluno no processo de ensino-aprendizado)
C3	Estratégias que fomentem motivação e engajamento	Me manter motivado e engajado no decorrer do processo de ensino-aprendizado
C4	Repetitividade	Fixar o conteúdo aprendido por meio da repetição dele em diferentes situações
C5	Discussão em grupo	Aprofundar meus conhecimentos, à medida que discuto ideias com outros treinandos

Fonte: o autor.

As alternativas foram comparadas em cada critério da mesma forma que no Estudo II. Dessa forma, estabeleceu-se a ordem de preferência dos participantes quanto a utilização de certa mecânica (alternativa) para contribuir com certa demanda de capacitação. Por fim, para facilitar a visualização dessa hierarquia, desenvolveram-se diagramas que conectam as mecânicas às demandas, associando à versão preliminar desses mesmos diagramas já geradas ao final do Estudo II. Um exemplo ilustrativo dos diagramas desenvolvidos é apresentado na Figura 14.

**Figura 14** – Exemplo de diagrama a ser obtido a partir do Estudo III

Fonte: o autor.

## 5 RESULTADOS: ANÁLISES E DISCUSSÕES

O presente Capítulo apresenta os principais achados obtidos a partir da execução dos procedimentos metodológicos descritos no capítulo anterior. É importante salientar que parte dos resultados (relacionada à revisão de literatura) já foi apresentada nos capítulos anteriores, para fundamentar a relevância da pesquisa e apresentar conceitos teóricos relevantes ao entendimento do trabalho. A fim de se evitar repetições, nesse capítulo se apresenta somente uma síntese dos resultados já apresentados ao leitor, dando maior foco a achados ainda não relatados nos capítulos anteriores.

### 5.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

A identificação do problema ocorreu por meio da Revisão Sistemática de Literatura proposta e pelo Estudo I, norteados pelas questões de pesquisa já apresentadas anteriormente na seção 1.3.

#### 5.1.1 Coleta e caracterização dos dados

No que é tocante à revisão de literatura realizada, a Tabela 1 apresenta a quantidade de estudos identificados e selecionados em cada fase da revisão.

**Tabela 1** – Quantidade de estudos selecionados na revisão de literatura

Fase da RSL	Total de Estudos Encontrados	Aprovados em cada seleção		
		Após Seleção 1	Após Seleção 2	Após Seleção 3
Fase 1	708	179	28	14
Fase 2	347	94	43	20
Fase 3	521	89	59	29

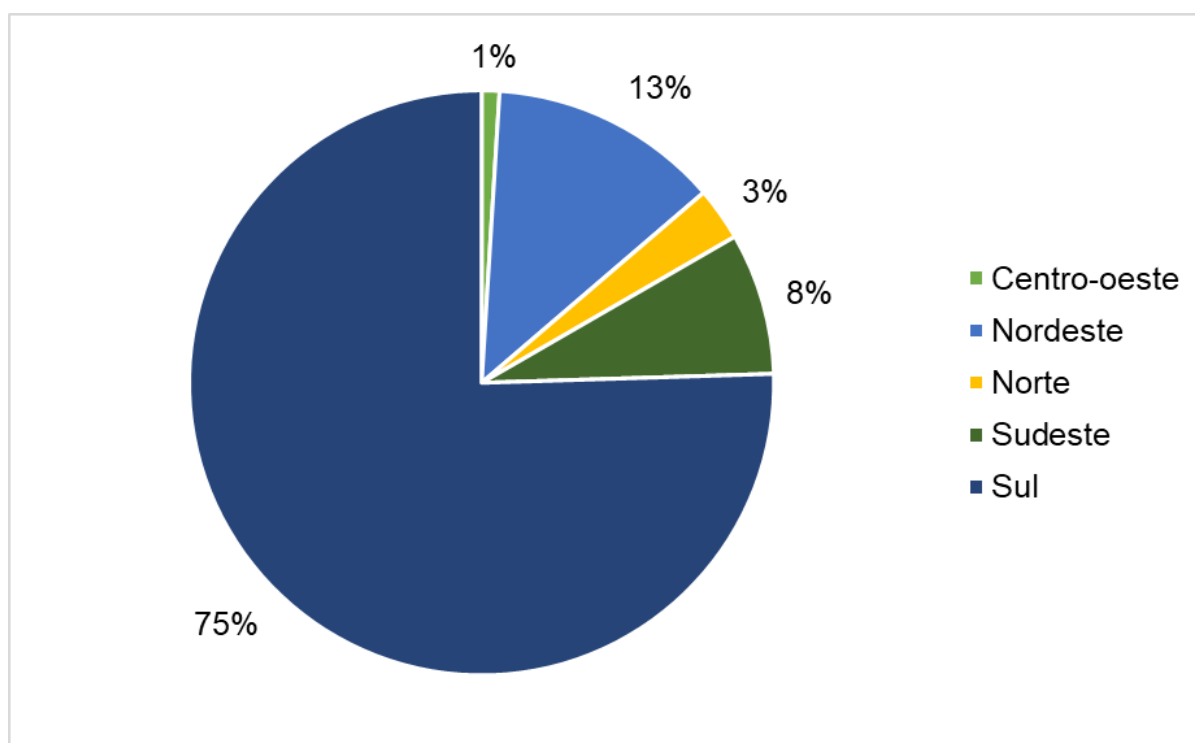
Legenda:

- Seleção 1: análise do título do estudo
- Seleção 2: análise do resumo e palavras-chave
- Seleção 3: análise do texto completo

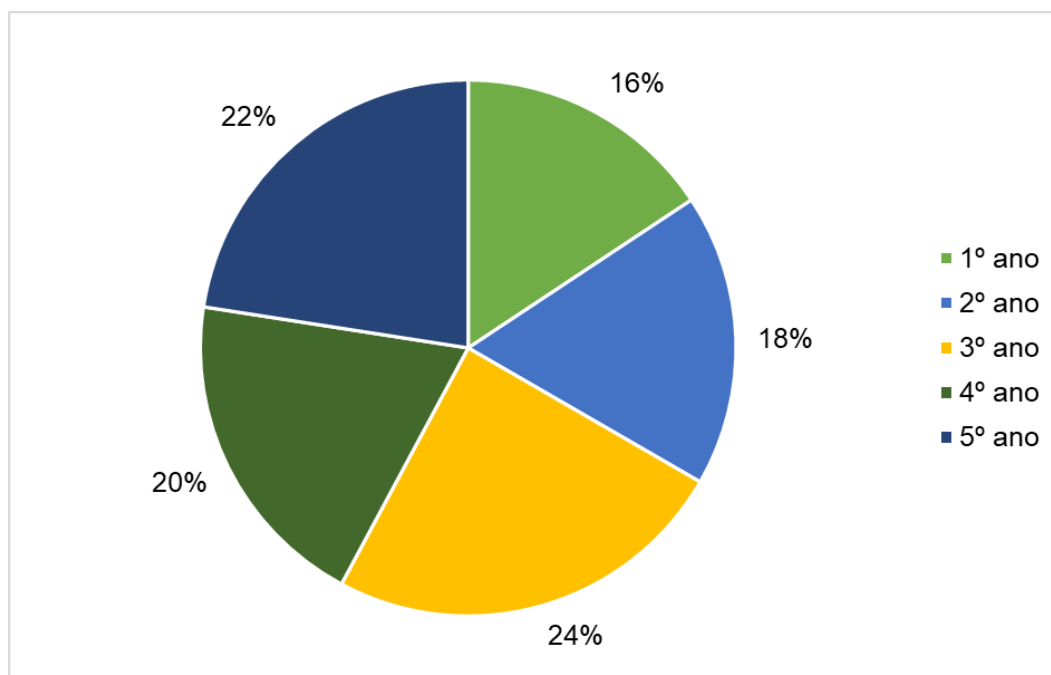
**Fonte:** o autor

Já no que diz respeito ao Estudo I, foram coletadas 132 respostas ao questionário disponível no Apêndice A. Destas, 30 foram removidas com vistas aos critérios de exclusão devido à inconsistência de dados, apresentados na seção 4.2.2 deste trabalho. Logo, foram consideradas 102 respostas válidas para a análise deste estudo (Grupo Geral), em que 45 delas (44%) pertenciam ao Subgrupo 1 (participantes que já haviam estudado sobre perdas na graduação). Em relação ao Grupo Geral, as Figuras 15 e 16 apresentam, respectivamente, a distribuição dos dados no território nacional e por ano de graduação do participante.

**Figura 15** – Distribuição dos dados por região do Brasil



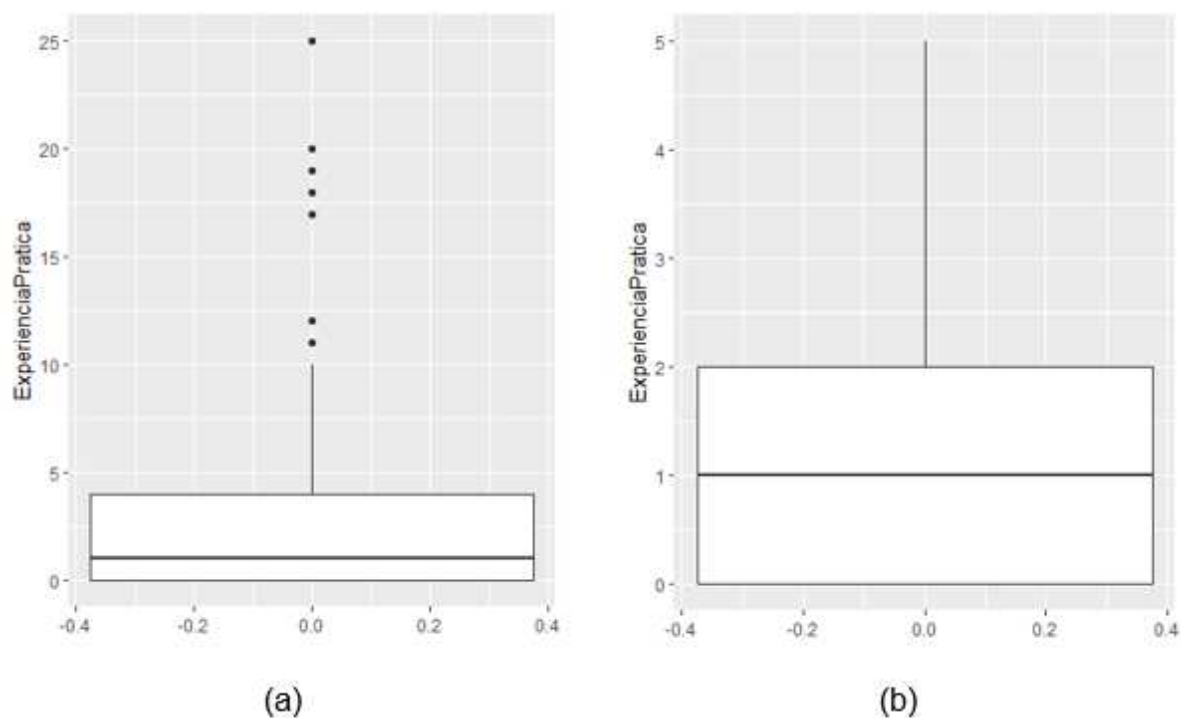
**Fonte:** o autor.

**Figura 16** – Distribuição dos dados por ano da graduação dos participantes

Fonte: o autor.

A maior parte dos participantes (57%) estudavam em IES públicas, e os demais (43%) em instituições particulares. Para a caracterização do grupo em relação ao conhecimento prático sobre o tema (devido a estágios realizados ou experiências similares), elaborou-se o gráfico *box-plot* apresentado na Figura 17 (a). Constatada a existência de *outliers*, estes foram removidos e o gráfico *box-plot* foi refeito, conforme apresentado na Figura 17 (b). Em relação a este último, infere-se que a maior parte dos participantes possui experiência prática de 0 a 2 anos, sendo a mediana dos dados igual a 1 ano.

**Figura 17** – Experiência prática dos participantes, em anos completos (a) antes da exclusão dos *outliers* (b) após a exclusão dos *outliers*



Fonte: o autor.

A análise dos dados expostos caracteriza os participantes do Estudo I como um grupo representativo de alunos em diferentes estágios da graduação em Engenharia Civil e de diferentes modalidades (pública/privada) de IES, com baixo conhecimento prático na área e sediados em diferentes regiões do território nacional.

### 5.1.2 Reflexões sobre a Revisão Sistemática de Literatura

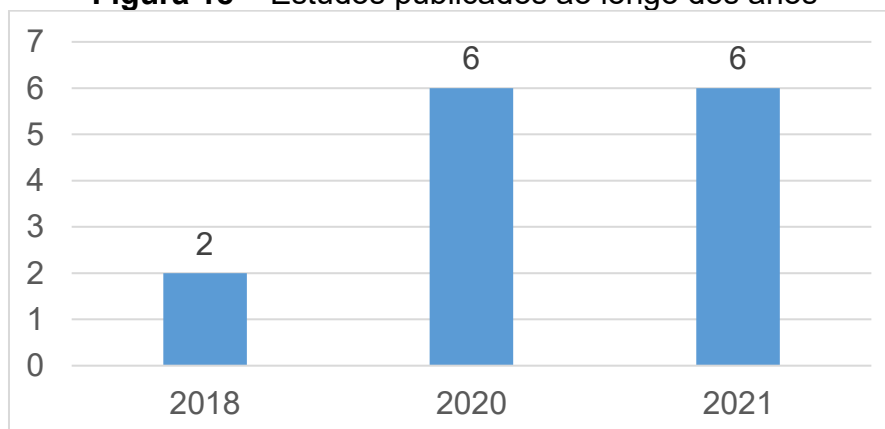
Como visto na Tabela 1, na Fase 1 da Revisão Sistemática de Literatura, identificaram-se apenas 14 estudos que associassem diretamente as tecnologias do espectro da Realidade Estendida, em especial a Realidade Virtual, para capacitações ou treinamentos relacionados à filosofia *Lean* aplicados ao setor de construção civil. O Quadro 13 apresenta os estudos selecionados, bem como sua correlação com as três temáticas de interesse, classificada pelo autor como “Forte”, “Médio” ou “Fraco”.

**Quadro 13** – Estudos selecionados e correlação com as temáticas de interesse

<b>PUBLICAÇÃO</b>	<b>CORRELAÇÃO COM PERDAS/ LEAN</b>	<b>CORRELAÇÃO COM VR/XR</b>	<b>CORRELAÇÃO COM A EDUCAÇÃO</b>
(Arredondo-Méndez <i>et al.</i> , 2021)	FORTE	MÉDIO	FRACO
(Chacón, 2021)	FRACO	MÉDIO	FORTE
(Salvadorinho; Teixeira, 2021)	FORTE	FORTE	FRACO
(Lekan <i>et al.</i> , 2020)	FORTE	FRACO	FRACO
(Wang, Mudan <i>et al.</i> , 2020)	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO
(Shou; Wang; Wu, 2021)	FORTE	MÉDIO	FORTE
(Wang, P. <i>et al.</i> , 2020)	FORTE	FORTE	FORTE
(Liu <i>et al.</i> , 2020)	MÉDIO	FORTE	FORTE
(Spisakova <i>et al.</i> , 2020)	MÉDIO	FORTE	MÉDIO
(Jacobsen; Strange; Teizer, 2021)	FORTE	FORTE	FORTE
(Biotto <i>et al.</i> , 2021)	FORTE	FRACO	FORTE
(Mayr <i>et al.</i> , 2018)	FORTE	FRACO	FRACO
(Uriarte; Ng; Moris, 2018)	FORTE	FRACO	FRACO
(Dallasega <i>et al.</i> , 2020)	FORTE	FORTE	FORTE

**Fonte:** o autor

Destes, conforme exposto na Figura 18, a maioria foi publicada nos últimos anos, sendo que os estudos mais antigos remontam ao ano de 2018. Em relação à metodologia adotada, a maioria (64%) das publicações se embasou em discussões essencialmente teóricas, fundamentadas em revisões sistemáticas ou narrativas de literatura. Apenas 36% desenvolveram algum tipo de simulação ou aplicação prática do tema.

**Figura 18 – Estudos publicados ao longo dos anos**

Fonte: o autor

Os dados apresentados evidenciam uma carência de estudos práticos que associem diretamente as três temáticas de interesse. Também sugerem um crescente interesse sobre o tema em anos recentes.

Apenas três estudos apresentaram forte correlação com as três temáticas de interesse. Wang *et al.* (2020b) criaram um simulador baseado na tecnologia de Realidade Virtual para treinar operários da área de construção civil em tarefas cotidianas, como a montagem de andaimes. Foi utilizada a estratégia *Lean* de Mapeamento do Fluxo de Valor para personalizar o treinamento. Ainda que o desempenho dos treinandos tenha sido aprimorado comparativamente às metodologias tradicionais, os autores pontuaram a necessidade de grande esforço para personalização do treinamento, sendo este limitado a treinamentos individuais.

Jacobsen, Strange e Teizer (2021) desenvolveram um jogo sério multiusuário com tecnologia de Realidade Virtual para treinar operários em princípios da filosofia *Lean*. O simulador trazia duas cenas (situações), sendo que na primeira as tarefas eram executadas sem uso de estratégias *Lean* e na cena subsequente a metodologia *Lean* era adotada.

Dados de performance foram coletados automaticamente, revelando que o desempenho dos usuários na segunda cena (com uso de estratégias *Lean*) foi mais eficiente. Como limitações, nota-se que, ainda que a plataforma seja multiusuária, seu uso depende de vários dispositivos para funcionar (um para cada usuário), o que pode encarecer o sistema e inviabilizar sua utilização. Além disso, a dinâmica do jogo, que utiliza cenas subsequentes para demonstrar os benefícios da *Lean*, pode ter a confiabilidade de sua análise prejudicada pelo efeito da Curva de

Aprendizagem (usuários aprenderam com a primeira cena e naturalmente melhorariam seu desempenho na segunda, independentemente da adoção de estratégias *Lean*).

Dallasega et al. (2020) propuseram o uso do jogo *Villego*®, em que os participantes precisam utilizar conceitos *Lean* de planejamento, baseados no sistema *Last Planner*, para construir um modelo físico (real) de uma casa usando peças de Lego®. A dinâmica da experiência permitiu o uso de recursos de realidade virtual e aumentada para contribuir com a visualização do projeto, apresentado como um modelo virtual que poderia ser visualizado por meio de um *Head-Mounted Display* (óculos de realidade virtual) ou por meio de uma tela de celular ou tablet, projetando o modelo virtual sobre o cenário real do ambiente de treinamento (realidade aumentada). Contudo, tais tecnologias eram utilizadas apenas em momentos pontuais, sendo explorado somente o potencial de visualização tridimensional das tecnologias. Além disso, por se tratar de uma analogia ao processo produtivo da construção civil, utilizando-se peças de Lego® ao invés de rotinas reais do setor, carece de imersão e realismo.

Na Fase 2 da revisão, o foco foi dado à identificação de perdas e dificuldades em sua gestão no canteiro de obras relatadas na literatura. O Capítulo 2 deste trabalho apresenta a devida discussão dos achados dessa etapa do mapeamento sistemático. No Quadro 14, apresenta-se uma síntese das principais categorias de perdas encontradas na literatura, bem como dos seus fatores causadores no canteiro de obras, sem a pretensão de esgotar as discussões acerca do tema.

**Quadro 14** – Fatores potenciais para a geração de perdas na construção (continua)

CATEGORIA: SUPERPRODUÇÃO		
ID	Descrição	Citado por
1	Retrabalhos em geral	(Bajjou; Chafi, 2018a, 2020; Igwe; Nasiri; Hammad, 2021; Issa; Alqurashi, 2020)
2	Reparos diversos	(Bajjou; Chafi, 2018a, 2020)
3	Produção de produtos defeituosos	(Igwe; Nasiri; Hammad, 2021)
4	Produção maior do que a necessária	(Igwe; Nasiri; Hammad, 2021)
5	Equipe de trabalho superdimensionada	(Igwe; Nasiri; Hammad, 2021)
6	Mudanças no escopo do projeto	(Issa; Alqurashi, 2020)

Fonte: o autor.

**Quadro 14** – Fatores potenciais para a geração de perdas na construção (continua)

<b>CATEGORIA: TRANSPORTE</b>		
<b>ID</b>	<b>Descrição</b>	<b>Citado por</b>
1	Alocação de estoques excessivamente distantes do futuro local de uso dos materiais	(Aka <i>et al.</i> , 2019b; Igwe; Nasiri; Hammad, 2021)
2	Realocação de trabalhos em progresso e instalações temporárias	(Igwe; Nasiri; Hammad, 2021)
<b>CATEGORIA: EXCESSO DE PROCESSAMENTO</b>		
1	Teste excessivo de amostras	(Aka <i>et al.</i> , 2019b)
2	Supervisão excessiva	(Bajjou; Chafi, 2018a; Igwe; Nasiri; Hammad, 2021)
3	Instruções de trabalho complexas	(Bajjou; Chafi, 2018a)
4	Método de trabalho ineficientes	(Bajjou; Chafi, 2018a)
5	Desenvolvimento de produtos com a qualidade superior à necessária	(Igwe; Nasiri; Hammad, 2021)
6	Falta de familiaridade com a complexidade do projeto	(Issa; Alqurashi, 2020)
<b>CATEGORIA: PRODUTOS DEFEITUOSOS</b>		
<b>ID</b>	<b>Descrição</b>	<b>Citado por</b>
1	Manuseio inadequado de materiais	(Bajjou; Chafi, 2018c, 2020)
2	Materiais danificados ou deteriorados durante o período de construção	(Bajjou; Chafi, 2018a, 2020)
3	Defeitos de qualidade no geral	(Bajjou; Chafi, 2020)
4	Quebra de equipamento	(Bajjou; Chafi, 2020)
5	Falhas de projeto	(Bajjou; Chafi, 2018a, 2018c; Issa; Alqurashi, 2020)
6	Falha de comunicação entre os envolvidos	(Bajjou; Chafi, 2018c)
7	Informação atrasada, incorreta ou faltante	(Bajjou; Chafi, 2018c; Igwe; Nasiri; Hammad, 2021; Issa; Alqurashi, 2020)
8	Falta de controle de qualidade	(Bajjou; Chafi, 2018c)
9	Materiais de baixa qualidade	(Bajjou; Chafi, 2018c; Issa; Alqurashi, 2020)
10	Má qualificação da mão de obra	(Bajjou; Chafi, 2018c; Issa; Alqurashi, 2020)
11	Erros de execução	(Issa; Alqurashi, 2020)
<b>CATEGORIA: ESPERAS</b>		
<b>ID</b>	<b>Descrição</b>	<b>Citado por</b>
1	Espera excessiva de materiais aguardando transporte	(Aka <i>et al.</i> , 2019b)
2	Espera devido à manutenção de equipamento necessário à continuidade da produção	(Aka <i>et al.</i> , 2019b; Bajjou; Chafi, 2018a; Igwe; Nasiri; Hammad, 2021)

Fonte: o autor.

**Quadro 14 – Fatores potenciais para a geração de perdas na construção (continua)**

<b>CATEGORIA: ESPERAS</b>		
<b>ID</b>	<b>Descrição</b>	<b>Citado por</b>
3	Espera aguardando supervisão ou inspeção ao longo do processo produtivo	(Bajjou; Chafi, 2020; Issa; Alqurashi, 2020)
4	Demora no processo de aprovação ou permissão de alguma etapa do processo produtivo	(Bajjou; Chafi, 2018a, 2020; Igwe; Nasiri; Hammad, 2021; Issa; Alqurashi, 2020)
5	Espera aguardando etapas antecedentes ainda não concluídas	(Bajjou; Chafi, 2018a, 2020; Igwe; Nasiri; Hammad, 2021)
6	Espera pela entrega de materiais necessários à produção	(Bajjou; Chafi, 2018a, 2018c, 2020; Issa; Alqurashi, 2020)
7	Atraso no início da atividade	(Bajjou; Chafi, 2018a, 2020)
8	Atraso na comunicação de instruções	(Bajjou; Chafi, 2018a)
9	Falta de recursos financeiros para aquisição de recursos de produção	(Bajjou; Chafi, 2018c; Issa; Alqurashi, 2020)
10	Demora no processo de tomada de decisão	(Issa; Alqurashi, 2020)
<b>CATEGORIA: MOVIMENTAÇÃO DE TRABALHADORES</b>		
<b>ID</b>	<b>Descrição</b>	<b>Citado por</b>
1	Manuseio excessivo de materiais e equipamentos	(Bajjou; Chafi, 2018c)
2	Deslocamento entre estações de trabalho e áreas de apoio à produção	(Igwe; Nasiri; Hammad, 2021)
3	Falta de familiaridade com o layout do canteiro	(Issa; Alqurashi, 2020)
<b>CATEGORIA: ESTOQUES</b>		
<b>ID</b>	<b>Descrição</b>	<b>Citado por</b>
1	Estocagem de materiais independentemente de eles serem de fato necessários à produção	(Aka <i>et al.</i> , 2019b; Bajjou; Chafi, 2018a, 2020; Igwe; Nasiri; Hammad, 2021)
2	Materiais roubados ou perdidos durante o período de construção	(Bajjou; Chafi, 2018a, 2020; Igwe; Nasiri; Hammad, 2021)
3	Estocagem inadequada de materiais	(Bajjou; Chafi, 2018c)
4	Produção de recursos antes do necessário	(Igwe; Nasiri; Hammad, 2021)
<b>CATEGORIA: MAKING-DO</b>		
<b>ID</b>	<b>Descrição</b>	<b>Citado por</b>
1	Início de tarefas antes de ter seus pré-requisitos concluídos	(Igwe; Nasiri; Hammad, 2021)

Fonte: o autor.

**Quadro 14** – Fatores potenciais para a geração de perdas na construção (continua)

<b>CATEGORIA: MAKING-DO</b>		
<b>ID</b>	<b>Descrição</b>	<b>Citado por</b>
2	Continuidade de tarefa quando ocorre esgotamento dos recursos necessários à sua produção	(Igwe; Nasiri; Hammad, 2021)
3	Início de tarefas antes da aprovação dos projetos	(Issa; Alqurashi, 2020)
<b>CATEGORIA: TALENTO INUTILIZADO</b>		
<b>ID</b>	<b>Descrição</b>	<b>Citado por</b>
1	Inadequação entre a qualificação do trabalhador e a função que ele ocupa	(Bajjou; Chafi, 2020; Igwe; Nasiri; Hammad, 2021)
2	Falta de estratégias de gerenciamento de perdas	(Bajjou; Chafi, 2018c; Issa; Alqurashi, 2020)
3	Conflitos envolvendo trabalhadores	(Bajjou; Chafi, 2018c)
4	Falta de sincronização entre atividades paralelas	(Bajjou; Chafi, 2018c)
5	Falta de envolvimento da gerência	(Bajjou; Chafi, 2018c)
6	Falta de planejamento coletivo	(Bajjou; Chafi, 2018c)
7	Ausência do uso de experiências anteriores para auxiliar no atual projeto	(Igwe; Nasiri; Hammad, 2021)
8	Perda de ideias e oportunidades de aprendizado	(Igwe; Nasiri; Hammad, 2021)
9	Inadequação no processo de contratação de trabalhadores	(Issa; Alqurashi, 2020)
10	Inadequação na motivação e bem-estar dos trabalhadores	(Issa; Alqurashi, 2020)
11	Barreiras de idiomas	(Issa; Alqurashi, 2020)
<b>CATEGORIA: ACIDENTES DE TRABALHO</b>		
<b>ID</b>	<b>Descrição</b>	<b>Citado por</b>
1	Medidas de prevenção de acidentes inadequadas	(Issa; Alqurashi, 2020)
<b>CATEGORIA: ABSENTEÍSMO</b>		
<b>ID</b>	<b>Descrição</b>	<b>Citado por</b>
1	Atrasos em atividade do processo produtivo devido a conversas desnecessárias entre os trabalhadores	(Aka <i>et al.</i> , 2019b)
2	Intervalo de descanso dos trabalhadores desorganizado ou excessivo	(Bajjou; Chafi, 2018a, 2020)

**Fonte:** o autor.

**Quadro 14** – Fatores potenciais para a geração de perdas na construção  
(continuação)

CATEGORIA: TRABALHO INDIRETO		
ID	Descrição	Citado por
1	Tempo gasto na comunicação de instruções do setor de engenharia aos operários	(Bajjou; Chafi, 2020)

**Fonte:** o autor.

A partir do exposto no Quadro 14 e com base nos achados do mapeamento sistemático, nota-se que a gestão das perdas não-físicas no canteiro de obras é complexa, envolvendo diversos fatores que podem contribuir para a sua ocorrência. O trabalhador figura como um dos principais agentes de mudança para mitigar a ocorrência dessas perdas em diversas situações (por exemplo, “Falha de comunicação entre os envolvidos”, “Inadequação na motivação e bem-estar dos trabalhadores”, entre outros). Além disso, ainda que no Quadro 14 os fatores estejam classificados com base na perda a que mais se assemelham, nota-se que um mesmo fator por acarretar diferentes perdas, de diferentes naturezas. Por exemplo, a “estocagem de materiais independentemente de eles serem de fato necessários à produção” pode causar perdas de Espera, conforme consta no Quadro 3, mas também pode ocasionar perda por Transporte, visto que são deslocados materiais que não são necessários à produção.

Na Fase 3 na Revisão Sistemática de Literatura, buscou-se identificar os benefícios que as tecnologias contidas no espectro da Realidade Estendida podem trazer para capacitações sobre a temática de perdas, sendo tais benefícios mapeados a partir da sua aplicação em capacitações em outros contextos. Ademais, também se buscou identificar quais as principais limitações e desafios que essas aplicações anteriores encontraram. O Capítulo 3 deste trabalho apresenta uma discussão detalhada sobre os achados dessa etapa do mapeamento. Em síntese, os Quadros 15 e 16 apresentam as principais descobertas.

**Quadro 15 – Benefícios do uso de Realidade Estendida para capacitações e treinamentos (continua)**

<b>Benefícios</b>	<b>Citado por</b>
Possibilita realizar repetições do treinamento e mudança entre cenário de forma ágil e prática	(Paszkievicz <i>et al.</i> , 2021)
Possibilita experimentar situações (aprender fazendo)	(Abidi <i>et al.</i> , 2019; Ahmed, 2019; Paszkievicz <i>et al.</i> , 2021)
Possibilita o aprendizado à distância e a ambientes inacessíveis de forma segura	(Goulding <i>et al.</i> , 2012; Grassini; Laumann; Skogstad, 2020; Lege; Bonner, 2020; Paszkievicz <i>et al.</i> , 2021)
Não necessita de grande infraestrutura (grande quantidade de equipamentos especializados e espaço físico)	(Goulding <i>et al.</i> , 2012; Grassini; Laumann; Skogstad, 2020; Lege; Bonner, 2020; Paszkievicz <i>et al.</i> , 2021)
Pode facilitar a aquisição e o processamento de informações, no que diz respeito a armazenar, transferir e transformar informações recebidas	(Abich <i>et al.</i> , 2021; Paszkievicz <i>et al.</i> , 2021)
Pode facilitar a retenção de informações, tanto a curto quanto a longo prazo	(Abich <i>et al.</i> , 2021)
Pode facilitar a compreensão de informações complexas	(Ahmed, 2019; Baxter; Hainey, 2019)
Contribui para o desenvolvimento de comunicação, criatividade e pensamento crítico do usuário	(Ahmed, 2019; Baxter; Hainey, 2019)
Fomenta reações comportamentais e afetivas como empatia, motivação e engajamento, provendo maior foco do usuário à simulação e ao seu conteúdo	(Baceviciute <i>et al.</i> , 2022; Bower; DeWitt; Lai, 2020; Howard; Gutworth; Jacobs, 2021; Lege; Bonner, 2020)
Possibilita treino de habilidades psicomotoras	(Abich <i>et al.</i> , 2021; Lege; Bonner, 2020)
Estimula habilidades do usuário relacionadas à orientação e compreensão espacial	(Abich <i>et al.</i> , 2021; Lege; Bonner, 2020)

**Fonte:** o autor

**Quadro 16** – Desafios no uso de Realidade Estendida para capacitações e treinamentos

<b>Desafios</b>	<b>Citado por</b>
Dificuldade de mensurar a eficiência da tecnologia em gerar aprendizado. Comparação do tempo de capacitação com outros métodos de treinamento não é adequada	(Abich <i>et al.</i> , 2021; Abidi <i>et al.</i> , 2019; Bower; DeWitt; Lai, 2020)
Falta de familiaridade do usuário com a tecnologia pode dificultar o treinamento, sendo necessário inicialmente realizar sua ambientação na plataforma	(Fracaro <i>et al.</i> , 2021; Huang; Roscoe, 2021)
Carência de diretrizes pedagógicas para o desenvolvimento de treinamentos com a tecnologia prejudica sua eficiência	(Abich <i>et al.</i> , 2021; Baceviciute <i>et al.</i> , 2022; Fracaro <i>et al.</i> , 2021)
Promoção de imersão e interação durante a simulação dependem dos dispositivos tecnológicos utilizados	(Lege; Bonner, 2020).
Uso prolongado ou inadequado pode gerar náusea ou desconforto do usuário ( <i>cybersickness</i> )	(Baxter; Hailey, 2019; Grassini; Laumann; Skogstad, 2020)
Adequabilidade e eficiência do treinamento podem ser afetadas pela idade dos usuários	(Abich <i>et al.</i> , 2021; Huang; Roscoe, 2021)

**Fonte:** o autor

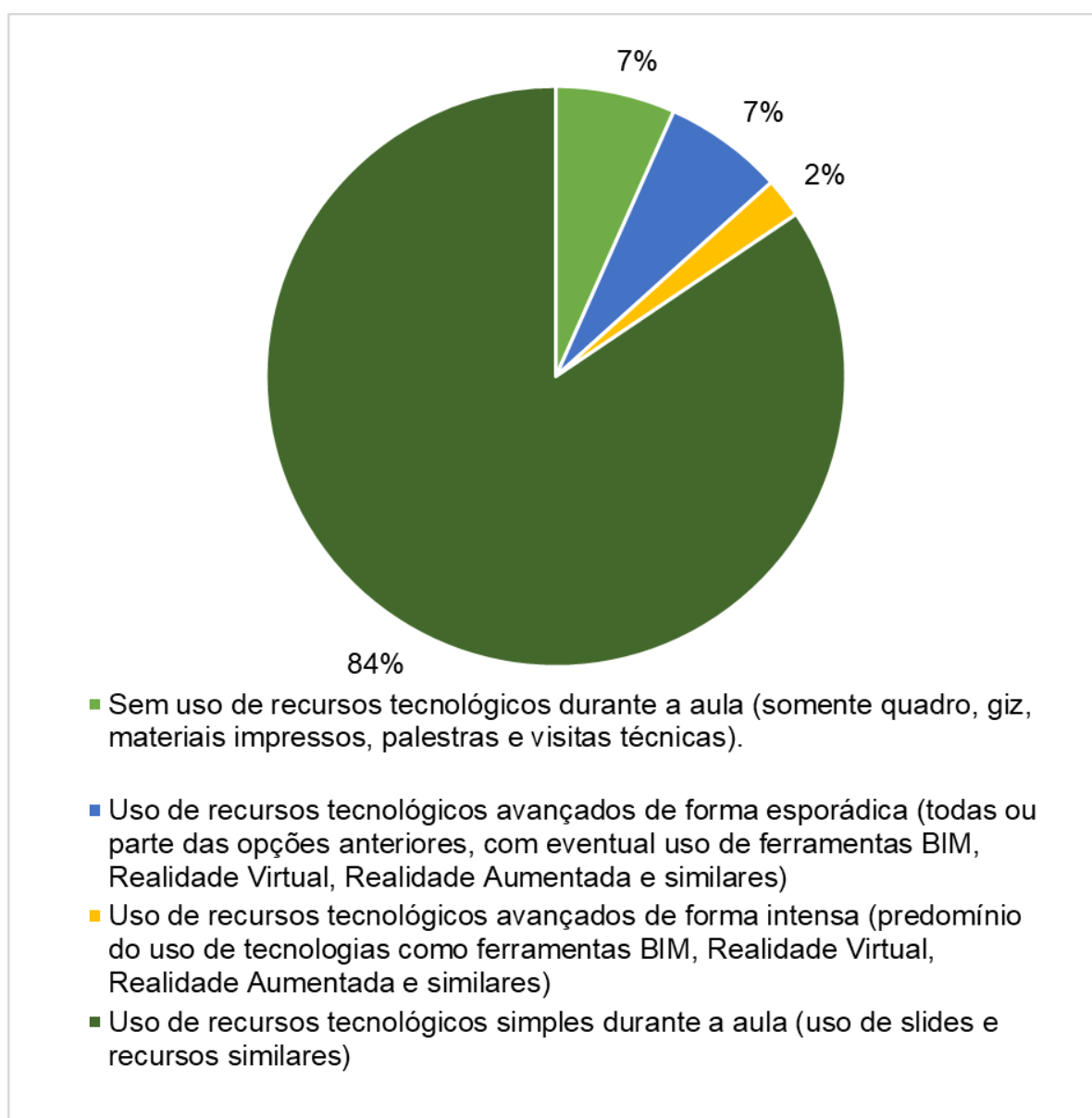
A partir do exposto, nota-se que a tecnologia apresenta benefícios que se mostram promissores para contribuir com os desafios identificados a respeito da gestão de perdas não-físicas na construção e o respectivo ensino sobre o tema. A possibilidade de proporcionar um aprendizado experiencial ao usuário, contribuindo para sua participação ativa no processo, desenvolvendo habilidades de comunicação, pensamento crítico e criatividade torna a tecnologia particularmente atrativa para ser aplicada em um contexto marcado por complexidade de informações e que exige experiência prática. Por outro lado, as limitações apresentadas pela tecnologia caracterizam uma temática em pleno desenvolvimento, evidenciando a necessidade de estudos inovadores que apresentem soluções criativas para contribuir com a melhoria geral do seu uso na área da Educação.

### 5.1.3 Reflexões sobre o Estudo I

Como visto, o Estudo I buscou identificar as percepções dos alunos quanto aos desafios no processo de ensino-aprendizado sobre a gestão de perdas do

processo produtivo conforme preceitos da filosofia *Lean Construction*, bem como as sugestões desses alunos para inovações no processo de capacitação a respeito dessa mesma temática. Nesse sentido, os dados coletados a respeito do **Subgrupo 1** (participantes que tiveram aulas sobre gestão de perdas) evidenciam a percepção das aulas pelos participantes em relação ao nível de uso de recursos tecnológicos conforme apresentado na Figura 19.

**Figura 19** – Distribuição das aulas sobre perdas, em relação ao nível de uso de recursos tecnológicos



Fonte: o autor.

O Teste Qui-Quadrado de Homogeneidade foi realizado para verificar se alguma das alternativas apresentadas na Figura 19 se sobressaía perante o

esperado caso as respostas tivessem sido selecionadas pelos participantes de forma homogênea. O resultado do teste ( $p - valor = 2,2 \cdot 10^{-16}$ ) sugere a rejeição da hipótese nula  $H_0$  e consequente aceitação da hipótese alternativa  $H_1$ , o que indica diferença estatística, com significância de 5%, em relação às frequências com que cada alternativa foi assinalada pelos participantes. A análise dos resíduos gerados pelo teste sugere que a alternativa que se refere ao uso de tecnologias simples durante as aulas ( $resíduo = 9,209094$ ) foi significativamente mais observada do que o esperado, caso as respostas tivessem sido selecionadas pelos participantes de forma homogênea. Já as demais alternativas, isto é, uso inexistente de recursos tecnológicos nas aulas ( $resíduo = -2,840188$ ), uso de recursos tecnológicos avançados de forma esporádica ( $resíduo = -2,840188$ ) e uso de recursos tecnológicos avançados de forma intensa ( $resíduo = -3,528718$ ) foram significativamente menos observadas do que o esperado, caso as respostas tivessem sido selecionadas pelos participantes de forma homogênea.

Questionados sobre a distribuição das aulas entre teoria e prática, 80% dos participantes consideraram que as aulas que participaram apresentaram caráter essencialmente teórico. Os demais (20%) consideraram as aulas equilibradas em relação à proporção do conteúdo apresentado de forma teórica e prática. Não foram observados dados referentes a participantes que considerassem as aulas ministradas sobre o tema essencialmente práticas.

Um Teste Qui-Quadrado de Homogeneidade foi realizado para verificar se alguma das alternativas apresentadas na questão anterior se sobressaía perante o esperado caso as respostas tivessem sido selecionadas pelos participantes de forma homogênea. O resultado do teste ( $p - valor = 6,879 \cdot 10^{-10}$ ) sugere a rejeição da hipótese nula  $H_0$  e consequente aceitação da hipótese alternativa  $H_1$ , o que indica diferença estatística, com significância de 5%, em relação às frequências com que cada alternativa foi assinalada pelos participantes. A análise dos resíduos gerados pelo teste indica que a alternativa que representava aulas majoritariamente teóricas ( $resíduo = 6,640783$ ) foi significativamente mais observada do que o esperado, caso as respostas tivessem sido selecionadas pelos participantes de forma homogênea. Já a alternativa relacionada às aulas majoritariamente práticas ( $resíduo = -4,743416$ ) foi significativamente menos observada do que o esperado, caso as respostas tivessem sido selecionadas pelos participantes de forma homogênea. Na

alternativa relacionada a aulas equilibradas entre teoria e prática (*resíduo* =  $-1,897367$ ) não se observou diferença significativa entre o que seria esperado caso as respostas da questão tivessem sido selecionadas pelos participantes de forma homogênea.

Os dados se contrastam com as percepções dos participantes do Subgrupo 1 em relação aos motivos pelos quais consideravam que seu conhecimento sobre o assunto era nulo ou insatisfatório (Tabela 2). Por um lado, caracterizam-se aulas essencialmente teóricas. Por outro, as principais razões apontadas pelos alunos para seu baixo conhecimento estavam relacionadas à falta de experiências práticas sobre o assunto e à abordagem do tema na disciplina de forma inadequada.

**Tabela 2** – Percepção dos participantes quanto às razões pelas quais seu conhecimento sobre gestão de perdas é nulo ou insatisfatório

Razões para o baixo conhecimento sobre o tema	Número de observações (frequência)
Não vivenciei / não fui apresentado a muitas experiências práticas sobre o assunto.	25
Considero insatisfatória a forma com que o tema foi abordado na disciplina que cursei sobre esse assunto.	19
Me senti entediado / perdi o foco quando estudei esse assunto.	10
Considero o tema muito abstrato e difícil de visualizar.	6
Considero inadequada a didática utilizada pelo professor que abordou esse assunto.	6
Considero o tema muito complexo.	4
Não me interessa pelo tema.	2
Outros...	0
Não acredito que o tema seja importante.	0

Fonte: o autor

Ressalta-se uma prevalência de percepções relacionadas à baixa qualidade e inadequabilidade da metodologia de ensino utilizada em capacitações sobre o tema, visto que as alternativas relacionadas a “abordagem inadequada do tema na disciplina”, “perda de foco e interesse durante o estudo” e “didática insatisfatória do professor” figuram entre as mais citadas. Nota-se, também, que, ainda que a perda

de foco devido ao tédio durante o momento de estudo seja percebida como um dos principais fatores que prejudicam o processo de aprendizado, houve poucas respostas relacionadas à percepção do tema como desinteressante ou pouco importante, sugerindo que essa perda de foco não seja devida à natureza do tema.

Para investigar uma possível relação entre essas percepções relacionadas às aulas e o tipo de instituição (pública/privada) em que os participantes estudam, foi realizado um Teste Qui-Quadrado de Independência. O resultado obtido ( $p$ -valor = 0,3003) fundamenta a rejeição da hipótese nula  $H_0$  e consequente aceitação da hipótese alternativa  $H_1$ , de modo que, para o nível de significância de 5%, não foi observada relação significativa de dependência entre o tipo de instituição do participante e a sua percepção quanto à qualidade da aula vivenciada sobre gestão de perdas.

Analogamente, buscou-se verificar a possível relação entre a percepção da qualidade da aula e o tipo de aula vivenciado (teórica, prática ou equilibrada) pelo Teste Qui-Quadrado de Independência. O teste não pôde ser realizado devido ao fato de que as frequências esperadas pelo teste eram baixas. Alternativamente, realizou-se o Teste Exato de Fisher para a análise, que resultou em um  $p$ -valor de 0,1374. Novamente, os resultados sugerem a rejeição da hipótese nula  $H_0$  e consequente aceitação da hipótese alternativa  $H_1$ , de modo que, para o nível de significância de 5%, não foi observada relação significativa de dependência entre o tipo de aula vivenciada pelo participante sobre gestão de perdas e a sua percepção quanto à qualidade dessa aula.

Em relação à possível relação de dependência entre a percepção da qualidade da aula e o nível de uso de recursos tecnológicos no decorrer dessas aulas, o Teste Qui-Quadrado de Independência resultou em um  $p$ -valor de 0,66. Novamente, os resultados sugerem a rejeição da hipótese nula  $H_0$  e consequente aceitação da hipótese alternativa  $H_1$ , de modo que, para o nível de significância de 5%, não foi observada relação significativa de dependência entre o nível de uso de recursos tecnológicos em aulas vivenciadas pelo participante sobre gestão de perdas e a sua percepção quanto à qualidade dessa aula.

Em síntese, as análises sugerem que a percepção de má qualidade e/ou inadequabilidade das aulas vivenciadas sobre o tema pelos participantes independem do tipo de instituição que estudam, do nível de uso de recursos tecnológicos empregados e da natureza (teórica ou prática) dessas aulas. Como

possíveis explicações para essa constatação, tecem-se as seguintes considerações:

- a) É possível que a dependência entre as variáveis não tenha sido observada porque os graduandos em engenharia civil, representados pelos participantes consultados, em geral, não foram suficientemente expostos a aulas com alto nível de uso de recursos tecnológicos e frequente vivência de situações práticas;
- b) É plausível que os parâmetros em questão sejam de fato independentes, isto é, mesmo que os alunos fossem expostos a situações mais extremas em relação ao uso de tecnologia e relatos práticos no processo de ensino-aprendizagem, uma relação de dependência não seria observada;
- c) A inobservância de relações de dependências entre as variáveis, associada à prevalência de percepções negativas sobre a qualidade das aulas lecionadas, entendidas como razões para o déficit de aprendizado, sugerem que a forma com que o conteúdo sobre gestão de perdas está sendo ministrada atualmente é insatisfatória para os alunos respondentes em todas as variações de metodologias de ensino empregadas atualmente nas instituições de ensino brasileiras analisadas;
- d) Os parâmetros em que se buscou identificar possíveis relações de dependência se tratam, essencialmente, das percepções dos alunos consultados sobre suas vivências acadêmicas. Como tais, são intrinsecamente subjetivos e sujeitos a imprecisões e incertezas.

As considerações anteriores evidenciam um cenário de deficiências nas metodologias tradicionalmente utilizadas nessas instituições para o ensino de gestão de perdas. Também ressaltam o desconhecimento sobre os impactos que abordagem de ensino inovadoras, com alto teor tecnológico e especialmente focadas na capacidade de vivenciar experiências práticas, poderiam acarretar. Fortalece, portanto, a relevância deste trabalho e de sua investigação sobre esse fenômeno.

Observada a deficiência das metodologias tradicionais de ensino e a necessidade de inovações, a Tabela 3 apresenta as sugestões dos participantes (Grupo Geral) em relação ao que acreditam que contribuiria para o aprendizado sobre o tema caso fossem estudá-lo novamente (para os participantes do Subgrupo 1) ou pela primeira vez (para os participantes do Subgrupo 2).

**Tabela 3 – Sugestões dos participantes para o processo de ensino-aprendizado sobre gestão de perdas**

<b>Caso você fosse estudar (pela primeira vez, ou novamente – caso já tenha estudado antes) sobre esse tema, como você acha que deveria ser a abordagem utilizada em uma aula sobre o assunto?</b>	<b>Número de observações (frequência)</b>
Com experiências / relatos práticos sobre o assunto.	79
Com recursos que me facilitem a visualização da relação de causa e consequência entre decisões tomadas e suas consequências em relação à gestão de perdas na construção civil.	66
Com uso de recursos tecnológicos que facilitem a visualização do tema.	65
Com a utilização de estratégias que me ajudem a me manter motivado/engajado no processo de ensino-aprendizado.	62
Com recursos que me possibilitem reassistir / vivenciar novamente o conteúdo lecionado sempre que eu quiser.	38
Com recursos mais interativos.	29
Com estratégias que promovam a discussão entre o grupo.	25
Com um material impresso detalhado sobre o assunto.	16
Com estratégias que me faça estudar em grupo com outros colegas da turma.	14
Com uma competição entre a turma para incentivar o aprendizado.	9
Com um sistema de recompensas para reconhecer meu progresso no aprendizado.	9
Com aulas essencialmente teóricas sobre o tema.	4
Outros*	3

**Observações:**

\* Respostas do campo “Outros...”: visitas técnicas dirigidas, maior carga horária da disciplina, regras rígidas em relação ao comportamento dos alunos (proibição do uso de celular e baixa tolerância a atrasos)

**Fonte:** o autor

Como esperado em vista das reflexões realizadas nas questões anteriores, as alternativas relacionadas a características típicas da metodologia tradicionalmente utilizada para o ensino desse tema, como aulas essencialmente teóricas e uso de material impresso detalhado sobre o conteúdo, foram pouco citadas. Essa

constatação reforça a percepção já verificada anteriormente na realização deste estudo de que os alunos demandam inovações no processo de ensino-aprendizado vigente.

Já a alternativa mais citada se refere a maior exposição a situações práticas sobre o tema. Essa constatação é coerente com as percepções dos participantes em relação às razões pelas quais havia déficit de conhecimento sobre o tema, apresentadas na Tabela 2, em que a falta de vivências práticas foi bastante recorrente. Haja vista a reincidência dessa constatação no decorrer do Estudo I, conclui-se que, de fato, a exposição a situações práticas ou que simulem experiências práticas deve ser entendida como característica fundamental a novas metodologias de capacitação sobre o tema.

O uso de recursos tecnológicos figura como uma das possibilidades de inovação apontadas pelos participantes do estudo, sendo a terceira resposta mais citada. Essa observação, se associada às demais respostas citadas com maior frequência na Tabela 3, sugere um ambiente favorável especificamente para o uso de tecnologia de realidade virtual e estendida. Isso acontece porque as demais alternativas bastante citadas (uso de recursos que facilitem a visualização de relação de causa e consequência na tomada de decisões e estratégias que fomentem motivação e engajamento) mencionam características frequentemente descritas como benefícios de tecnologias de virtualidade, conforme relatado no Capítulo 3 deste trabalho.

Em contrapartida, outras características que são frequentemente associadas a benefícios de capacitações usando tecnologia de realidade estendida, como o uso de sistemas de competição e recompensa, foram pouco citadas pelos participantes. Essa constatação causa estranheza visto que, conforme relatado no Capítulo 3 deste trabalho, esses recursos frequentemente são utilizados principalmente para fomentar a motivação e o engajamento do usuário na experiência de capacitação, sendo que essa estratégia, como já citado, foi bastante citada pelos participantes. Diante desse contexto, fazem-se as seguintes considerações:

- a) É possível que os alunos, representados pelos participantes do estudo, tenham capacidade limitada de sugerir soluções para os problemas constatados no processo de ensino-aprendizado sobre gestão de perdas, principalmente quando há complexidade na compreensão dos benefícios gerados por possíveis soluções;

- b) É possível que, de fato, o uso de mecânicas como sistema de competição e recompensas sejam menos preferíveis pelos alunos para contribuir com os seus processos de aprendizado. Nesse sentido, estes percebem a necessidade de métodos de capacitação mais engajadores, mas preferem que essa motivação e engajamento sejam alcançados por meio de outras estratégias.

A consideração exposta na alínea “a” gerou uma preocupação no desenvolvimento do presente trabalho que influenciou parte dos procedimentos metodológicos adotados nas etapas seguintes de sua realização. Na busca por responder à principal questão norteadora dessa pesquisa (“quais devem ser as características de uma inovação desenvolvida por meio do uso de recursos tecnológicos em Realidade Estendida para contribuir com o aprendizado de gestores sobre a identificação e gestão de perdas não-físicas no canteiro de obras?”), percebe-se que essa resposta não seria obtida diretamente pelas percepções dos alunos que utilizem a inovação proposta neste trabalho, visto que existe a possibilidade de que a capacidade de análise deles nesse aspecto possa ser limitada.

Por essa razão, os procedimentos metodológicos relativos aos Estudos II e III, conforme relatado no Capítulo 4 deste trabalho, foram delineados de modo que a contribuição dos alunos participantes estivesse focada nas percepções mais simples e diretas das mecânicas e dinâmicas da inovação que contribuíram para o seu aprendizado. Nesse sentido, a análise mais complexa, relacionada às características do simulador presentes em cada dinâmica e mecânica, foi atribuída a um grupo de especialistas na área, que teriam maior conhecimento e experiência para estabelecer essa relação.

## 5.2 SUGESTÃO DE SOLUÇÃO (CARACTERÍSTICAS QUE CONTRIBUEM PARA CAPACITAÇÃO – VERSÃO 1)

Diante dos achados encontrados nas três fases da Revisão Sistemática de Literatura e das reflexões realizadas no Estudo I, identificaram-se diversas características desejáveis a uma ferramenta que utiliza tecnologia de Realidade Estendida para capacitar alunos de engenharia civil sobre gestão de perdas não-físicas na construção civil. Essas características, detalhadas no Quadro 17,

fundamentaram a criação do método de capacitação proposto neste trabalho e detalhado nas seções seguintes.

**Quadro 17** – Proposta de características desejáveis a uma ferramenta XR para capacitar alunos de engenharia civil sobre gestão de perdas não-físicas na construção civil (continua)

<b>Característica</b>	<b>Descrição</b>	<b>Importância</b>
Virtualidade e Portabilidade	Capacidade de a ferramenta ser utilizada sem grande dependência de infraestrutura física fixa e presença física de todos os envolvidos	A concepção da ferramenta priorizando a virtualidade possibilita o aprendizado à distância de alunos em locais remotos. Além disso, à medida que não se depende substancialmente da infraestrutura física, pode-se simular a exploração segura de lugares de difícil acesso (canteiros de obras em pleno ritmo produtivo, situações inseguras, entre outros). A capacitação também pode ser realizada em diversos espaços, como salas de aulas comuns, sem requerer um espaço físico muito específico para ser realizado.
Repetitividade	Possibilidade de refazer a capacitação de forma ágil e prática	A capacidade de repetir a capacitação possibilita ao aluno reviver o processo de aprendizagem, reafirmando o conteúdo aprendido e se atentando a informações que possam ter passado despercebidas. Também possibilita comparar o desempenho entre cada uso da ferramenta e avaliar possíveis melhoras. Essa característica é particularmente interessante na exploração virtual do canteiro de obras, visto que este é rico em informações, de modo que a cada visita ao cenário podem ser percebidas informações diferentes.
Interatividade	Existência de recursos que possibilitem ao usuário interagir ativamente com a ferramenta	A presença de recursos interativos possibilita ao usuário uma atuação mais ativa no seu processo de ensino-aprendizado. Dessa forma, o usuário se torna protagonista da experiência, estimulando sua motivação e o seu engajamento no processo de aprendizado, aspectos que as metodologias tradicionais de ensino sobre gestão de perdas carecem.

**Fonte:** o autor

**Quadro 17** – Proposta de características desejáveis a uma ferramenta XR para capacitar alunos de engenharia civil sobre gestão de perdas não-físicas na construção civil (continuação)

<b>Característica</b>	<b>Descrição</b>	<b>Importância</b>
Aprendizagem Experiencial	Aprendizado pautado na vivência de experiências práticas	A vivência de experiências práticas na ferramenta possibilita ao aluno aplicar o conhecimento teórico aprendido em um contexto específico. Especialmente no contexto da gestão de obras, essa característica parece bastante interessante, visto que os alunos demandam maior exposição às vivências práticas do cotidiano da profissão. Além disso, facilita-se a compreensão de informações abstratas.
Flexibilidade e Versatilidade	Capacidade da dinâmica da ferramenta de se adaptar às especificidades do público-alvo (idade, facilidade com o uso de tecnologia, entre outros)	A flexibilidade e versatilidade da ferramenta é particularmente interessante para treinamentos em grupos, como em um contexto de sala de aula, visto que os alunos presentes apresentarão diferentes experiências e características. Assim, a ferramenta deve se adaptar a essas especificidades, de modo que seja adequada a todos os perfis de alunos presentes na capacitação.
Transparência	Presença de elementos e mecânicas que facilitem a visualização e análise da simulação, bem como a relação entre as decisões tomadas e as suas consequências	O enriquecimento da realidade através da virtualidade possibilita inserir estímulos virtuais que facilitem a compreensão de informações e percepções implícitas ao processo produtivo. Isso tem o potencial para tornar a situação mais transparente, facilitando a compreensão da relação entre as decisões tomadas e seus impactos na situação. Especialmente no contexto da gestão de perdas em canteiros de obras, essa característica é interessante, visto que uma grande parcela das perdas existentes não é facilmente identificável, e torná-las mais aparentes pode facilitar a compreensão do aluno sobre o tema.
Imersão tecnológica	Uso sistemático de recursos tecnológicos que promovam a sensação de presença do usuário durante a simulação	Para estimular o aprendizado experiencial, é importante que o aluno se sinta presente na simulação. Para isso, a simulação deve ser imersiva, característica conquistada a partir da combinação de recursos e dispositivos que busquem mimetizar situações e sensações do mundo real no virtual.

**Fonte:** o autor

**Quadro 17** – Proposta de características desejáveis a uma ferramenta XR para capacitar alunos de engenharia civil sobre gestão de perdas não-físicas na construção civil (continuação)

Característica	Descrição	Importância
Rastreabilidade de desempenho	Capacidade de fornecer dados e parâmetros ao usuário que permita analisar seu desempenho alcançado	Uma etapa importante do processo de ensino-aprendizado é a mensuração de desempenho, que fornece indicativos sobre a compreensão do conteúdo ensinado. Nesse sentido, estabelecer mecanismos que permitam a mensuração de desempenho na simulação é essencial para contribuir com o processo de capacitação.
Abordagem pedagógica	Presença de elementos adequados ao tipo de capacitação desejada: conhecimento técnico e teórico, habilidades psicomotoras, habilidades interpessoais ou compreensão espacial	A ferramenta deve ter seus elementos concebidos de acordo com o tipo de capacitação desejada, para assim contribuir adequadamente com o processo de ensino-aprendizado. Esse foco pode ser dado à aquisição de conhecimento técnico-teórico, habilidades psicomotoras, habilidades interpessoais (comunicação, criatividade, pensamento crítico, além de reações comportamentais e afetivas, como empatia) e/ou compreensão e orientação espacial.

**Fonte:** o autor

### 5.3 DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

Considerando as características desejáveis ao artefato estabelecidas na etapa anterior, nessa seção se descreve o processo de desenvolvimento do artefato que compõe esse trabalho, denominado **GerenciObras**, e de seu inerente método de capacitação. Inicialmente, descrevem-se as características iniciais da versão beta (protótipo) da ferramenta. Em seguida, relatam-se as reflexões a partir do Estudo II (teste-piloto), e as alterações efetuadas no protótipo a partir dele, resultando na versão final da ferramenta. Em paralelo, também se discute de que forma as características desejáveis à ferramenta, estabelecidas na etapa anterior, materializam-se no GerenciObras.

### 5.3.1 Protótipo do GerenciObras

O GerenciObras foi desenvolvido para ser utilizado para capacitações em grupo mínimo de duas pessoas. Também é necessária a presença de um instrutor, que deverá ter conhecimento prévio sobre gestão de perdas na construção civil sob a ótica da filosofia *Lean*, além das mecânicas e dinâmicas de funcionamento da ferramenta. A guisa de exemplo, em um ambiente de sala, o grupo seria formado pelos alunos (não há um limite máximo de jogadores), e o professor assumiria o papel de instrutor.

Na narrativa do GerenciObras, os participantes recebem papéis específicos que estabelecerão suas atribuições no decorrer da experiência. O **Juiz** é o participante que domina o assunto de gestão de perdas em obras, geralmente o professor. Seu papel deve permanecer fixo durante toda a experiência. O juiz será responsável por orientar os demais participantes em suas funções e julgar as respostas dadas por eles no decorrer da simulação. O **Investigador**, por sua vez, é o participante que utilizará os óculos de Realidade Virtual e conduzirá a exploração da simulação. No contexto de sala de aula, trata-se de um aluno. Sua principal missão é identificar as fontes de perdas existentes na situação simulada. Por fim, a **Equipe** são todos os demais participantes da experiência, que devem auxiliar o investigador a identificar as fontes de perdas presentes no canteiro de obras simulado. No contexto de sala de aula, trata-se dos demais alunos envolvidos.

Trata-se, portanto, de uma experiência cooperativa, em que o Investigador e a Equipe devem trabalhar juntos para identificar as perdas processuais presentes na simulação. É importante ressaltar que, ainda que o papel do Juiz deva permanecer fixo no decorrer do uso do GerenciObras, recomenda-se que haja rodízio entre os demais papéis (Investigador e Equipe) a cada vinte minutos. Dessa forma, a cada rodízio, o participante que assumia o papel de Investigador passa a integrar a Equipe, e algum membro da Equipe assume o papel de Investigador. A orientação se deve ao fato de que o uso dos óculos de Realidade Virtual por tempo prolongado pode causar tonturas e náuseas. Além disso, o rodízio entre papéis possibilita que o participante vivencie a dinâmica sob diferentes perspectivas, o que pode contribuir com o seu aprendizado.

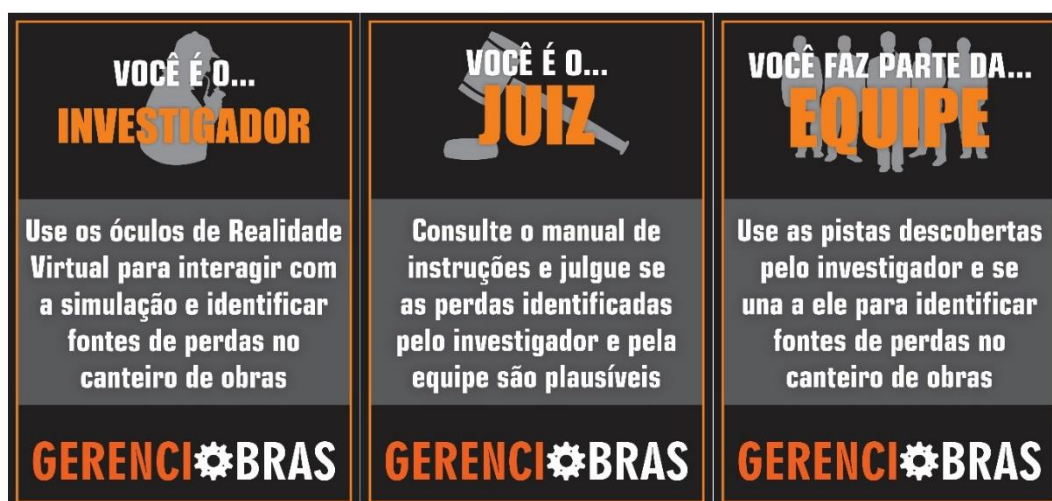
No decorrer de toda a experiência, o participante que atua como Investigador utiliza os óculos de Realidade Virtual para visualizar e interagir com a simulação

virtual. Sua visão da simulação é transmitida em tempo real, por meio de um computador, para uma televisão ou projetor, de modo que os demais participantes (Equipe e Juiz) possam visualizar a mesma situação que o Investigador, porém de forma menos imersiva.

Para contribuir com a sensação de presença na narrativa do GerenciObras, todos os participantes recebem **Fichas-resumo** de seus papéis no decorrer da experiência (Figura 20). Para possibilitar a reprodução e adaptação destas pelos leitores em estudos posteriores, no Apêndice E deste trabalho as Fichas-resumo foram disponibilizadas em escala real (prontas para impressão).

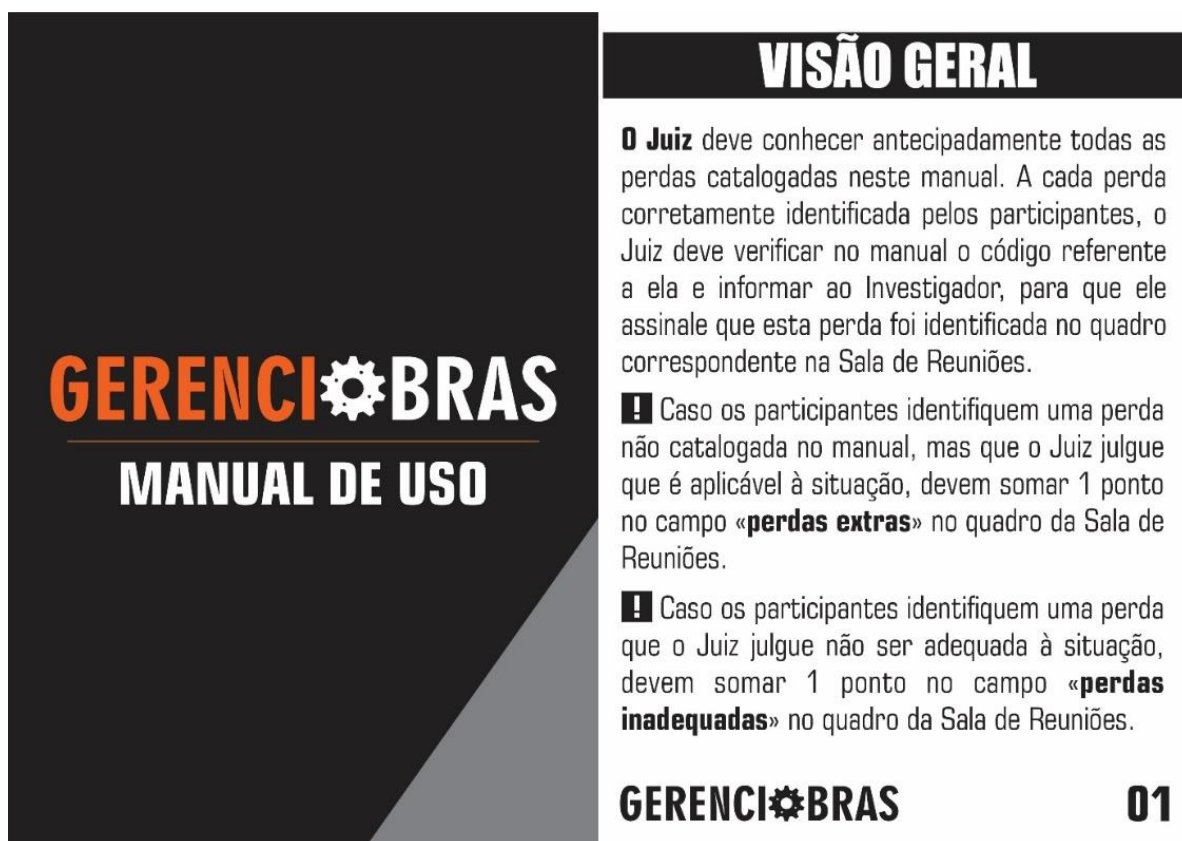
Adicionalmente, o Juiz também recebe o **Manual de Uso** do GerenciObras (já lido por ele, previamente), que deve ser consultado sempre que houver dúvidas sobre alguma mecânica da experiência (Figura 21). O manual apresenta todas as regras necessárias para a utilização da ferramenta, incluindo a descrição dos papéis e de todas as mecânicas de funcionamento do GerenciObras. Além disso, apresenta um gabarito com a descrição de todas as perdas escondidas na simulação, identificadas por códigos. Esse gabarito deve ser conhecido somente pelo Juiz, para que possa verificar e validar as respostas dadas pelos participantes. A versão completa do Manual de Uso do GerenciObras está disponível no Apêndice F deste trabalho.

**Figura 20** – Fichas-resumo dos papéis dos participantes no GerenciObras



Fonte: o autor.

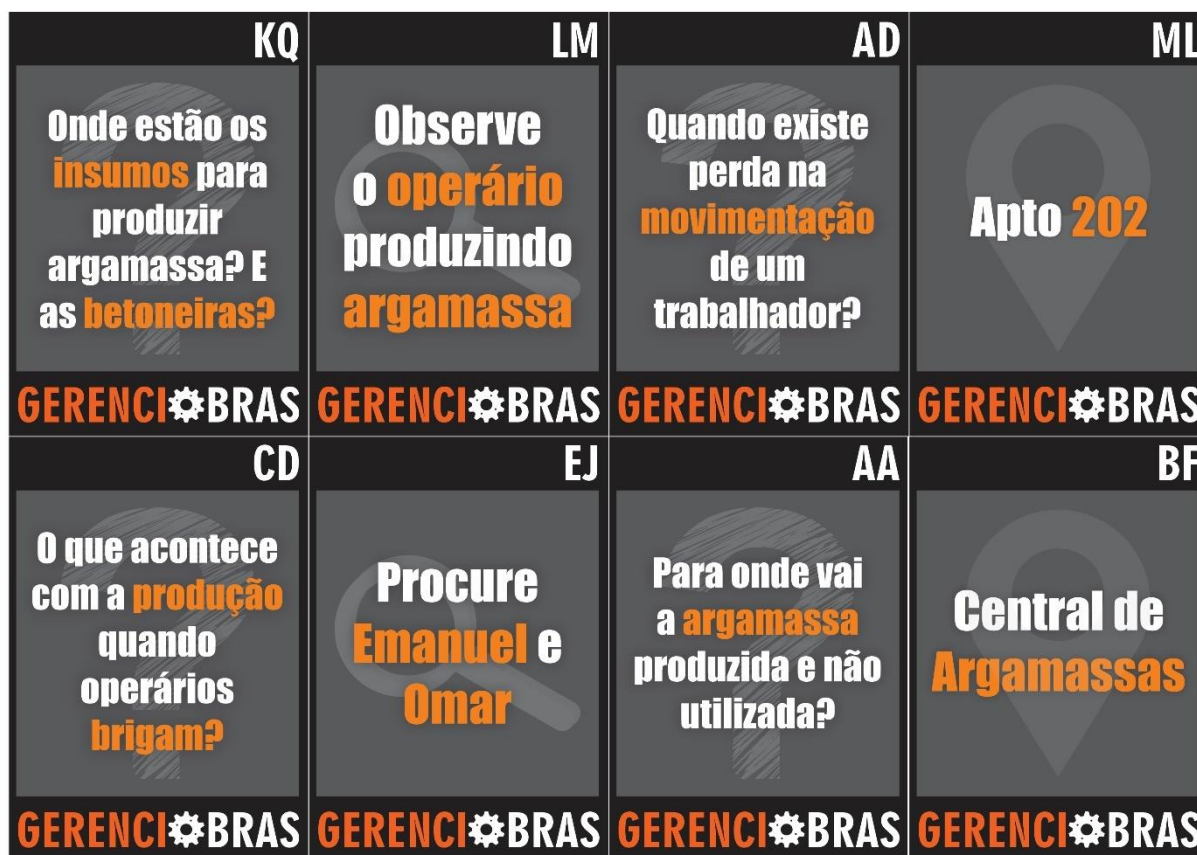
Figura 21 – Exemplo de página do Manual de Uso do GerenciObras



Fonte: o autor.

No início da experiência, também estão de posse do Juiz as **GerenciCards**, cartas que dão dicas sobre as perdas presentes na simulação (Figura 22), havendo duas cartas para cada perda da simulação. Essas cartas poderão ser compradas pelo Investigador e pela Equipe à medida que realizam missões na simulação e ganham pontos.

Figura 22 – Exemplos de GerenciCards



Fonte: o autor.

No canto superior direito de cada GerenciCard há um código (por exemplo, KQ) que indica a qual perda ela se refere, sendo que a associação entre cartas e perdas pode ser conferida no gabarito constante no Manual do GerenciObras. Em relação ao conteúdo, as dicas podem ser de três tipos:

- Pergunta de reflexão: apresenta uma pergunta que induz os participantes a refletirem sobre uma situação em que há uma perda processual envolvida;
- Investigação: induz os participantes a procurarem por alguma situação em específico, cuja reflexão possibilita a identificação de uma perda;
- Localização: apresenta um local específico no cenário que possui perdas escondidas.

Para possibilitar a reprodução e adaptação destas pelos leitores em estudos posteriores, no Apêndice G deste trabalho as GerenciCards foram disponibilizadas em escala real (prontas para impressão).

A simulação a ser investigada pelos participantes se constitui de um cenário

de um canteiro de obras da construção de um edifício residencial multipavimentos, com três apartamentos por pavimento, executado no sistema tradicional. Os apartamentos, por sua vez, possuem sala e cozinha integradas, dois quartos e um banheiro. A simulação representa a construção no momento de elevação de alvenaria interna (3º e 4º pavimentos) e execução de revestimento argamassado (2º pavimento).

Além da edificação em si, também estão representadas áreas de apoio à produção, como a sala de engenharia, os estoques de materiais, o almoxarifado, a central de argamassas e o refeitório dos trabalhadores. Na Figura 23, apresenta-se uma visão geral do cenário.

**Figura 23** – Cenário da simulação do GerenciObras



**Fonte:** o autor.

Ao iniciar sua exploração da simulação, o Investigador e a Equipe assistem um vídeo-tutorial reproduzido na simulação, em que o pesquisador autor deste trabalho apresenta as regras do GerenciObras e dá instruções sobre como a experiência deve ser realizada. Nesse momento, é apresentado a figura de Alpha, o assistente virtual, que aparecerá na simulação sempre que houver uma dica ou orientação disponível ao Investigador e à Equipe (Figura 24). É nesse momento também que é apresentado ao Investigador seu objetivo na simulação: auxiliado pela Equipe, ele deve investigar o cenário em busca por perdas inerentes aos processos produtivos representados. Para facilitar sua missão, deve realizar tarefas que lhe ajudarão a refletir sobre o processo e atribuirão pontos, denominados GerenciCoins, que podem ser trocados por pistas (GerenciCards) para auxiliar na identificação das perdas. Ao todo, podem ser encontradas missões para ganhar até

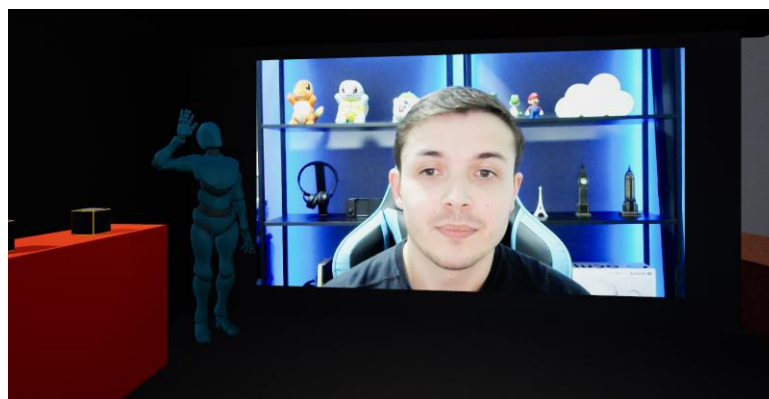
320 GerenciCoins. Para comprar todas as GerenciCards, são necessárias 280 delas (Quadro 18).

**Quadro 18** – Resumo do fluxo de GerenciCoins no GerenciObras

DESCRIÇÃO	GANHO DE GERENCICOINS			GASTO DE GERENCICOINS		
	UNIT.	QTDADA.	SUBT.	UNIT.	QTDADA.	SUBT.
Acertar a resposta correta da questão de concurso disponível no cenário	30	1	30			
Realizar a tarefa de revestimento argamassado no Apartamento 202	40	1	40			
Ajudar o personagem Gabriel pegando os materiais necessários para a continuidade de suas atividades	50	1	50			
Ajudar o personagem Marcos que sofreu um acidente de trabalho	50	1	50			
Motivar o personagem Vicente e incentivá-lo a propor ideias para melhorar o processo produtivo	50	1	50			
Encerrar o conflito entre os personagens Omar e Emanuel	50	1	50			
Identificar o personagem Paulo ocioso e enviá-lo novamente para o trabalho	50	1	50			
Errar a resposta correta da questão de concurso disponível no cenário				5	4	20
Comprar Gerencicards				10	28	280
<b>TOTAL</b>			<b>320</b>			<b>300</b>
<b>Legenda:</b> <b>Unit.:</b> valor unitário <b>Qtdade.:</b> quantidade <b>Subt.:</b> subtotal						

Fonte: o autor

**Figura 24** – Assistente virtual Alpha e vídeo-tutorial



Fonte: o autor.

Além do sistema de pontos denominado GerenciCoins, os participantes também ganham “dinheiro” de forma contínua e automática (um real por segundo) durante o uso da simulação. Esse dinheiro representa a contínua agregação de valor ao empreendimento durante sua construção. É utilizado para aquisição de materiais (areia, brita, cimento, entre outros) para serem utilizados na construção.

Para conquistar GerenciCoins, existem diversas tarefas disponíveis no cenário. As simulações de ações de nível operacional são encontradas em diversos ambientes do cenário virtual e instruem o Investigador a simbolicamente realizar uma tarefa operacional relacionada ao processo construtivo. Por exemplo, no 2º pavimento, o participante pode encontrar uma parede interna do apartamento 202 cuja etapa seguinte é a execução do revestimento argamassado (Figura 25).

**Figura 25** – Tarefa de execução de revestimento argamassado – apartamento 202



**Fonte:** o autor.

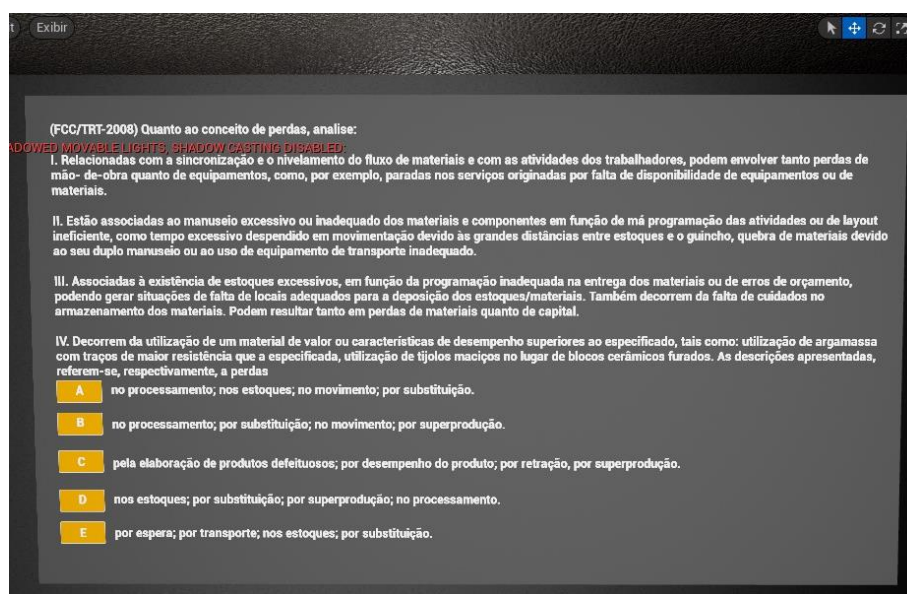
Como evidenciado na Figura 25, um menu sobre a parede instrui o participante a iniciar essa tarefa. Para isso ele deve cumprir certos requisitos, como trazer materiais e ferramentas necessárias à sua execução, como carrinho com argamassa, balde de argamassa e colher de pedreiro. Em seguida, o participante deve sinalizar no menu o cumprimento dos pré-requisitos. Automaticamente, iniciará uma contagem regressiva (simbolizando o tempo de processamento necessário ao cumprimento da atividade). Finalizada a contagem, é habilitado a opção de clique no botão “concluir a execução”, que, ao ser selecionado, fornece ao participante 40 GerenciCoins.

Essa mecânica tem o intuito de induzir os participantes a refletirem sobre a relação de dependência entre as atividades do processo produtivo que, se não

executadas no momento e sequenciamento corretos, acarretam perdas no processo produtivo. Por exemplo, iniciar a tarefa sem o cumprimento dos pré-requisitos faz com que o usuário tenha que realizar deslocamentos adicionais (perdas) no cenário para cumpri-los. Além disso, forçar a execução da tarefa sem os pré-requisitos necessários pode gerar perdas por improvisação (*making-do*).

Outra tarefa que fornece GerenciCoins ao usuário é a **questão teórica** que pode ser encontrada no cenário virtual (Figura 26). Referem-se a uma questão de múltipla escolha sobre gestão de perdas na construção, divulgada em um concurso público brasileiro. Ao encontrá-la, o Investigador e sua Equipe devem refletir e assinalar a alternativa correta. Para cada erro, perdem 5 GerenciCoins. Ao acertar, recebem 30 GerenciCoins.

**Figura 26** – Questão teórica sobre o tema



Fonte: o autor.

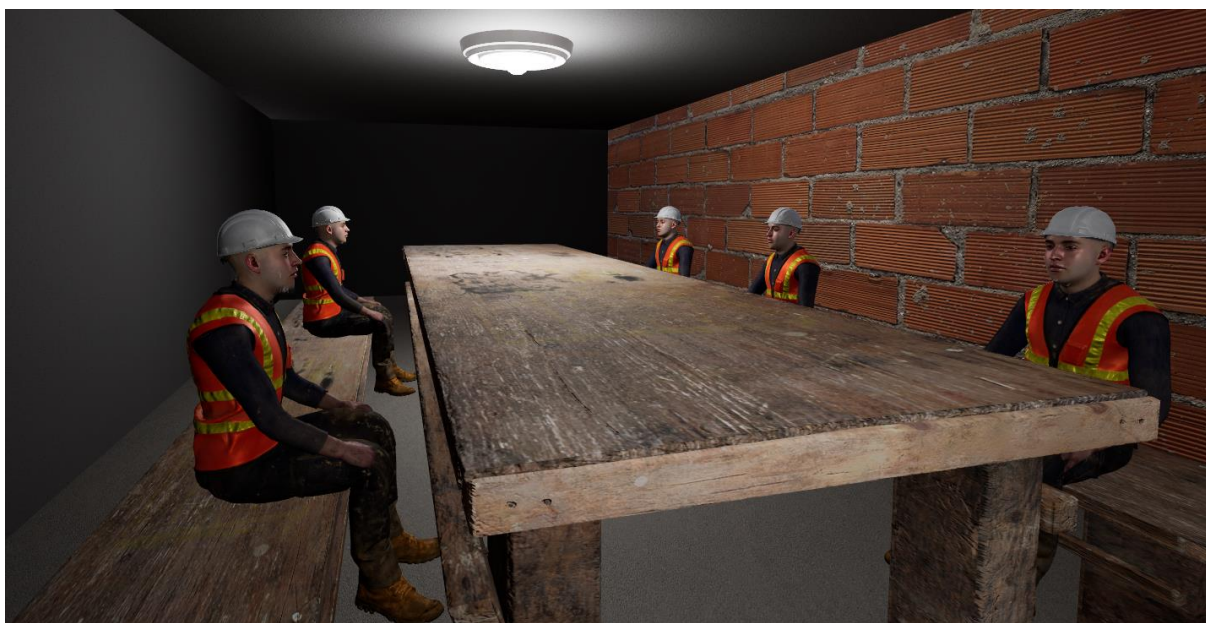
A mecânica faz alusão ao conteúdo teórico vivenciado pelo aluno nas aulas de graduação no curso de Engenharia. Relembrar este assunto e analisar o conteúdo da questão possibilita que o participante recorde tópicos teóricos importantes para a continuidade da sua exploração da simulação.

A **interação com os *Non-Playable Characters* (NPCs)**, isto é, com os personagens que representam os operários do canteiro de obras (Figura 27), também provoca a identificação de perdas processuais. No início de sua experiência na simulação, o Investigador é orientado a conversar com esses personagens,

solicitando que eles executem tarefas no canteiro de obras. Ao receber a solicitação das tarefas, os trabalhadores automaticamente se dirigem para realizá-las. Posteriormente, ao encontrar esses personagens no cenário, os participantes observarão situações que induzem a identificação de perdas, como:

- a) Personagem acidentado, após cair de um andaime improvisado;
- b) Personagens em discussão acalorada (perda relacionada a conflitos envolvendo trabalhadores);
- c) Personagem que decide descansar, enquanto sua atividade não está completada (perda por ociosidade da mão de obra).

**Figura 27** – Personagens do canteiro de obras



**Fonte:** o autor.

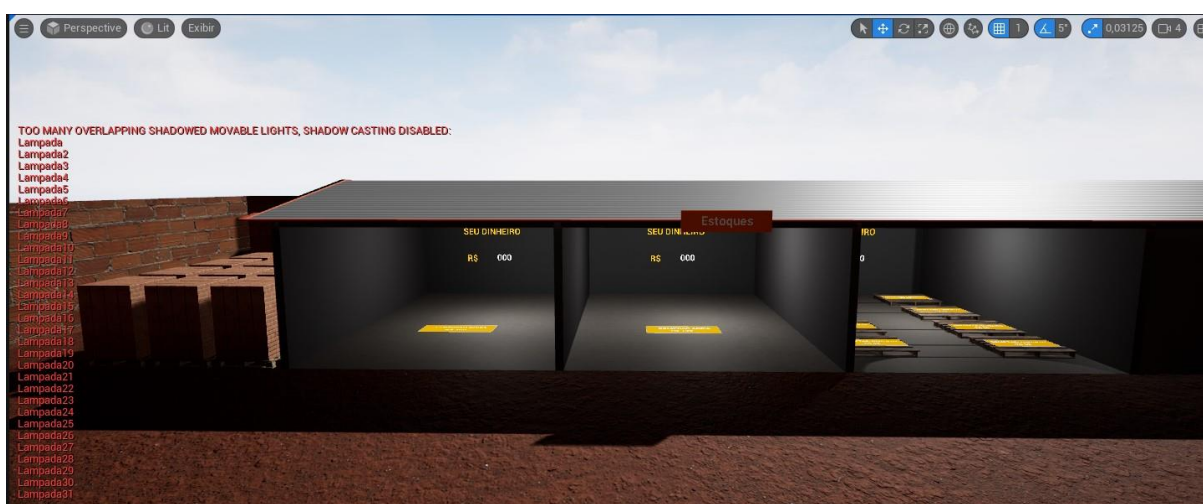
Além das tarefas citadas, existem outras mecânicas que não conferem GerenciCoins, mas que ao serem analisadas levam à identificação de perdas na simulação. Na central de argamassas, há um operário próximo às betoneiras, simulando a **produção de argamassa**. Periodicamente, novos carrinhos com argamassa surgem no cenário, e pouco tempo depois desaparecem (simulando o vencimento do produto). São esses carrinhos que são solicitados por muitas tarefas do participante para cumprir pré-requisitos para sua realização.

Caso o participante realize muitas tarefas sucessivas que necessitem do produto (aumentando a demanda), eventualmente não encontrará carrinhos

suficientes para levar para as atividades e cumprir seus pré-requisitos, necessitando aguardar na central (perda por espera) até que os carrinhos fiquem “prontos” (apareçam no cenário). Analogamente, se não realizar as atividades, os carrinhos ainda assim serão produzidos e em seguida desaparecerão (perda por superprodução).

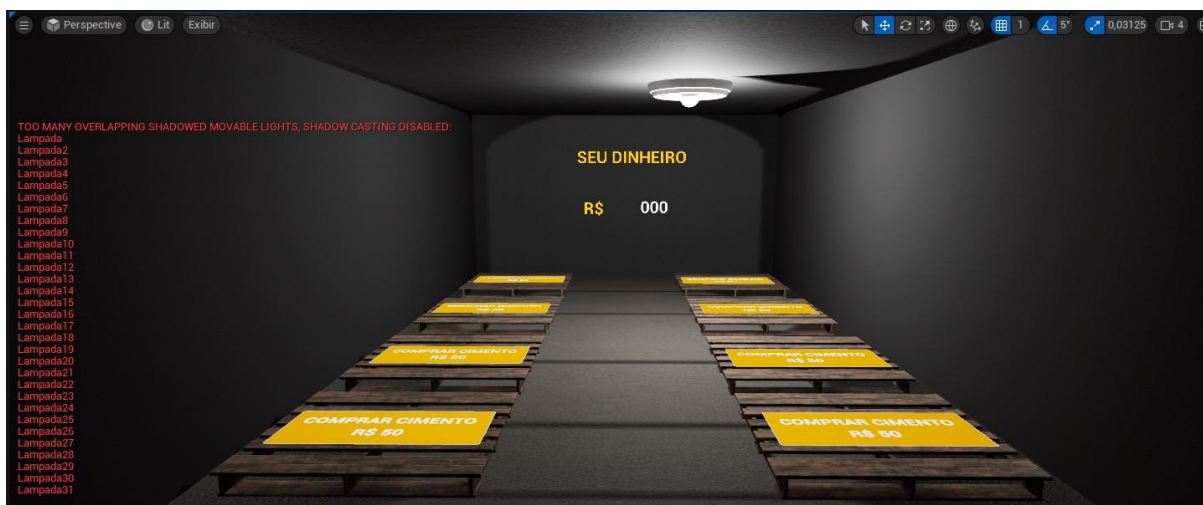
No **estoque** (Figura 28), o participante deve gastar seu dinheiro para aquisição dos materiais (brita, areia, cimento, entre outros) necessários à continuidade do processo produtivo (Figura 29). Após adquiri-los, pouco tempo depois os materiais desaparecem (representando seu consumo pela produção). Se o participante esquecer de adquirir os materiais, o estoque ficará vazio representando uma situação em que as atividades em andamento ficariam paralisadas devido à falta de material (perda por espera). Caso adquira excesso de materiais para se certificar de que isso não aconteça, representa uma situação de perda por estoque, visto que uma quantidade excessiva de recursos espera em estoque por ter sido adquirida com grande antecipação em relação ao seu momento de uso. Além disso, nessa situação, o participante perceberá um impacto direto em seu saldo (pois muito dinheiro será gasto abruptamente para a compra de materiais).

**Figura 28** – Estoques do GerenciObras



Fonte: o autor.

**Figura 29** – Menu para aquisição de estoques de sacos de cimento



Fonte: o autor.

A **desorganização do almoxarifado** (Figura 30) também suscitará uma reflexão sobre perdas processuais. Em certas tarefas, o Investigador deverá buscar ferramentas guardadas no almoxarifado. Porém, os itens estão armazenados de forma aleatória nesse ambiente, de modo que naturalmente o participante necessitará de certo tempo para identificá-los e pegá-los.

**Figura 30** – Almoxarifado do GerenciObras



Fonte: o autor.

Ainda no que é tangente à percepção espacial do ambiente virtual, a distância

excessiva entre áreas do canteiro busca conduzir os participantes a reflexão sobre perdas por movimentação e transporte. Em especial, os participantes devem notar que a distância entre a central de argamassa e os estoques das matérias-primas para sua produção é excessiva, necessitando que o operador da central se desloque sucessivas vezes por esse trajeto para transportar os materiais.

Além das situações de perdas descritas anteriormente para ilustrar as mecânicas do simulador, outras diversas estão dispostas na simulação, utilizando-se dessas mesmas mecânicas. O Quadro 19 apresenta uma síntese das perdas conscientemente ilustradas na simulação e que se espera que sejam percebidas pelo Investigador e pela Equipe (perdas esperadas), associadas às estratégias (mecânicas) aplicadas ao simulador para facilitar sua identificação. No Apêndice F deste trabalho, que apresenta o Manual de Uso do GerenciObras, as descrições de todas as perdas podem ser encontradas de forma detalhada.

**Quadro 19** – Perdas esperadas do GerenciObras e mecânicas aplicadas para sua identificação (continua)

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	MECÂNICA 1	MECÂNICA 2	MECÂNICA 3 (CARD)	MECÂNICA 4 (CARD)
P105	Superprodução de argamassa (produção empurrada)	Animação de carrinhos de argamassa aparecendo e desaparecendo, simbolizando produção/vencimento da argamassa	Quadro explicativo no ambiente virtual, orientando o que significa o carrinho de argamassa aparecer/ desaparecer	Carta de pergunta: para onde vai a argamassa produzida e não utilizada?	Carta de localização: central de argamassas
P198	Conflito entre trabalhadores	Animação de trabalhadores em conflito		Carta de pergunta: o que acontece com a produção quando operários brigam?	Carta de investigação: procure Emanuel e Omar
P207	Distância de transporte excessiva devido aos estoques estarem distantes do local de trabalho	Animação do trabalhador percorrendo grande distância para obter o material		Carta de pergunta: onde estão os insumos para produzir argamassa? E as betoneiras?	Carta de investigação: observe o operário produzindo argamassa

Fonte: o autor

**Quadro 19 – Perdas esperadas do GerenciObras e mecânicas aplicadas para sua identificação (continua)**

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>MECÂNICA 1</b>	<b>MECÂNICA 2</b>	<b>MECÂNICA 3 (CARD)</b>	<b>MECÂNICA 4 (CARD)</b>
P318	Ocorrência de acidente devido à falha na gestão de riscos no serviço de elevação de alvenaria interna	Animação de trabalhador acidentado		Carta de pergunta: o que acontece com a produção quando operários sofrem acidentes?	Carta de investigação: procure Marcos
P380	Movimentações desnecessárias para buscar materiais que foram esquecidos ou que não puderam ser carregados em uma viagem única	Tarefa: o usuário deve realizar a tarefa de revestimento argamassado, sendo exigido que busque certos recursos (pré-requisitos) para que a tarefa seja concluída		Carta de pergunta: quando existe perda na movimentação de um trabalhador?	Carta de localização: apartamento 202
P404	Estoque de materiais em excesso ou adquiridos antes do necessário	Animação de estoques aparecendo e desaparecendo, simbolizando compra/consumo de material	Botões para tomada de decisão do usuário quanto à aquisição de materiais e orientação do personagem tutor (Alpha) explicando, por meio de diálogo, o que significa o estoque aparecer/ desaparecer	Carta de pergunta: o que acontece se eu comprar mais estoque do que é necessário?	Carta de investigação: reflita sobre a quantidade de insumos em estoque
P545	Trabalhador desmotivado / se sentindo mal	Diálogo: ao interagir com o trabalhador, por meio de sucessivas perguntas e respostas, o usuário descobre que ele não está se sentindo motivado na empresa. Questionado sobre o que ele mudaria, o trabalhador dá ideias de melhorias na sua rotina de trabalho	Animação de trabalhador cansado	Carta de pergunta: como a motivação do trabalhador influencia no seu trabalho?	Carta de investigação: fale com Vicente

Fonte: o autor

**Quadro 19** – Perdas esperadas do GerenciObras e mecânicas aplicadas para sua identificação (continua)

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>MECÂNICA 1</b>	<b>MECÂNICA 2</b>	<b>MECÂNICA 3 (CARD)</b>	<b>MECÂNICA 4 (CARD)</b>
P619	Organização confusa do almoxarifado	Disposição espacial confusa dos insumos no almoxarifado da obra	Tarefa: o usuário deve buscar por itens no almoxarifado	Carta de pergunta: como está organizado o almoxarifado?	Carta de localização: almoxarifado
P724	Movimentações desnecessárias devido à falta de familiaridade do trabalhador com o layout do canteiro / falta de sinalização	Tarefa: usuário tem um tempo limitado para levar determinado item a um trabalhador		Carta de pergunta: é fácil se movimentar em um ambiente desconhecido e pouco sinalizado?	Carta de localização: Apto 401
P742	Improviso em atividade por não ter todos os recursos necessários	Tarefa: o usuário deve realizar a tarefa de revestimento argamassado, sendo exigido que busque certos recursos (pré-requisitos) para que a tarefa seja concluída		Carta de pergunta: o que acontece se eu executar uma atividade sem cumprir seus pré-requisitos?	Carta de localização: Apto 202
P806	Falta de participação do trabalhador no processo de planejamento e gestão	Diálogo: ao interagir com o trabalhador, por meio de sucessivas perguntas e respostas, o usuário descobre que ele não está se sentindo motivado na empresa. Questionado sobre o que ele mudaria, o trabalhador dá ideias de melhorias na sua rotina de trabalho	Animação de trabalhador cansado	Carta de pergunta: o que acontece se eu não ouço as ideias dos trabalhadores?	Carta de investigação: fale com Vicente
P847	Trabalho em progresso devido à falta de recursos financeiros para a sua continuidade	Botões para tomada de decisão do usuário quanto à aquisição de materiais	Quadro explicativo no ambiente virtual informando o saldo financeiro da obra	Carta de pergunta: o que acontece se eu comprar estoque antes de ele ser necessário?	Carta de localização: estoques

**Fonte:** o autor

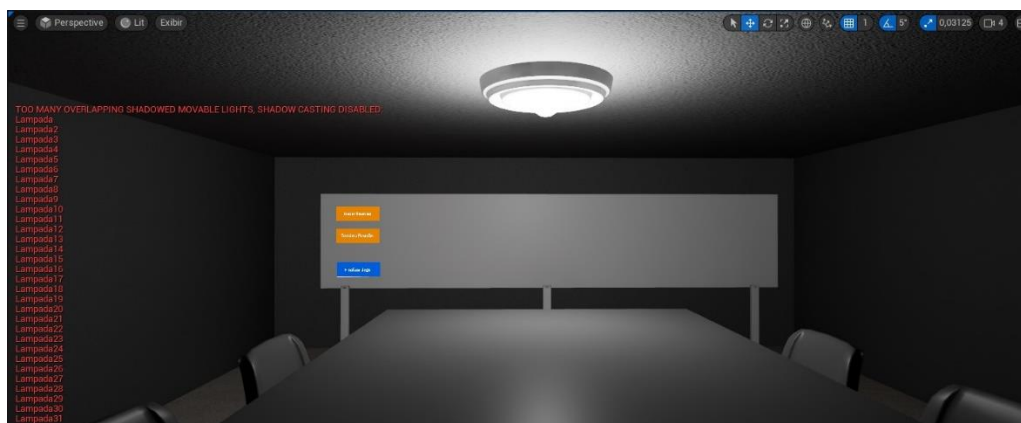
**Quadro 19** – Perdas esperadas do GerenciObras e mecânicas aplicadas para sua identificação (continuação)

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	MECÂNICA 1	MECÂNICA 2	MECÂNICA 3 (CARD)	MECÂNICA 4 (CARD)
P919	Ociosidade no trabalho devido a conversas desnecessárias e descanso excessivo dos trabalhadores	Diálogo: ao interagir com um trabalhador ocioso, o usuário descobre que ele está descansando fora do horário destinado ao descanso	Animação de trabalhadores ociosos	Carta de pergunta: o que acontece com a produção quando operários descansam fora do horário de intervalo?	Carta de investigação: procure Paulo
P923	Quebra de equipamento (betoneira)	Animação da betoneira quebrada, com sinalização por meio de ícone de atenção próximo à betoneira representando algo errado naquela situação	Personagem tutor explicando que a betoneira quebrou e que será levada para a assistência	Carta de pergunta: a quebra de equipamentos atrapalha a produção?	Carta de localização: central de argamassas

**Fonte:** o autor

Finalmente, ao identificar as perdas presentes na situação, o Investigador deve se dirigir à Sala de Reuniões, localizada dentro do escritório de engenharia na simulação, para verbalizá-las ao Juiz. O deslocamento até a Sala de Reuniões é uma forma simbólica de formalizar o desejo do Investigador e da sua Equipe de verificar se as perdas, supostamente identificadas por eles, estão corretas. Assim, ao chegar na referida sala, o Investigador deve clicar no botão “iniciar reunião”, exibido no quadro em uma das paredes da sala (Figura 31).

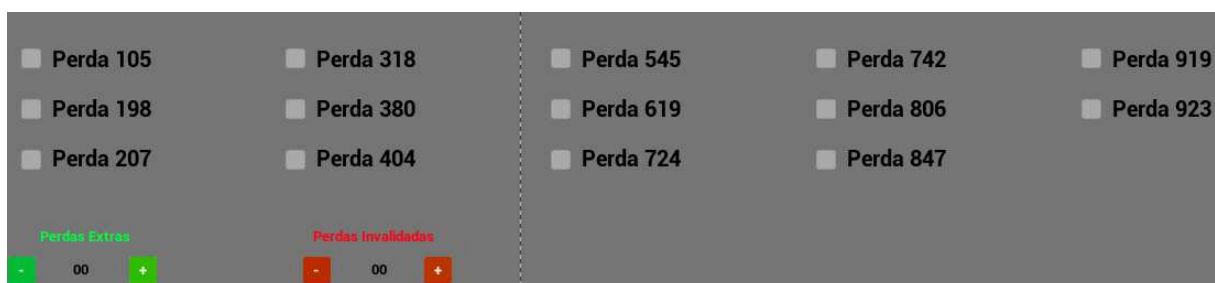
**Figura 31** – Sala de Reuniões do GerenciObras



**Fonte:** o autor.

Nesse momento, o Investigador e a sua Equipe devem, em comum acordo, detalhar ao Juiz cada uma das perdas identificadas. Cabe ao Juiz analisar o que foi apresentado pelos demais participantes e julgar se são perdas adequadas à situação. Para isso, deve fazer uso do gabarito de perdas constante no Manual de Uso de GerenciObras, analisando se a descrição apresentada pelos participantes se assemelha a alguma das perdas presentes na simulação. Caso julgue que sim, deve informar o código da perda correspondente para o Investigador, que assinalará na nova página do menu exibido na Sala de Reuniões (Figura 32).

**Figura 32** – Menu de validação das perdas – Sala de Reuniões

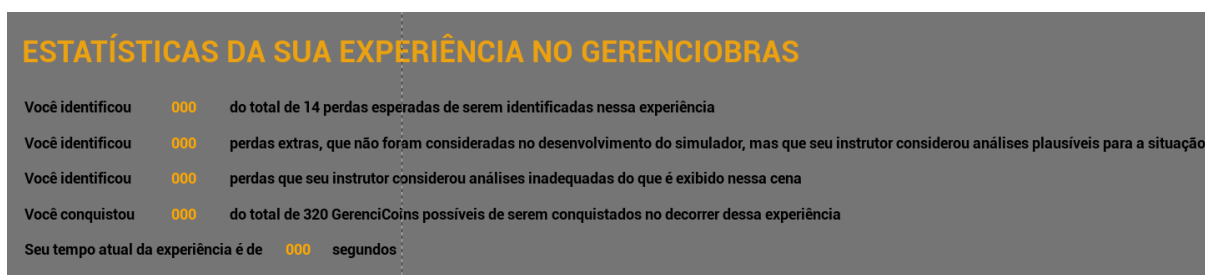


**Fonte:** o autor.

É possível que, mesmo que a situação apresentada pelos participantes não se assemelhe a nenhuma perda constante no Manual de Uso do GerenciObras, o Juiz julgue que se trata de uma perda plausível com a situação apresentada no simulador. Nesse caso, deve instruir o Investigador a aumentar um ponto no campo “perdas extras”. Porém, se a descrição de perda apresentada pelos participantes não for condizente, de forma que o Juiz decida não a aceitar como plausível, deve instruir o Investigador a aumentar um ponto no campo “perdas invalidadas”.

A reunião para validação das perdas pode ser feita sucessivas vezes ao longo da experiência e obrigatoriamente ao final da capacitação. Nesse último caso, encerrado o levantamento de perdas pelos participantes, o Investigador deve apertar o botão “finalizar sessão” disponível no menu. Nesse momento, como ato final da simulação, é exibido um *feedback* aos participantes com estatísticas de seu desempenho na experiência (Figura 33). Nesse *feedback*, é exibido o número absoluto de perdas esperadas, extras e inadequadas identificadas pelo Investigador e sua Equipe. O tempo utilizado na experiência também é apresentado, assim como a quantidade de GerenciCoins conquistadas, em relação ao total (320), para que os participantes possam analisar seu próprio desempenho.

**Figura 33** – Estatísticas de desempenho dos participantes



**Fonte:** o autor.

### 5.3.2 Estudo II

As experiências de uso do GerenciObras com o pequeno grupo do público-alvo e posteriormente com os especialistas realizadas no Estudo II trouxeram grandes contribuições para o seu desenvolvimento. A prática realizada com os alunos se iniciou com a aula teórica, com o uso de slides, a respeito dos preceitos da filosofia *Lean* e as categorias de perdas não-físicas presentes no ambiente de trabalho da construção civil. Apesar de ter sido uma exposição breve (cerca de 20 minutos), foi possível se observar que, ao final desta, os alunos estavam dispersos, mexendo em aparelhos celulares ou apresentando sinais de sonolência. Ressalta-se que a experiência foi realizada nas últimas duas aulas que os alunos precisavam frequentar naquele dia, sendo essas realizadas no período noturno – fator que pode contribuir para sua rápida perda de atenção e demonstração de cansaço excessivo.

Logo em seguida da exposição teórica, iniciou-se a experiência com o uso do simulador. Esse momento teve duração de 60 minutos, e foi possível notar uma mudança de comportamento dos alunos. Estavam mais atentos e engajados na atividade, fato notado à medida que não se observou novas interações com os aparelhos celulares e sinais de sonolência. Além disso, passaram a interagir verbalmente com o pesquisador, apresentando análises críticas do que era exibido na simulação. Não foi possível inferir se algum papel (Investigador e Equipe) em particular gerou mais engajamento dos alunos, visto que houve alunos que se mostraram mais ativos quando atuaram como Investigador, e outros, quando atuaram como Equipe.

A possibilidade de explorar o cenário virtual à sua própria maneira, sem direcionar o Investigador e a Equipe a uma forma de exploração e análise única

gerou situações interessantes. Por um lado, notaram-se diversas análises sobre perdas que não haviam sido previstas no momento do desenvolvimento do simulador, mas que, no julgamento do pesquisador, pareceram plausíveis à situação. Em geral, essas análises imprevistas decorreram de estímulos visuais da simulação.

Por exemplo, os alunos notaram que todas as caçambas de entulhos presentes no cenário já estavam cheias. A princípio, essa situação não havia sido desenvolvida no simulador com a proposta de caracterizar uma perda processual – tratava-se apenas de uma forma de enriquecer o cenário, tornando-o mais representativo de um ambiente real de um canteiro de obras. Contudo, na análise dos alunos, o fato de as caçambas estarem em sua capacidade máxima representa uma perda, à medida que, se for necessário depositar mais resíduos gerados no processo produtivo, o trabalhador precisará esperar uma nova caçamba vazia, ou então depositará os resíduos em um local provisório para depois transferi-los para a nova caçamba, o que gera um esforço de trabalho adicional.

Por outro lado, a flexibilidade de exploração do cenário fez com que, em diversos momentos, o Investigador e a Equipe se mostrassem confusos sobre os próximos passos a serem seguidos. Isso se evidenciou por meio de manifestações verbais dos participantes, bem como deslocamentos confusos no ambiente virtual, passando por áreas já exploradas ou ignorando áreas ainda não analisadas. Nesse contexto, foi necessário que o pesquisador, no papel de Juiz, realizasse intervenções pontuais para auxiliar os participantes a identificarem áreas de interesse no cenário.

Após a simulação, o pesquisador realizou uma entrevista não-estruturada com os alunos participantes para conhecer suas impressões a respeito da experiência. De forma geral, os comentários dos alunos confirmaram as percepções observacionais anteriores. Os alunos disseram que sentiram mais envolvidos no uso do simulador do que na aula teórica, e acreditavam que o uso da ferramenta teria potencial para contribuir com o aprendizado na sala de aula. Por outro lado, destacaram a dificuldade de entender o sequenciamento das tarefas a serem realizadas na simulação e quais áreas ainda poderiam ser exploradas.

A experiência de uso do GerenciObras com os especialistas participantes do Estudo II evidenciou percepções semelhantes à prática realizada com os alunos anteriormente. A atividade também durou cerca de 60 minutos, sendo que os dois

especialistas se alternaram nos papéis de Investigador e Equipe, e o pesquisador autor deste trabalho se manteve no papel de Juiz. Novamente, foi possível observar sinais de engajamento dos participantes, à medida com que faziam comentários sobre o que estava acontecendo na simulação. Também houve momentos em que estes se mostraram confusos quanto à localização de novas áreas de interesse no simulador, tendo sido necessária a intervenção do pesquisador para fornecer dicas.

Complementando as observações do pesquisador, ao final da experiência os especialistas participaram de uma entrevista semiestruturada (roteiro de perguntas disponível no Apêndice C), em que puderam expor suas percepções. No que tange aos **aspectos conceituais e didáticos** da ferramenta, os especialistas consideraram a experiência tranquila, com potencial para contribuir com o aprendizado dos alunos. Ressaltaram a importância da alternância entre os papéis (Equipe, Investigador), para que fosse possível analisar a simulação sob diferentes perspectivas, facilitando a identificação de perdas que poderiam ficar ocultas se observadas de um único ponto de vista. Pelo mesmo motivo, também salientaram a importância da realização de tarefas que competem a diferentes profissionais no canteiro de obras. Por exemplo, no GerenciObras os participantes devem:

- a) Decidir pela compra de insumos de modo a não formar um estoque excessivo ou insuficiente (tarefa de competência do gestor);
- b) Realizar procedimentos executivos relacionados ao revestimento argamassado em uma parede de alvenaria (tarefa de competência do pedreiro);
- c) Buscar materiais e/ou ferramentas para auxiliar outro profissional a completar uma atividade (tarefa geralmente de competência de um servente).

Os especialistas também ressaltaram a importância da interação com os trabalhadores (NPCs do GerenciObras). Destacaram que a exploração da simulação sem a interação com os operários se assemelha a um estudo de caso teórico realizado em sala de aula, como um projeto de um canteiro de obras, por exemplo. Ao se acrescentar o diálogo com os trabalhadores, enriquece-se essa experiência, visto que os participantes passam a conhecer as demandas e necessidades apresentadas pelos operários.

Outra contribuição para o aprendizado destacada pelos entrevistados se

refere à compreensão sobre as distâncias entre áreas no canteiro de obras. Segundo eles, a necessidade de se deslocar entre as áreas, ao longo da simulação, faz com que os participantes percebam mais facilmente trajetos com deslocamentos excessivos (que requerem mais tempo para serem cumpridos na simulação).

Em relação à precisão conceitual do conteúdo apresentado nas cenas da simulação do GerenciObras, os especialistas não notaram grandes inconsistências. Salientaram, no entanto, que a perda relacionada ao excesso de estoque não estava evidente, porque não era fácil julgar se o estoque disposto na obra excedia a demanda do seu processo produtivo. Também pontuaram que eventuais perdas relacionadas à falta de organização e limpeza do almoxarifado não eram evidentes, pois o almoxarifado parecia estar demasiadamente organizado para que esse fator fosse percebido mais facilmente.

No que diz respeito aos **aspectos técnicos** do GerenciObras, os especialistas expressaram um pouco de dificuldade na navegação e interação com a simulação por meio dos controles de movimento. Ressaltaram que essa dificuldade varia entre os participantes e consideraram essencial a parte do tutorial, apresentado ao início da simulação, que instrui os participantes a respeito dos principais comandos de movimentação e interação.

Sobre a intuitividade do uso do GerenciObras, confessaram terem se sentido um pouco confusos com as áreas que ainda necessitavam explorar ou sobre as próximas tarefas a serem realizadas, reforçando as percepções do pesquisador citadas anteriormente. Acreditam que, nesse sentido, é necessário algum instrumento, virtual ou real, para melhor orientar os participantes nesse aspecto.

A duração da experiência foi considerada adequada pelos especialistas. Estes não consideraram demasiadamente cansativo o uso do GerenciObras por 60 minutos, mas ressaltaram que a aula teórica inicial deve ser feita em um dia diferente ao do uso da ferramenta. Apontaram, ainda, que o papel de Equipe é um pouco mais monótono do que o do Investigador, e reforçaram a importância da alternância entre papéis para possibilitar que uma quantidade maior de participantes vivencie a experiência enquanto Investigador.

Quanto à qualidade técnica da simulação, os entrevistados consideraram que é adequada e suficiente para representar a rotina de trabalho de um canteiro de obras da construção civil. Contudo, apontaram que podem ser feitas melhorias nesse sentido, especialmente na representação de imperfeições (desorganização,

sujeira, entre outros), comumente vistas em canteiros de obras no cenário brasileiro.

Em relação às **percepções quanto ao possível envolvimento dos participantes**, os especialistas se mostraram confiantes de que a ferramenta pode contribuir com a motivação e o engajamento dos treinandos. Fundamentaram suas opiniões em vista de sua experiência pessoal, salientando que não consideraram ter perdido muito o foco no decorrer da experiência. Em particular, acreditam que o participante que está utilizando os óculos de realidade virtual se sente mais engajado e motivado. Também acreditam que a interação com os operários virtuais (NPCs) é uma das principais responsáveis por fomentar esse envolvimento.

Em vista dos comentários anteriores, os especialistas apontaram os seguintes **pontos de melhoria e sugestões**:

- a) Mudança da cor do cenário: em algumas áreas da simulação (sala tutorial, escritório de engenharia, sala de reuniões), as paredes foram representadas em preto. Os especialistas acreditam que a utilização de uma cor mais clara facilitaria a visualização dessas áreas nos óculos e na televisão/projetor;
- b) Remoção do ruído da betoneira: ao se aproximar da betoneira, era reproduzido um efeito sonoro da betoneira em funcionamento. Contudo, apesar de ser representativo da situação real de uma obra, os especialistas acreditam que o ruído dificulta a concentração dos participantes no processo de análise do local;
- c) Sintetização do vídeo tutorial: no protótipo do GerenciObras, ao iniciar a simulação, os participantes necessitavam assistir a um videotutorial de cerca de 11 minutos, em que o pesquisador apresenta todas as regras de uso da ferramenta, bem como instruções de navegação e interação com o cenário. Os especialistas consideraram o tutorial demasiadamente longo e sentiram que perderam o foco nesse momento durante sua experiência. Sugerem que sejam mantidas as instruções quanto à navegação e interação com os controles, mas que as regras da ferramenta sejam suprimidas do vídeo tutorial, sendo apresentadas pelo Juiz gradualmente durante a atividade, em momentos oportunos;
- d) Fase inicialmente de treinamento: associada ao vídeo tutorial com as instruções de movimentação e interação com o controle, os especialistas acreditam que seja benéfica a inclusão de uma etapa inicial de

treinamento na simulação. Sugerem um espaço prévio ao cenário do canteiro de obras, em que os participantes possam treinar a movimentação no espaço virtual e a interação com botões e objetos pegáveis no cenário;

- e) Explicitação do papel assumido pelo Investigador: como já discutido, no decorrer da experiência, o Investigador realiza tarefas de competência de gestores, pedreiros e serventes. Os especialistas consideram essa alternância de papéis importante, mas sugerem que os participantes sejam devidamente orientados de que isso irá ocorrer, a fim de evitar confusões;
- f) Explicitação das atividades a serem cumpridas: para evitar a sensação de confusão dos participantes, quanto a não saber onde estão as próximas áreas de interesse e tarefas, os especialistas recomendam que seja incluído algum mecanismo de orientação, como um quadro de tarefas.

#### 5.3.2.1 Características que contribuem para a capacitação (Versão 2)

A partir da contribuição dos especialistas participantes no Estudo II, e com base nos procedimentos metodológicos de avaliação e hierarquização de alternativas estabelecido pelo método AHP, foi possível desenvolver a Tabela 4. Essa tabela apresenta a preferência de cada mecânica/estratégia utilizada no GerenciObras, em relação à cada premissa (critério) estabelecida no tópico 5.2, apontadas pela literatura como sendo desejáveis para capacitações envolvendo tecnologia de realidade estendida.

**Tabela 4** – Ordem de preferência/importância das mecânicas em cada critério (continua)

Critério	C1	Definição											
		Virtualidade e Portabilidade											
Matriz de Julgamento	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Preferências das alternativas	0,006	0,150	0,150	0,270	0,006	0,004	0,006	0,003	0,003	0,030	0,010	0,150	0,210
Ordem de Preferência das alternativas	8°	3°	3°	1°	8°	11°	8°	12°	12°	6°	7°	3°	2°
Espessura da linha para o diagrama [mm]	0,06	1,50	1,50	2,70	0,06	0,04	0,06	0,03	0,03	0,30	0,10	1,50	2,10

Fonte: o autor

**Tabela 4 – Ordem de preferência/importância das mecânicas em cada critério (continua)**

Critério	C2	Definição Repetitividade											
Matriz de Julgamento	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Preferências das alternativas	0,010	0,010	0,004	0,010	0,090	0,006	0,006	0,003	0,004	0,010	0,003	0,030	0,006
Ordem de Preferência das alternativas	3°	3°	10°	3°	1°	7°	7°	12°	10°	3°	12°	2°	7°
Espessura da linha para o diagrama [mm]	0,10	0,10	0,04	0,10	0,90	0,06	0,06	0,03	0,04	0,10	0,03	0,30	0,06
Critério	C3	Definição Interatividade											
Matriz de Julgamento	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Preferências das alternativas	0,007	0,008	0,007	0,030	0,039	0,004	0,030	0,006	0,023	0,010	0,138	0,150	0,116
Ordem de Preferência das alternativas	10°	9°	10°	5°	4°	13°	5°	12°	7°	8°	2°	1°	3°
Espessura da linha para o diagrama [mm]	0,07	0,08	0,07	0,30	0,39	0,04	0,30	0,06	0,23	0,10	1,38	1,50	1,16
Critério	C4	Definição Aprendizagem Experiencial											
Matriz de Julgamento	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Preferências das alternativas	0,017	0,030	0,010	0,010	0,030	0,008	0,030	0,008	0,008	0,007	0,030	0,150	0,008
Ordem de Preferência das alternativas	6°	2°	7°	7°	2°	9°	2°	9°	9°	13°	2°	1°	9°
Espessura da linha para o diagrama [mm]	0,17	0,30	0,10	0,10	0,30	0,08	0,30	0,08	0,08	0,07	0,30	1,50	0,08
Critério	C5	Definição Flexibilidade e Versatilidade											
Matriz de Julgamento	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Preferências das alternativas	0,023	0,138	0,116	0,138	0,116	0,090	0,090	0,090	0,030	0,090	0,156	0,116	0,090
Ordem de Preferência das alternativas	13°	2°	4°	2°	4°	7°	7°	7°	12°	7°	1°	4°	7°
Espessura da linha para o diagrama [mm]	0,23	1,38	1,16	1,38	1,16	0,90	0,90	0,90	0,30	0,90	1,56	1,16	0,90

Fonte: o autor

**Tabela 4 – Ordem de preferência/importância das mecânicas em cada critério (continua)**

Critério	C6	Definição Transparência											
Matriz de Julgamento	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Preferências das alternativas	0,020	0,039	0,006	0,010	0,010	0,006	0,008	0,008	0,006	0,007	0,030	0,008	0,022
Ordem de Preferência das alternativas	4°	1°	11°	5°	5°	11°	7°	7°	11°	10°	2°	7°	3°
Espessura da linha para o diagrama [mm]	0,20	0,39	0,06	0,10	0,10	0,06	0,08	0,08	0,06	0,07	0,30	0,08	0,22
Critério	C7	Definição Imersão tecnológica											
Matriz de Julgamento	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Preferências das alternativas	0,030	0,040	0,023	0,036	0,178	0,030	0,030	0,030	0,023	0,023	0,036	0,036	0,150
Ordem de Preferência das alternativas	7°	3°	11°	4°	1°	7°	7°	7°	11°	11°	4°	4°	2°
Espessura da linha para o diagrama [mm]	0,30	0,40	0,23	0,36	1,78	0,30	0,30	0,30	0,23	0,23	0,36	0,36	1,50
Critério	C8	Definição Rastreabilidade de desempenho											
Matriz de Julgamento	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Preferências das alternativas	0,006	0,039	0,008	0,010	0,039	0,008	0,010	0,007	0,006	0,010	0,030	0,008	0,030
Ordem de Preferência das alternativas	12°	1°	8°	5°	1°	8°	5°	11°	12°	5°	3°	8°	3°
Espessura da linha para o diagrama [mm]	0,06	0,39	0,08	0,10	0,39	0,08	0,10	0,07	0,06	0,10	0,30	0,08	0,30
Critério	C9	Definição Abordagem pedagógica											
Matriz de Julgamento	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Preferências das alternativas	0,010	0,023	0,006	0,008	0,030	0,008	0,010	0,008	0,007	0,013	0,010	0,010	0,020
Ordem de Preferência das alternativas	5°	2°	13°	9°	1°	9°	5°	9°	12°	4°	5°	5°	3°
Espessura da linha para o diagrama [mm]	0,10	0,23	0,06	0,08	0,30	0,08	0,10	0,08	0,07	0,13	0,10	0,10	0,20
Legenda													
Cor													
Significado	Menor importância para o critério						Maior importância para o critério						
Alternativas	Descrição												
A1	Observação passiva (missões, tarefas, informações visuais ou verbais sem direcionamento do foco do participante ao objetivo pretendido)												

Fonte: o autor

**Tabela 4** – Ordem de preferência/importância das mecânicas em cada critério (continuação)

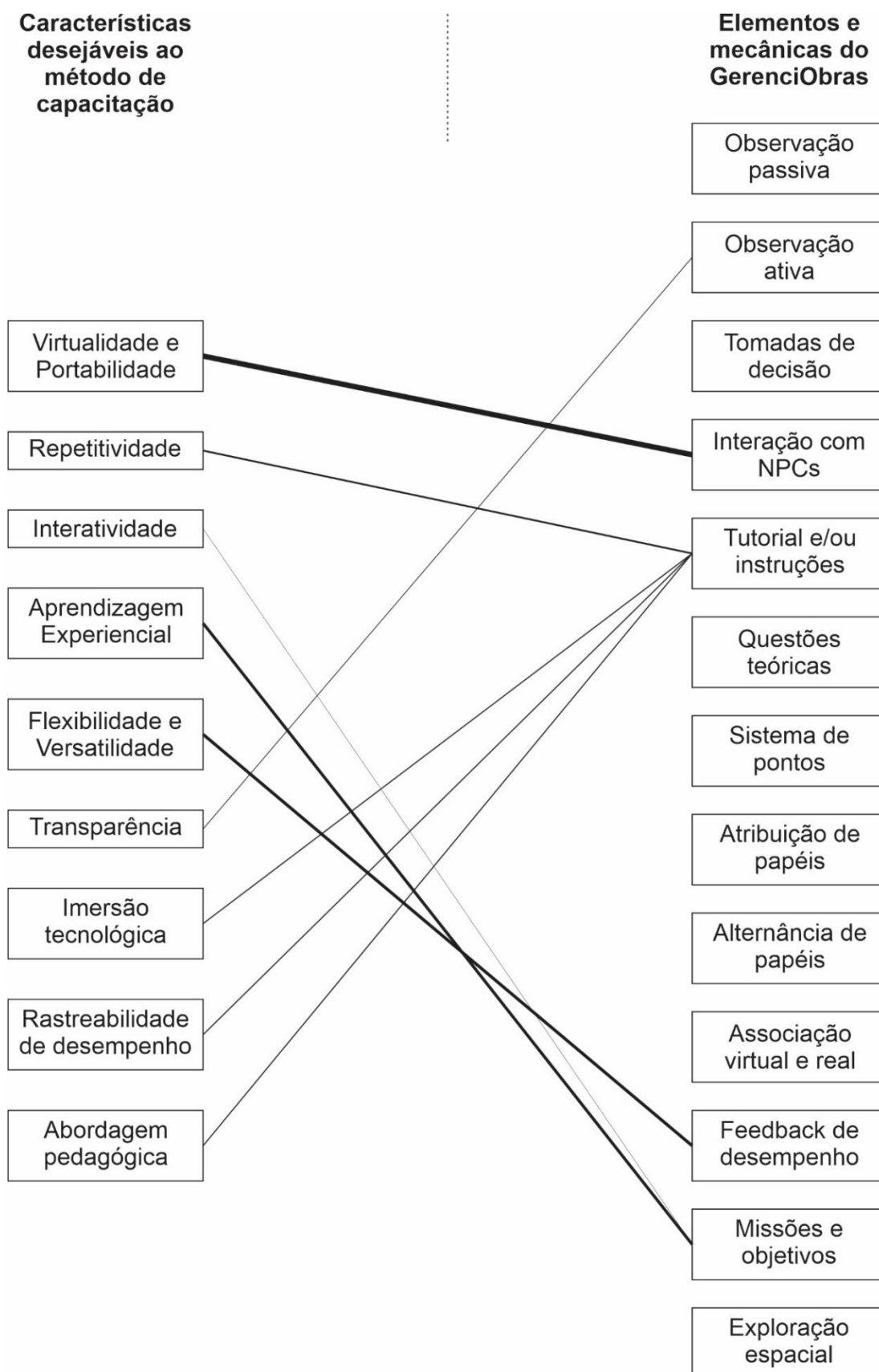
<b>A2</b>	Observação ativa (missões, tarefas, informações visuais ou verbais que direcionam o foco do participante ao objetivo pretendido)
<b>A3</b>	Tomadas de decisão
<b>A4</b>	Interação com NPCs (Personagens)
<b>A5</b>	Tutorial e/ou presença de um personagem instrutor e/ou manual de uso
<b>A6</b>	Informações e questões conceituais/teóricas
<b>A7</b>	Sistemas de pontos
<b>A8</b>	Atribuição de papéis para os participantes
<b>A9</b>	Alternância de papéis entre os participantes
<b>A10</b>	Associação de componentes virtuais e reais no decorrer da experiência
<b>A11</b>	Feedback de desempenho
<b>A12</b>	Missões e objetivos bem definidos
<b>A13</b>	Exploração da percepção espacial do usuário

**Fonte:** o autor

De forma a facilitar a compreensão dos resultados da Tabela 4, foi elaborado o diagrama apresentado na Figura 34. O esquema relaciona visualmente as alternativas (mecânicas do GerenciObras) com os critérios (premissas de desenvolvimento), de forma que a espessura da linha que os conecta está diretamente relacionada à importância/preferência da alternativa para aquele critério, segundo a opinião dos especialistas consultados. Para facilitar a visualização do leitor, no diagrama são apresentadas somente as relações mais fortes entre alternativas e critérios (alternativa classificada em 1º em cada critério).

Ao analisar os dados apresentados na Tabela 4 e na Figura 34, surgem algumas considerações pertinentes. No que se refere ao critério "C1: Virtualidade e Portabilidade", os especialistas expressaram uma preferência marcante pelas alternativas "A4: Interação com NPCs (Personagens)" e "A13: exploração da percepção espacial do usuário". Essa constatação alinha-se com descobertas de estudos anteriores que empregaram essa tecnologia em contextos de capacitação em diferentes áreas. Como já discutido no Capítulo 3 desta tese, a sensação de presença do usuário, intimamente ligada à imersão proporcionada pela ferramenta, é influenciada tanto por fatores físicos (nos quais o usuário se sente presente no ambiente virtual e não é mais perturbado por estímulos do mundo real) quanto por elementos psicológicos (nos quais o usuário recebe estímulos narrativos que o transportam para o mundo virtual, assemelhando-se à experiência de leitura de um livro de ficção, por exemplo) (Radianti *et al.*, 2020).

**Figura 34** – Diagrama-resumo da relação entre as mecânicas do GerenciObras e as premissas para o seu desenvolvimento



Fonte: o autor.

Desta forma, evidencia-se a importância da interação com personagens virtuais no estímulo à imersão psicológica do usuário, bem como a percepção do ambiente virtual desempenha um papel crucial na dissociação desse usuário do mundo real, promovendo a imersão física. Durante a realização do Estudo II com o uso do GerenciObras, tanto na interação com alunos como com especialistas, observou-se uma resposta espontânea por parte dos participantes diante do diálogo com os personagens virtuais. Eles demonstraram um genuíno interesse em conhecer mais sobre as histórias e demandas dos personagens na narrativa. Além disso, os participantes reagiram de maneira palpável ao ambiente virtual, discutindo aspectos como a distância entre as estações de trabalho, a altura de armazenamento de objetos no almoxarifado e as dificuldades em localizar áreas de interesse na construção. É notável que a natureza desses comentários sugere que os usuários se sentiram imersos na experiência, o que os motivou a expressar essas demandas de forma envolvente.

Quando se avaliam os critérios "C3: Interatividade" e "C4: Aprendizagem Experiencial", torna-se evidente que as alternativas "A11: *Feedback* de desempenho" e "A12: Missões e objetivos bem definidos" desempenham um papel crucial, de acordo com a avaliação dos especialistas consultados. Essa descoberta corrobora discussões anteriores apresentadas pelo pesquisador deste estudo (Lucena; Saffaro, 2020) e também discutidas na literatura. Em um ambiente imersivo repleto de estímulos, o aluno necessita de elementos que direcionem sua atenção para o processo de ensino-aprendizado, ao mesmo tempo em que preservam sua capacidade criativa de propor soluções para desafios encontrados ao longo da jornada de aprendizagem.

Quando os alunos recebem missões e objetivos claramente definidos, seguidos de uma avaliação de seu desempenho na busca por cumpri-los, eles demonstram um maior envolvimento com a experiência e percebem seu próprio crescimento a partir dela. Isso é evidenciado pelas observações dos participantes do Estudo II, que utilizaram o GerenciObras. Eles sugeriram a inclusão de mecânicas adicionais que enfatizassem o foco em objetivos e missões, assim como indicadores de progresso durante momentos em que se sentiam perdidos sobre qual caminho seguir. A sugestão de implementação de um quadro de tarefas a serem cumpridas, após a realização do Estudo II, destaca-se como uma comprovação concreta da relevância desses elementos.

No critério "C7: imersão tecnológica", mais uma vez, a alternativa "A13: exploração da percepção espacial do usuário" desponta como essencial. Isso reforça as discussões anteriores que vincularam essa alternativa ao critério relacionado à virtualidade da experiência. Como discutido, a percepção espacial do usuário no ambiente virtual desempenha um papel significativo em fazê-lo sentir-se verdadeiramente imerso nesse ambiente, o que está intrinsecamente ligado ao potencial de imersão proporcionado pela tecnologia.

Entretanto, no mesmo critério, a alternativa "A5: tutorial e/ou presença de um personagem instrutor e/ou manual de uso" também se destaca por sua importância. Essa constatação é surpreendente, visto que havia uma suposição de que orientações de natureza técnica ou instrucional poderiam, em algum momento, interromper o envolvimento do usuário na narrativa e afetar sua sensação de presença na experiência. Nesse contexto, duas possíveis explicações surgem para destacar essa alternativa no critério:

- a) É possível que as instruções fornecidas no tutorial, mesmo que momentaneamente afetem a sensação de presença na experiência, contribuam significativamente para o desenvolvimento contínuo e ininterrupto da experiência do usuário, promovendo assim sua imersão de maneira mais consistente.
- b) É possível que a inclusão de grande parte desses elementos instrucionais no próprio ambiente virtual, em vez de fornecê-los fora da experiência, ajude os alunos a manterem o foco na experiência, evitando que as interrupções instrucionais os retirem do estado de imersão.

A explicação apresentada na alínea "a" é respaldada por situações observadas ao longo do Estudo II. De fato, em momentos em que os participantes se sentiam perdidos ou encontravam dificuldades para executar determinadas ações, receber instruções que solucionassem o problema permitiu que eles continuassem a experiência de forma mais fluida, demonstrando um maior nível de envolvimento e compreensão da situação.

Para uma análise geral da importância das mecânicas do GerenciObras (alternativas) para o processo de ensino-aprendizado, foi realizada a soma dos índices que expressam a preferência de certa alternativa em cada critério analisado. Os valores obtidos são expressos no resumo apresentado na Tabela 5, e

representam o quanto certa alternativa é preferível de uma forma geral para contribuir com o processo de ensino-aprendizado, tomando-se todos os critérios de forma igualmente importante.

As alternativas “A12: missões e objetivos bem definidos”, “A13: exploração da percepção espacial do usuário” e “A5: tutorial e/ou presença de um personagem instrutor e/ou manual de uso” se destacam como sendo as mais preferíveis de maneira geral, segundo os especialistas consultados. Como discutido, trata-se de mecânicas que promovem maior foco à experiência do usuário, além de influenciar sua sensação de presença no ambiente virtual de forma física. Sugere-se, portanto, que tais aspectos também contribuem para as demais características necessárias para auxiliar no aprendizado dos alunos.

**Tabela 5 – Resumo da preferência de cada alternativa**

Matriz de Julgamento	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Preferência em C1	0,006	0,150	0,150	0,270	0,006	0,004	0,006	0,003	0,003	0,030	0,010	0,150	0,210
Preferência em C2	0,010	0,010	0,004	0,010	0,090	0,006	0,006	0,003	0,004	0,010	0,003	0,030	0,006
Preferência em C3	0,007	0,008	0,007	0,030	0,039	0,004	0,030	0,006	0,023	0,010	0,138	0,150	0,116
Preferência em C4	0,017	0,030	0,010	0,010	0,030	0,008	0,030	0,008	0,008	0,007	0,030	0,150	0,008
Preferência em C5	0,023	0,138	0,116	0,138	0,116	0,090	0,090	0,090	0,030	0,090	0,156	0,116	0,090
Preferência em C6	0,020	0,039	0,006	0,010	0,010	0,006	0,008	0,008	0,006	0,007	0,030	0,008	0,022
Preferência em C7	0,030	0,040	0,023	0,036	0,178	0,030	0,030	0,030	0,023	0,023	0,036	0,036	0,150
Preferência em C8	0,006	0,039	0,008	0,010	0,039	0,008	0,010	0,007	0,006	0,010	0,030	0,008	0,030
Preferência em C9	0,010	0,023	0,006	0,008	0,030	0,008	0,010	0,008	0,007	0,013	0,010	0,010	0,020
Soma	0,129	0,477	0,330	0,521	0,538	0,164	0,220	0,163	0,110	0,200	0,443	0,658	0,653
Ordem Geral de Preferência	12º	5º	7º	4º	3º	10º	8º	11º	13º	9º	6º	1º	2º
<b>Legenda</b>													
Cor													
Significado	Menor importância para o critério						Maior importância para o critério						

**Fonte:** o autor

Por outro lado, as alternativas "A8: atribuição de papéis para os participantes," "A1: observação passiva (missões, tarefas, informações visuais ou verbais sem direcionamento do foco do participante ao objetivo pretendido)," e "A9: alternância de papéis entre os participantes" foram consideradas as menos preferíveis e importantes no processo de ensino-aprendizado. Essa descoberta é notável, particularmente no que diz respeito às mecânicas relacionadas à atribuição de papéis aos participantes. Nesse sentido, diverge-se de estudos anteriores, que

revelaram que a adoção de papéis distintos dos papéis sociais vivenciados no mundo real contribui para a imersão e o aprendizado do usuário, uma vez que estimula a empatia e proporciona uma visão diversificada de uma mesma situação sob diferentes perspectivas.

É possível que a maneira como a atribuição e alternância de papéis foi implementada no contexto do GerenciObras não tenha se mostrado adequada para o processo de ensino-aprendizado. No GerenciObras, os usuários recebem seus papéis antes do início da simulação virtual por meio de fichas, com a possibilidade de assumirem os papéis de Juiz, Investigador ou membro da Equipe. Apenas o Investigador utiliza os óculos de realidade virtual e deve alternar de papel com um membro da equipe a cada vinte minutos. É possível que essa mecânica não tenha sido considerada preferível pelos especialistas uma vez que ocorre fora do ambiente virtual, afetando a fluidez e a imersão dos participantes, que precisam alternar entre tecnologias de imersão mais alta (os óculos) e tecnologias menos imersivas (a visualização da simulação apenas em uma televisão ou projetor).

Ademais, é relevante destacar que a mecânica de atribuição e alternância de papéis no GerenciObras foi criada como uma forma de viabilizar treinamentos para múltiplos usuários sem a necessidade de diversos dispositivos de imersão para visualizar o ambiente virtual. Diante dos resultados obtidos no Estudo II, surge a possibilidade de que essa mecânica não seja a solução mais adequada para treinamentos multiusuários.

### 5.3.3 Alterações para a Versão Final do GerenciObras

Considerando as percepções do pesquisador e as contribuições dos participantes e especialistas no decorrer do Estudo II, foram realizadas alterações no GerenciObras. O tutorial original (com duração de cerca de 11 minutos) foi reeditado, de forma a se tornar mais sucinto (aproximadamente 4 minutos). Neste, apresenta-se uma contextualização sobre a criação da ferramenta de ensino, bem como instruções de navegação e interação com a simulação. Além disso, a área em que o tutorial é exibido na simulação, que é o local em que o usuário inicia a experiência, foi expandida, de modo a contar com cartazes informativos, lembrando os principais comandos de navegação e interação. O espaço é suficiente para que o usuário possa treinar sua movimentação no espaço virtual, e conta com elementos

pegáveis (cubos virtuais) de exemplo, para que seja possível exercitar a ação de segurar objetos na cena (Figura 35).

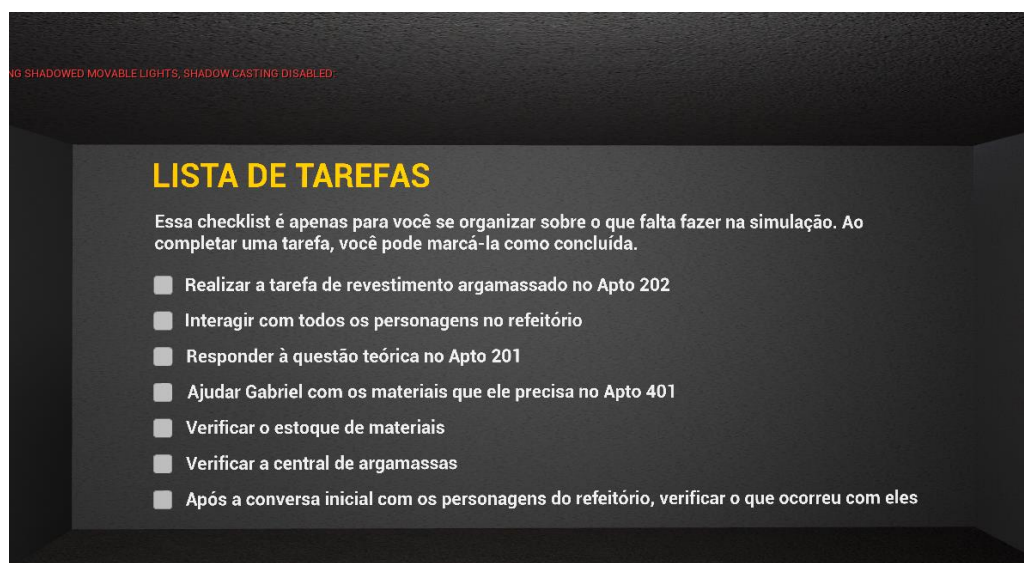
As áreas de apoio no cenário virtual, que possuíam uma coloração das paredes bastante escura, foram alteradas para uma cor mais próxima da cor branca. Outra mudança se refere à acentuação das características do almoxarifado e estoque: a fim de melhor evidenciar a desorganização do almoxarifado e o excesso de materiais em estoque, esses elementos foram exagerados na simulação. O almoxarifado possui mais elementos organizados de forma aleatória, havendo elementos iguais armazenados em locais diferentes. Os estoques de blocos cerâmicos foram expandidos, de forma a existirem claramente muito mais blocos cerâmicos do que o necessário para a conclusão da obra sendo simulada.

**Figura 35** – Nova área de treinamento no GerenciObras



**Fonte:** o autor.

Para melhor orientar os participantes, foi inserido um quadro de tarefas no Escritório de Engenharia, em que os participantes podem conferir uma lista de ações de interesse na simulação. É possível marcar tarefas já realizadas e verificar outras tarefas pendentes no cenário (Figura 36). Por fim, para evitar elementos que possam atrapalhar a concentração e comunicação dos participantes no decorrer da experiência, o ruído da betoneira foi removido.

**Figura 36** – Novo quadro de tarefas no GerenciObras

**Fonte:** o autor.

#### 5.4 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO (ESTUDO III)

Nesta seção, apresentam-se os resultados obtidos no decorrer do Estudo III, em relação às experiências realizadas com os Grupo A, B (Fase 1) e C (Fase 2), conforme exposto na seção 4.5 deste trabalho. Ainda que a Fase 1 tenha se iniciado cronologicamente antes da Fase 2 desse estudo, iniciar-se-á pela apresentação dos resultados deste estudo pela Fase 2, com vistas a facilitar o entendimento do leitor quanto ao conteúdo da discussão apresentada nessa seção. Destaca-se que ambas as fases são independentes entre si, de modo que a discussão dos achados obtidos na Fase 2 não requer a compreensão do ocorrido na Fase 1. Além disso, a Fase 1 se encerrou cronologicamente após a Fase 2.

##### 5.4.1 Fase 2

Participaram da Fase 2 deste estudo dois alunos, graduandos em engenharia civil na Instituição Y, instituição de ensino superior de qualificação jurídica pública/estadual. Ambos os participantes cursavam o 2º ano da graduação e se encontravam com 19 anos no momento da realização do estudo. Relataram ter algum tempo (média de 3,5 anos) de experiência prática no setor, vivido em experiências informais ao acompanhar parentes próximos que trabalham na área da

Arquitetura, Engenharia e Construção.

A experiência de uso do GerenciObras por esses dois participantes ocorreu no dia 17 de novembro de 2023. Um dos participantes atuou como Investigador na dinâmica, enquanto o outro atuou como membro da Equipe. O pesquisador autor deste trabalho atuou novamente como Juiz na dinâmica. Por opção dos participantes, não houve rodízio de papéis entre Investigador e Equipe.

A experiência durou cerca de 60 minutos. O participante utilizando os óculos de realidade virtual não demonstrou dificuldades em realizar os comandos de navegação e interação no cenário virtual. Ao longo da experiência, os participantes questionaram o pesquisador a respeito das perdas que relatavam, desejando saber mais detalhes sobre elas. Não demonstraram sinais de desinteresse ou tédio, mantendo-se participando ativamente em todo o decorrer da experiência.

Após o término da atividade, os participantes realizaram o julgamento das alternativas em relação a cada critério, conforme já detalhado na seção 4.5 deste trabalho. A partir dessa contribuição dos participantes, e com base nos procedimentos metodológicos de avaliação e hierarquização de alternativas estabelecido pelo método AHP, foi possível desenvolver a Tabela 6. Essa tabela apresenta a preferência de cada mecânica/estratégia utilizada no GerenciObras (alternativas), em relação à cada critério, apontados pelo Estudo I como sendo demandas latentes dos alunos em relação a melhorias no processo de ensino-aprendizado sobre gestão de perdas.

**Tabela 6** – Ordem de preferência/importância das mecânicas em cada critério (continua)

Critério	C1	Definição											
		Experiência prática											
Matriz de Julgamento	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Preferências das alternativas	0,007	0,076	0,102	0,020	0,132	0,044	0,020	0,102	0,020	0,098	0,156	0,132	0,090
Ordem de Preferência das alternativas	13°	8°	4°	10°	2°	9°	10°	4°	10°	6°	1°	2°	7°
Espessura da linha para o diagrama [mm]	0,07	0,76	1,02	0,20	1,32	0,44	0,20	1,02	0,20	0,98	1,56	1,32	0,90

Fonte: o autor

**Tabela 6 – Ordem de preferência/importância das mecânicas em cada critério (continuação)**

Critério	C2	Definição Visualização da relação de causa-consequência											
Matriz de Julgamento	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Preferências das alternativas	0,020	0,020	0,020	0,003	0,007	0,020	0,003	0,007	0,002	0,005	0,020	0,044	0,015
Ordem de Preferência das alternativas	2°	2°	2°	11°	8°	2°	11°	8°	13°	10°	2°	1°	7°
Espessura da linha para o diagrama [mm]	0,20	0,20	0,20	0,03	0,07	0,20	0,03	0,07	0,02	0,05	0,20	0,44	0,15
Critério	C3	Definição Estratégias que fomentem motivação e engajamento											
Matriz de Julgamento	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Preferências das alternativas	0,004	0,034	0,059	0,005	0,004	0,003	0,020	0,007	0,004	0,025	0,090	0,098	0,023
Ordem de Preferência das alternativas	10°	4°	3°	9°	10°	13°	7°	8°	10°	5°	2°	1°	6°
Espessura da linha para o diagrama [mm]	0,04	0,34	0,59	0,05	0,04	0,03	0,20	0,07	0,04	0,25	0,90	0,98	0,23
Critério	C4	Definição Repetitividade											
Matriz de Julgamento	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Preferências das alternativas	0,011	0,044	0,011	0,003	0,007	0,007	0,005	0,013	0,015	0,020	0,011	0,020	0,015
Ordem de Preferência das alternativas	7°	1°	7°	13°	10°	10°	12°	6°	4°	2°	7°	2°	4°
Espessura da linha para o diagrama [mm]	0,11	0,44	0,11	0,03	0,07	0,07	0,05	0,13	0,15	0,20	0,11	0,20	0,15
Critério	C5	Definição Discussão em grupo											
Matriz de Julgamento	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Preferências das alternativas	0,004	0,005	0,020	0,005	0,013	0,023	0,004	0,020	0,020	0,007	0,025	0,013	0,015
Ordem de Preferência das alternativas	12°	10°	3°	10°	7°	2°	12°	3°	3°	9°	1°	7°	6°
Espessura da linha para o diagrama [mm]	0,04	0,05	0,20	0,05	0,13	0,23	0,04	0,20	0,20	0,07	0,25	0,13	0,15

Fonte: o autor

De forma a facilitar a compreensão dos resultados da Tabela 6, foi elaborado o diagrama apresentado na Figura 37. O esquema relaciona visualmente as alternativas (mecânicas do GerenciObras) com os critérios (demandas de

aprendizado), de forma que a espessura da linha que os conecta está diretamente relacionada à importância/preferência da alternativa para aquele critério, segundo a opinião dos especialistas consultados. Para facilitar a visualização do leitor, no diagrama são apresentadas somente as relações mais fortes entre alternativas e critérios (alternativa classificada em 1º em cada critério).

Para uma análise geral da importância das mecânicas do GerenciObras (alternativas) para o processo de ensino-aprendizado, foi realizada a soma dos índices que expressam a preferência de certa alternativa em cada critério analisado. Os valores obtidos são expressos no resumo apresentado na Tabela 7, e representam o quanto certa alternativa é preferível de uma forma geral para contribuir com o processo de ensino-aprendizado, tomando-se todos os critérios de forma igualmente importante.

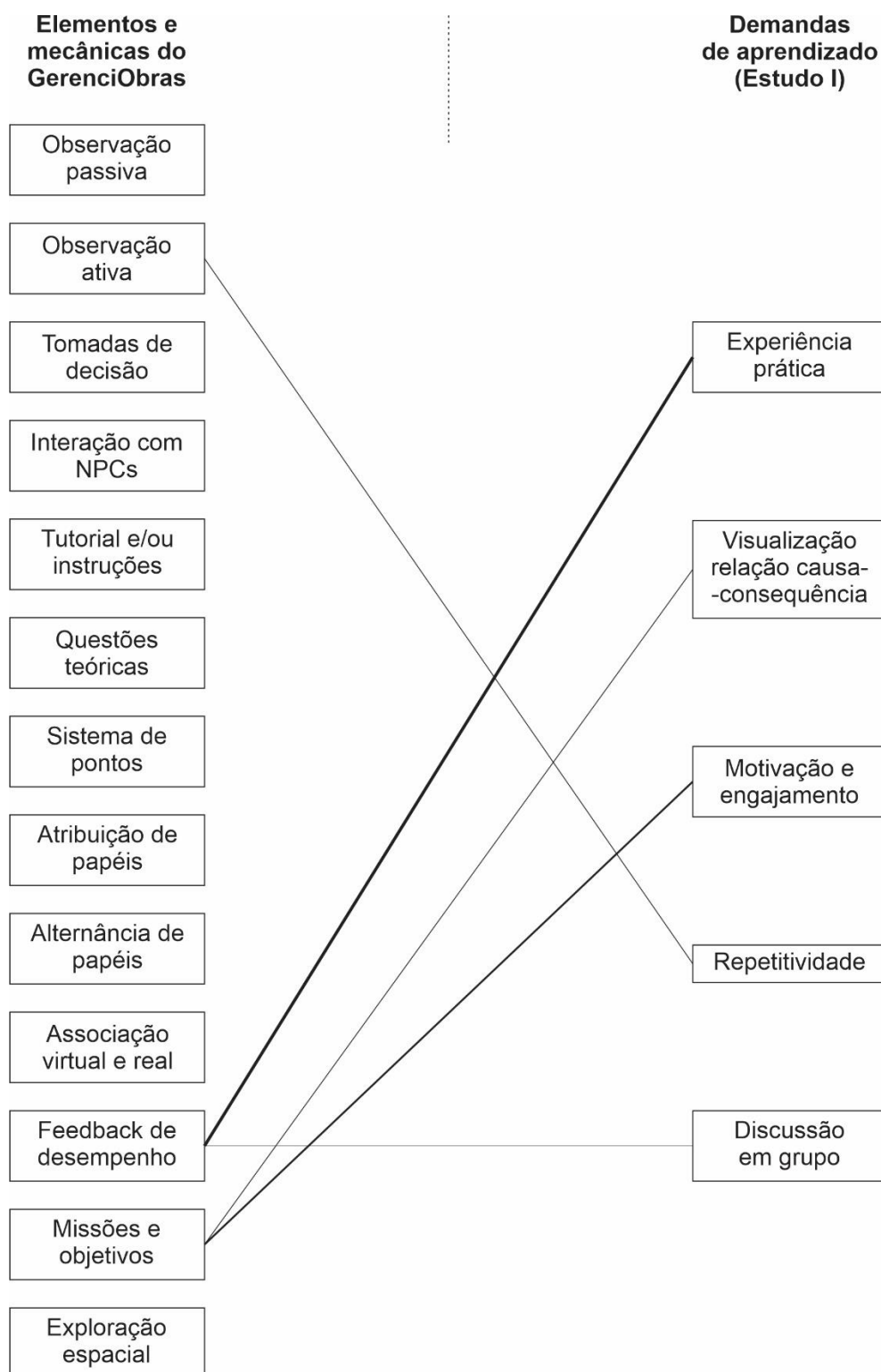
**Tabela 7 – Resumo da preferência de cada alternativa**

Matriz de Julgamento	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Preferência em C1	0,007	0,076	0,102	0,020	0,132	0,044	0,020	0,102	0,020	0,098	0,156	0,132	0,090
Preferência em C2	0,020	0,020	0,020	0,003	0,007	0,020	0,003	0,007	0,002	0,005	0,020	0,044	0,015
Preferência em C3	0,004	0,034	0,059	0,005	0,004	0,003	0,020	0,007	0,004	0,025	0,090	0,098	0,023
Preferência em C4	0,011	0,044	0,011	0,003	0,007	0,007	0,005	0,013	0,015	0,020	0,011	0,020	0,015
Preferência em C5	0,004	0,005	0,020	0,005	0,013	0,023	0,004	0,020	0,020	0,007	0,025	0,013	0,015
Soma	0,046	0,179	0,212	0,037	0,162	0,097	0,052	0,149	0,061	0,155	0,303	0,307	0,159
Ordem Geral de Preferência	12º	4º	3º	13º	6º	9º	11º	8º	10º	7º	2º	1º	5º

Fonte: o autor

Ao analisar os dados apresentados nas Tabelas 6 e 7 e na Figura 37, surgem algumas considerações pertinentes. Em particular, destaca-se o papel fundamental da alternativa "A12: Missões e objetivos bem definidos", classificada como a mais preferível em relação a todos os critérios, em geral (Tabela 7), e em relação aos critérios "C2: Visualização da relação de causa-consequência" e "C3: Estratégias que fomentem motivação e engajamento", em particular. De fato, como visto no Capítulo 3 deste trabalho, este achado é consonante com apontamentos da literatura (Howard; Gutworth; Jacobs, 2021), que explica que a utilização de missões e objetivos bem definidos provê foco à experiência do treinando, que tem maior clareza no que deve ser feito, e por isso se envolve com a experiência. Além disso, ao completar (ou não) uma missão ou objetivo, o treinando tem um retorno intuitivo sobre as consequências dessa sua ação.

**Figura 37** – Diagrama-resumo da relação entre as mecânicas do GerenciObras e as demandas de aprendizado sugeridas pelos alunos do Estudo I



Fonte: o autor.

A alternativa "A11: *Feedback* de desempenho" também se sobressaiu na análise como sendo uma das mais preferíveis na opinião dos participantes. Essa constatação reforça as reflexões do parágrafo anterior, visto que, as próprias

missões e objetivos na experiência possibilitam um *feedback* de desempenho aos participantes.

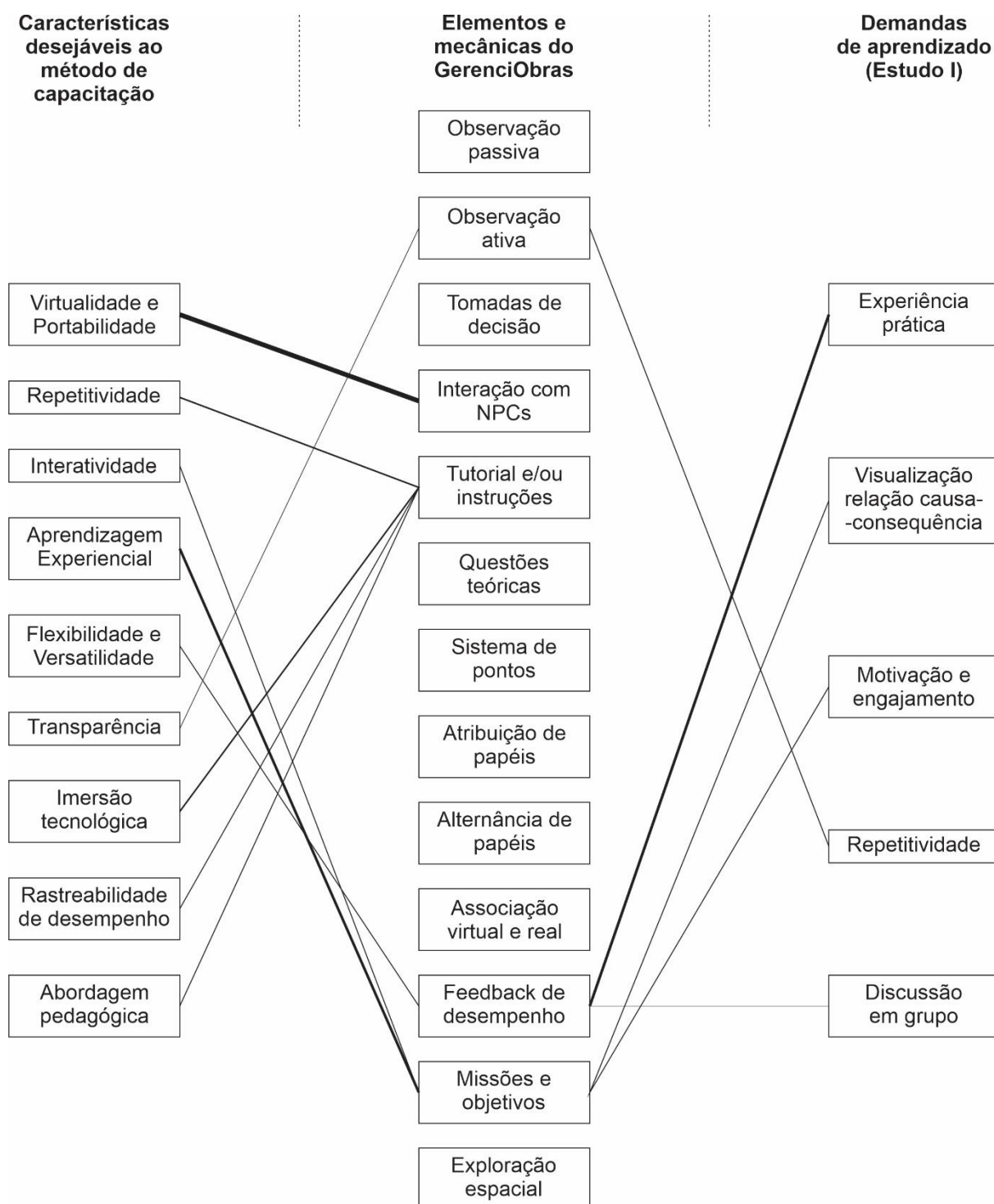
Associando-se o diagrama apresentado na Figura 37 com o diagrama anteriormente desenvolvido no Estudo II, tem-se a versão final do diagrama de características preferíveis para ferramentas desenvolvidas com tecnologia de Realidade Estendida para capacitações no contexto de gestão de perdas, exposto na Figura 38.

Nota-se, na Figura 38, novamente um protagonismo das alternativas "A11: *Feedback* de desempenho" e "A12: Missões e objetivos bem definidos". Baseado nos dados obtidos, estas mecânicas parecem ser fundamentais, na opinião dos especialistas (Estudo II) e alunos (Estudo III) consultados.

Estão associadas, segundo os especialistas, a características relacionadas ao dinamismo e fluidez da experiência, como interatividade, flexibilidade e versatilidade da ferramenta, de modo que, segundo os alunos, possibilitam-se experiências mais motivadoras e engajadoras, que estimulam o debate em grupo e a visualização das consequências das decisões tomadas. Ademais, tanto para os especialistas consultados quanto para os alunos, parecem estar associadas à ideia de prover experiências práticas aos treinandos, de modo que os participantes possam aprender fazendo/vivenciando o que é simulado (aprendizagem experiencial).

Por outro lado, mecânicas instrucionais (A5: Tutorial e/ou presença de um personagem instrutor e/ou manual de uso) se mostraram mais importantes para os especialistas do que para os alunos consultados. Uma das possíveis explicações levantadas por este trabalho para explicar essa constatação é de que os especialistas, enquanto educadores, têm como uma de suas prioridades na análise da ferramenta o seu conteúdo técnico-científico e a sua capacidade de transmiti-lo ao treinando. Já os alunos, enquanto alvos da capacitação, parecem priorizar uma experiência prazerosa e engajadora.

**Figura 38** – Versão final do diagrama de características preferíveis para ferramentas desenvolvidas com tecnologia de Realidade Estendida para capacitações no contexto de gestão de perdas



**Fonte:** o autor.

#### 5.4.2 Fase 1 e lições aprendidas

Dos treze participantes inicialmente selecionados para participar dos Grupos A e B da Fase 1 do Estudo III, apenas onze devolveram todas as fichas de avaliação solicitadas pelo pesquisador no decorrer do estudo, de tal forma que os dados dos outros dois participantes foram desconsiderados para a análise dos dados. Em relação aos onze participantes remanescentes, caracterizam-se como um grupo jovem, de idade de média de 19,37 anos (desvio-padrão: 0,67). A maioria dos participantes (55%) se encontrava no 2º ano da graduação em engenharia civil, enquanto os demais se dividiam entre o 3º ano (36%) e o 4º ano (9%).

Todos os participantes relataram não possuir qualquer experiência prática em relação à rotina de um canteiro de obras da construção civil, excetuando-se visitas técnicas pontualmente realizadas no decorrer de disciplinas do curso. Além disso, relembra-se ao leitor que todos os participantes dessa primeira fase do Estudo III estavam vinculados à Instituição X, instituição superior de ensino de qualificação jurídica pública/estadual.

A primeira atividade realizada com os Grupos A e B foi o nivelamento teórico sobre o assunto de gestão de perdas na construção, conduzido pelo pesquisador autor deste trabalho. O nivelamento foi realizado em cerca de trinta minutos. Neste tempo, os participantes não realizaram intervenções ou contribuições, mas foi possível observar que se mantiveram atentos às explicações. Ao final, alguns participantes se manifestaram para esclarecer dúvidas sobre o conteúdo apresentado.

Em seguida, foi solicitado que todos os participantes realizassem a análise do Estudo de Caso 01, com o preenchimento da respectiva ficha de avaliação, apresentada na seção 4.5 deste trabalho. Posteriormente, as fichas de cada participante foram corrigidas pelo pesquisador, que analisou cada possível perda identificada pelos participantes na narrativa do caso em estudo para averiguar se tratava-se de análises adequadas.

Para essa correção, considerou-se como “perda corretamente identificada” aquela em que o participante conseguiu identificar e descrever corretamente um fator plausível de perda em algum trecho da narrativa do estudo de caso, mesmo que não conseguisse apontar tecnicamente a qual categoria de perda aquela situação se tratava. Em contrapartida, foram consideradas “perdas incorretas”

aquelas em que se julgou que a análise apresentada pelo aluno não sugeria uma relação de causa-efeito direta com a passagem destacada por ele no texto do estudo de caso.

Por exemplo, no Estudo de Caso 01, há o seguinte trecho, que se refere a uma fala de um dos personagens fictícios do relato: “[...] Eu já redistribuí a equipe e aceleramos o trabalho, mas tivemos um problema grande. Quando fui verificar o andamento do serviço ontem, percebi que, **em todos os pavimentos que já foram executados essa parede, há um erro de medida. Vamos ter que corrigir todos**”. Um dos participantes destacou o trecho apresentado em negrito e sugeriu se tratar de uma perda devido à falta de inspeção por parte do setor de engenharia da obra. Contudo, o trecho em questão reflete uma perda que seria melhor associada à ideia de produtos defeituosos.

A análise do participante no exemplo anterior se mostra inadequada à medida que indiretamente incentiva a existência de procedimentos de inspeção para se evitar perdas. Contudo, de acordo com os princípios da filosofia *Lean Construction* que embasam as discussões sobre perdas neste trabalho (Koskela, 1992), ações relacionadas à inspeção devem ser entendidas como atividades que não agregam valor ao produto final, devendo ser reduzidas ou até mesmo eliminadas para melhoria geral do processo produtivo. Nesse sentido, a filosofia incentiva o desenvolvimento de ações para evitar que procedimentos de inspeção sejam de fato necessários.

Destaca-se também que os gabaritos de perdas existentes em cada estudo de caso, apresentados no Apêndice D, foram utilizados enquanto referência para esse processo de correção, mas não de modo que as respostas dadas pelos participantes precisassem se limitar àquelas possibilidades. Dessa forma, possibilitou-se que análises criativas e inesperadas, porém coerentes, também pudessem ser consideradas na análise dos dados.

Após a correção, foram calculados a média e o desvio-padrão da quantidade de perdas corretamente e incorretamente identificadas por cada grupo, apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8** – Desempenho dos grupos na análise do Estudo de Caso 01

<b>Análise</b>	<b>Autoavaliação</b>	<b>Perdas Corretas</b>	<b>Perdas Incorretas</b>
Média do Grupo A	3,50	13,17	1,17
Desvio Padrão do Grupo A	2,12	3,03	1,33
Média do Grupo B	3,00	13,00	1,00
Desvio Padrão do Grupo B	1,00	3,08	1,41

**Escala de Notas (autoavaliação):**

Nota 1: Não me sinto preparado para identificar perdas processuais como gestor de canteiro de obras.

Nota 2: Estou razoavelmente preparado, mas vejo espaço para melhorias.

Nota 3: Tenho um preparo moderado, com margem para aprimoramento.

Nota 4: Sinto-me bem-preparado, embora haja espaço para melhorias.

Nota 5: Estou extremamente preparado e confiante na identificação de perdas processuais.

**Fonte:** o autor

A partir dos dados apresentados na Tabela 8, conclui-se que os grupos apresentaram desempenho similar no processo de análise do caso estudado. Essa observação é relevante, pois sugere que os grupos são semelhantes. Portanto, ao comparar seus desempenhos nos estudos de casos futuros, especialmente quando apenas o Grupo B passará pela capacitação extra com o GerenciObras, será possível identificar de maneira mais precisa os impactos dessa experiência em particular, que diferencia os grupos.

Além disso, dos dados apresentados na Tabela 8, também é possível inferir que os participantes de ambos os grupos consideram que tem “um preparo moderado, com margem para aprimoramento” em relação às suas habilidades para identificar perdas em situações da construção civil, visto que apresentaram nota média próxima de 3 no processo de autoavaliação sobre esse assunto.

Após a realização do Estudo de Caso 01, os participantes do Grupo A foram separados dos participantes do Grupo B, de modo que apenas os participantes do Grupo B participaram da experiência com o GerenciObras. A atividade durou cerca de sessenta minutos, de forma similar às outras experiências de uso do simulador já relatadas neste trabalho.

No decorrer desta, observou-se que a participação dos alunos foi notavelmente mais ativa do que na aula teórica de nivelamento. Após as explicações das regras dadas pelo pesquisador (que atuou como Juiz na dinâmica do GerenciObras), iniciaram sua exploração do cenário por meio do diálogo com os trabalhadores presentes no canteiro. Foi possível notar que estavam atentos às falas dos personagens, manifestando-se verbalmente quando notavam alguma

informação nessas falas que pudessem indicar uma fonte de perda.

Apenas um participante optou por assumir o papel de Investigador (usuário dos óculos de realidade virtual), enquanto os demais se mantiveram no papel de Equipe. Assim, por opção dos participantes, não foi realizado o rodízio de papéis sugeridos na dinâmica de uso do simulador, ainda que o pesquisador tenha sugerido a troca, para evitar a ocorrência de náuseas devido ao uso prolongado dos óculos.

A interação dos participantes uns com os outros foi intensa no decorrer de toda a experiência. Os participantes que atuavam como Equipe assistiram à simulação por meio de um projetor multimídia e decidiam em conjunto com o participante que atuou como Investigador as próximas ações de investigação a serem realizadas pelo grupo.

O diálogo também foi frequente com o pesquisador (que atuava no papel de Juiz). Ao relatarem as perdas na sala de reuniões (situação que ocorreu três vezes ao longo de toda a experiência), faziam perguntas ao pesquisador, solicitando maiores detalhes sobre quando aquela perda identificada poderia ocorrer na prática, ou quais os seus impactos no processo produtivo.

Também se observaram evidências de que os participantes se sentiram imersos na experiência, sem demonstrar sinais de estarem entediados ou desinteressados. Mostraram sinais de surpresa ao encontrar um trabalhador acidentado em um dos apartamentos. Riram ao encontrar dois trabalhadores em conflito em um dos apartamentos (situação que, apesar de séria, se mostrou cômica no contexto fictício, devido à surpresa com uma cena tão peculiar para um ambiente de trabalho).

Após quarenta minutos de uso do simulador, o tempo previsto e combinado com os participantes para as atividades naquele dia se esgotou. O pesquisador então orientou aos presentes que poderiam encerrar a experiência se quisessem, mesmo que não tivessem identificado todas programadas no GerenciObras. Explicou que a interrupção do uso, caso fosse a vontade do grupo, não interferiria nos resultados do estudo, que não requereria que os participantes identificassem todas as perdas do GerenciObras para concluir a atividade. Apesar disso, os participantes optaram por continuar com a experiência – fato considerado como outro indício do engajamento dos participantes.

As GerenciCards, cartas adquiridas com os pontos conquistados ao realizar tarefas no GerenciObras, foram bastante utilizadas pelos participantes. Por diversas

vezes, ao demonstrarem dúvida sobre a próxima tarefa ou área a ser investigada, o grupo recorreu às cartas adquiridas para receber dicas. Nesse sentido, as mudanças realizadas no GerenciObras após o Estudo II pareceram ter impactos positivos. Não se observaram manifestações quanto à duração do tutorial (reduzido após o Estudo II), e nem se observou sinais de tédio ou desinteresse quando ele foi exibido no início da experiência. Os participantes recorreram com frequência e intuitivamente ao quadro de tarefas presente no cenário, alternando-o com as GerenciCards para receberem orientações sobre o que mais poderiam fazer na simulação.

Não se observou grande dificuldade de uso dos óculos de realidade virtual pelo participante que atuou como Investigador. No início, ao assistir o tutorial que orientava quanto às formas de navegação e interação com a simulação, o participante testou os controles. Precisou de poucos minutos para se habituar aos botões e a partir desse momento conseguiu conduzir todos os mecanismos de interação de forma bastante fluida e contínua. Também não verbalizou qualquer dificuldade ou sensação de enjoo e tontura (comum em relatos de usuários iniciantes no uso de tecnologia de realidade virtual).

Houve algumas dificuldades técnicas na mecânica de segurar e carregar objetos. Especialmente no caso de objetos grandes, como um carrinho de mão, o participante teve dificuldade em segurá-lo e, ao mesmo tempo, se deslocar pelo cenário. A fim de evitar que essa dificuldade prejudicasse a fluidez da dinâmica, o pesquisador orientou que ele soltasse o objeto e cumprisse simbolicamente a atividade que requeria que este fosse trazido até um local em específico do cenário.

Outra situação inesperada foi que, para se deslocar de um pavimento em uma altura elevada até o térreo, o participante que atuou como Investigador optou, algumas vezes, por se jogar de uma das janelas do pavimento, sem cumprir o trajeto pelas escadas. Essa ação do participante reflete um comportamento que não é esperado no ambiente real, ocorrendo no ambiente virtual devido ao fato de que neste o participante não sofrerá consequências devido à sua atitude imprudente.

A experiência no GerenciObras foi concluída quando os participantes conseguiram identificar todas as perdas pré-definidas na simulação. Além destas, identificaram-se ainda outras duas perdas extras (plausíveis, porém que não estavam consideradas no gabarito do manual). Não sugeriram perdas que foram consideradas inválidas pelo pesquisador. Concluíram todas as tarefas no decorrer da simulação, de modo que conquistaram todos os pontos possíveis (320

GerenciCoins).

Concluída a simulação, vários participantes se manifestaram com comentários positivos sobre a experiência. Também continuaram a apontar dúvidas técnicas sobre o assunto da gestão de perdas na construção civil. Diante disso, foi possível notar que ficaram empolgados com a atividade, fato também observado e relatado por outro professor (vinculado à Instituição X) que acompanhou a atividade enquanto observador.

Em seguida, os participantes de ambos os grupos receberam os dados relacionados ao Estudo de Caso 02 para realizarem a análise. Devido ao horário avançado, o pesquisador flexibilizou para que os participantes pudessem realizar o preenchimento individualmente em suas casas, visto que já conheciam o processo de análise (o mesmo realizado no Estudo de Caso 01), desde que realizassem o preenchimento ainda naquele dia ou, no máximo, no dia seguinte.

As análises apresentadas pelos participantes foram corrigidas pelo pesquisador, seguindo a mesma dinâmica já relatada para o Estudo de Caso 01. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9** – Desempenho dos grupos na análise do Estudo de Caso 02

<b>Análise</b>	<b>Autoavaliação</b>	<b>Perdas Corretas</b>	<b>Perdas Incorretas</b>
Média do Grupo A	3,00	14,00	1,50
Desvio Padrão do Grupo A	1,41	5,73	1,64
Média do Grupo B	3,00	15,67	1,40
Desvio Padrão do Grupo B	1,41	4,28	1,67

**Escala de Notas (autoavaliação):**

Nota 1: Não me sinto preparado para identificar perdas processuais como gestor de canteiro de obras.

Nota 2: Estou razoavelmente preparado, mas vejo espaço para melhorias.

Nota 3: Tenho um preparo moderado, com margem para aprimoramento.

Nota 4: Sinto-me bem-preparado, embora haja espaço para melhorias.

Nota 5: Estou extremamente preparado e confiante na identificação de perdas processuais.

**Fonte:** o autor

A proximidade dos valores médios apresentados na Tabela 9 indica que ambos os grupos novamente apresentaram desempenhos semelhantes na análise do Caso 02, em relação à identificação de perdas corretas e incorretas no decorrer da experiência. Nesse sentido, analisando-se exclusivamente os dados contidos na Tabela 9, conclui-se que não há evidências que indiquem que o uso do simulador tenha auxiliado os participantes do Grupo B no processo de análise solicitado.

Também se observa que os participantes não se sentiram melhor preparados para identificar fontes de perdas em situação da construção civil, haja vista os resultados similares em relação à autoavaliação realizada pelos participantes.

Essas observações são surpreendentes, à medida que se contrasta com as percepções positivas quanto ao envolvimento dos alunos relatadas anteriormente no uso do GerenciObras. Porém, são consonantes com outros estudos já realizados, em que também se observou indícios de que a experiência de capacitação com simulações em realidade virtual e estendida de fato não gerou impactos sensíveis e observáveis no desempenho dos alunos (Grassini; Laumann; Skogstad, 2020; Howard; Gutworth; Jacobs, 2021; Makransky; Klingenberg, 2022).

Após quinze dias da utilização do GerenciObras pelo Grupo B, foi solicitado que os participantes realizassem a análise do Estudo de Caso 03, seguindo a mesma dinâmica dos anteriores. Os resultados são apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10** – Desempenho dos grupos na análise do Estudo de Caso 03

<b>Análise</b>	<b>Autoavaliação</b>	<b>Perdas Corretas</b>	<b>Perdas Incorretas</b>
Média do Grupo A	2,50	14,67	0,50
Desvio Padrão do Grupo A	0,83	7,17	0,55
Média do Grupo B	2,67	15,17	0,00
Desvio Padrão do Grupo B	0,58	5,59	0,00

**Escala de Notas (autoavaliação):**

Nota 1: Não me sinto preparado para identificar perdas processuais como gestor de canteiro de obras.

Nota 2: Estou razoavelmente preparado, mas vejo espaço para melhorias.

Nota 3: Tenho um preparo moderado, com margem para aprimoramento.

Nota 4: Sinto-me bem-preparado, embora haja espaço para melhorias.

Nota 5: Estou extremamente preparado e confiante na identificação de perdas processuais.

**Fonte:** o autor

Novamente, os dados da Tabela 10 revelam desempenho similares entre ambos os grupos. Essa percepção reforça as reflexões realizadas no Estudo de Caso 02, e sugerem também que o simulador não apresentou contribuição expressiva na retenção do conhecimento a longo prazo.

Paralelamente à realização do Estudo de Caso 02, foi solicitado aos participantes do Grupo B que preenchessem uma ficha avaliação de satisfação, julgando o quão satisfeitos ficaram em relação a alguns critérios, a partir da utilização do GerenciObras. Os dados obtidos estão apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11** – Satisfação do Grupo B em relação ao GerenciObras

<b>Análise</b>	<b>Q1</b>	<b>Q2</b>	<b>Q3</b>	<b>Q4</b>	<b>Q5</b>	<b>Q6</b>	<b>Q7</b>
Média do Grupo B	4,75	4,75	5,00	4,75	4,75	4,25	5,00
Desvio Padrão do Grupo B	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50	0,50	0,00

**Legenda:**

Q1: A interface virtual do GerenciObras era intuitiva e fácil de usar.

Q2: O GerenciObras proporcionou uma experiência realista de situações de gestão de perdas na construção civil.

Q3: O GerenciObras ajudou a melhorar minha compreensão das práticas de gestão de perdas na construção civil.

Q4: O GerenciObras estimulou meu interesse em aprender mais sobre gestão de perdas na construção civil.

Q5: O tempo gasto no GerenciObras foi bem investido em termos de aprendizado.

Q6: A duração da experiência no GerenciObras foi adequada.

Q7: Eu recomendaria o uso do GerenciObras a outros interessados em gestão de perdas na construção civil.

**Escala de Notas:**

Nota 1: Muito Insatisfatório

Nota 2: Insatisfatório

Nota 3: Neutro

Nota 4: Satisfatório

Nota 5: Muito Satisfatório

**Fonte:** o autor

A partir dos dados obtidos na Tabela 11, observa-se que, em média, os participantes consideraram estarem muito satisfeitos em relação à maioria dos aspectos (facilidade de uso, realismo, contribuição ao aprendizado, motivação e engajamento, aprendizagem significativa), com leve queda nessa satisfação em relação à duração da experiência. Foram unânimes em dizer que recomendariam o uso do GerenciObras a outros interessados em gestão de perdas na construção civil.

A análise conjunta dos dados expostos nas Tabelas 9 a 11 e no relato da experiência de uso do GerenciObras com o Grupo B permite traçar reflexões importantes para o contexto deste trabalho. Por um lado, a experiência com o GerenciObras se mostrou positiva, conclusão corroborada pelas percepções de interesse e engajamento dos participantes no decorrer de seu uso, e pelos altos níveis de satisfação destes expressos na Tabela 11. Por outro lado, os dados apresentados nas Tabelas 9 e 10 revelam que, apesar desta satisfação, o simulador não parece ter contribuído para melhorar o desempenho do grupo nos testes realizados.

Nesse contexto, fazem-se algumas considerações. Em primeiro lugar, ainda que corroborados por outros estudos da literatura e por outras evidências levantadas neste trabalho em etapas anteriores ao Estudo III, estes dados representam uma

análise realizada com um grupo pequeno de participantes, de modo que suas reflexões não devem ser generalizadas livremente. Recomenda-se, nesse sentido, que novos estudos sejam feitos, inclusive com procedimentos metodológicos que avaliem o desempenho dos participantes de forma distinta à realizada, para que se tenham mais evidências em relação a quaisquer conclusões que possam ser tomadas de forma mais geral.

Em segundo lugar, aprendizado e satisfação, enquanto características humanas essencialmente complexas e subjetivas, são difíceis de serem investigadas e medidas. Assim, as análises realizadas nesta seção traçam luz à investigação dessas características nesse contexto, mas não são suficientes para inferir conclusões pragmáticas sobre a capacidade de treinamentos em realidade virtual e estendida gerarem (ou não) aprendizado e satisfação em seus usuários.

Consideradas essas limitações, o que se conclui é que não há indícios de que o uso do GerenciObras, e o método de capacitação e desenvolvimento de novas ferramentas de capacitação intrínseco a ele, contribua no sentido de promover o aprendizado nos seus usuários. Contudo, isso não significa que seu uso não seja indicado no contexto da Educação.

Como visto, a utilização da ferramenta com o Grupo B, assim como em todas as outras utilizações prévias relatadas no decorrer deste trabalho, foi notavelmente entusiasmante e engajadora. Nesse sentido, tornou o processo de ensino-aprendizado, iniciado com a aula de nivelamento teórico, mais prazerosa aos alunos. Essa mudança se fundamenta, principalmente, na satisfação elevada relatada pelos participantes e pelas mudanças de comportamento observadas no decorrer do estudo.

Tanto na utilização do protótipo do GerenciObras no Estudo II quanto em seu uso pelo Grupo B no Estudo III, notou-se que os participantes passaram a interagir mais ativamente no processo de ensino-aprendizado. Diferentemente da aula de nivelamento teórico, em que os participantes assumiram uma postura passiva de ouvintes frente à exposição do conteúdo pelo pesquisador, em que foi notado seus desinteresses em alguns casos, na experiência com o simulador os participantes realizaram perguntas, tomaram decisões e debateram análises.

Vale lembrar que esse tipo de contribuição foi apontado como uma demanda bastante recorrente pelos alunos entrevistados no decorrer do Estudo I. Como relatado na seção 5.1.3, neste estudo se observou que as principais demandas dos

alunos no processo de aprendizado neste contexto se relacionavam à possibilidade de visualizar situações práticas, entender as consequências de decisões tomadas e, em particular, de se adotarem estratégias para que eles se mantivessem motivados e engajados nesse processo.

Entende-se haver, nesse ponto, uma notável contribuição deste trabalho à discussão da questão de pesquisa QP.2, entendida como a norteadora deste trabalho: “quais devem ser as características de uma inovação desenvolvida por meio do uso de recursos tecnológicos em Realidade Estendida para contribuir com o aprendizado de gestores sobre a identificação e gestão de perdas não-físicas no canteiro de obras?”.

Em vista de todas as evidências e reflexões anteriormente expostas, a principal contribuição que este trabalho identificou no que diz respeito ao uso de recursos tecnológicos em Realidade Estendida para contribuir com o aprendizado não está relacionada a aumentar a quantidade do que se aprende e do quanto se retém do que se aprende, mas sim a tornar a experiência de aprendizado em si mais prazerosa e engajadora, com o mesmo nível de aprendizado das metodologias tradicionais de ensino.

Ao associar essa perspectiva de análise ao diagrama que apresenta as características que contribuem para a capacitação (versão 3 e final, apresentada no início desta seção), este trabalho também fornece subsídios para entender como fazer para desenvolver uma ferramenta similar ao GerenciObras que torne a experiência de aprendizado prazerosa e engajadora. Como visto, na opinião dos alunos consultados, a utilização de mecânicas como missões e objetivos bem definidos, bem como estratégias que possibilitem fornecer um *feedback* aos alunos a respeito de seu desempenho no decorrer da experiência parecem ser preferíveis para a criação de experiências com essas características.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho lançou luz sobre uma questão latente no âmbito do ensino de engenharia, especialmente no que concerne à temática de gestão de perdas não-físicas em canteiros de obras da construção civil. Ao investigar esse problema, constatou-se que os alunos consultados demandam aulas mais motivadoras, engajadoras e prazerosas, nas quais possam interagir ativamente com experiências práticas. Em vista disso, este trabalho se propôs a discutir as características desejáveis para o desenvolvimento de inovações que contribuíssem para a capacitação de estudantes de engenharia civil em relação à identificação e gestão de perdas não-físicas em canteiros de obras da construção civil, por meio do uso de recursos tecnológicos de Realidade Estendida.

Ao criar a ferramenta de capacitação denominada GerenciObras e submetê-la à avaliação por parte desse público, foi possível traçar reflexões nesse sentido. Não foram identificadas evidências de que a ferramenta criada, juntamente com seu método intrínseco de desenvolvimento, tenha promovido a aquisição ou retenção de conhecimento além do que seria obtido em aulas teóricas convencionais durante os experimentos conduzidos. No entanto, observou-se que a ferramenta contribuiu para o engajamento dos alunos, recebendo avaliações positivas e sendo recomendada por eles para ser utilizada no contexto educacional.

Diante disso, com base na análise da hierarquia de preferência das mecânicas da ferramenta, também realizada neste estudo, sugere-se que futuros desenvolvimentos de ferramentas similares concentrem-se na criação de experiências que tornem o processo de ensino-aprendizado mais dinâmico, envolvente e agradável, mesmo que não haja um impacto expressivo na aquisição e retenção de conhecimento pelos aprendizes nesse momento. As evidências coletadas indicam que o uso de mecânicas como missões e objetivos bem definidos, aliado a estratégias que proporcionem *feedback* de desempenho aos participantes, são preferíveis, cumprindo-se, assim, o propósito desta pesquisa.

Como discutido, a investigação sobre a promoção do aprendizado e da satisfação é complexa e subjetiva. Portanto, compreende-se que as reflexões apresentadas neste estudo contribuem para essa discussão, mas estão restritas ao contexto da ferramenta desenvolvida, dos experimentos realizados e do escopo desta pesquisa. Recomenda-se, portanto, a condução de novos estudos, nos quais

novas análises experimentais sejam realizadas com o GerenciObras ou outras ferramentas semelhantes desenvolvidas, permitindo comparações com as descobertas deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ABICH, Julian *et al.* A review of the evidence for training effectiveness with virtual reality technology. **Virtual Reality**, v. 25, n. 4, p. 919–933, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s10055-020-00498-8>.

ABIDI, Mustufa Haider *et al.* Assessment of virtual reality-based manufacturing assembly training system. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, London, v. 105, n. 9, p. 3743–3759, 2019. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00170-019-03801-3>.

ADOBE. **Mixamo**, 2023. Disponível em: <https://www.mixamo.com/#/>. Acesso em: 25 abr. 2023.

AHMED, Mirza Viquar. Multisensory flow experience through augmented-virtual reality interactive technology education. **International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology**, v. 10, n. 5, p. 49–54, 2019. Disponível em: [http://iaeme.com/MasterAdmin/Journal\\_uploads/IJARET/VOLUME\\_10\\_ISSUE\\_5/IJARET\\_10\\_05\\_005.pdf](http://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJARET/VOLUME_10_ISSUE_5/IJARET_10_05_005.pdf).

AIRES, Regina Wundrack do Amaral; KEMPNER-MOREIRA, Fernanda; FREIRE, Patricia de Sá. Indústria 4.0: desafios e tendências para a gestão do conhecimento. **Seminário Universidades Corporativas e Escolas de Governo**, p. 24, 2017.

AKA, Adefemi *et al.* A conceptual framework for waste identification and reduction in Nigerian sandcrete blocks production process. **Construction Innovation**, v. 19, n. 3, p. 405–423, 2019a. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/CI-11-2017-0091/full/html>.

AKA, Adefemi *et al.* Application of lean manufacturing tools and techniques for waste reduction in Nigerian bricks production process. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 27, n. 3, p. 658–679, 2019b. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ECAM-09-2018-0375/full/html>.

ALALOUL, Wesam Salah *et al.* Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: challenges and opportunities for stakeholders. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 11, n. 1, p. 225–230, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.010>.

ALCAÑIZ, Mariano; PARRA, Elena; GIGLIOLI, Irene Alice Chicchi. Virtual reality as an emerging methodology for leadership assessment and training. **Frontiers in Psychology**, Switzerland, v. 9, p. 1658, 2018. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2018.01658/full>.

ARREDONDO-MÉNDEZ, Víctor Hugo *et al.* The 4.0 Industry technologies and their impact in the continuous improvement and the organizational results: an empirical approach. **Sustainability**, Basel, v. 13, n. 17, p. 9965, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/17/9965>.

AYALEW, Tadesse; DAKHLI, Zakaria; LAFHAJ, Zoubeir. Characterization of waste in

Ethiopian building construction projects. *In:* , 2018. **IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers**. [S. l.: s. n.], 2018. p. 797–806. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/1605>.

BACEVICIUTE, Sarune *et al.* Investigating the value of immersive virtual reality tools for organizational training: An applied international study in the biotech industry. **Journal of Computer Assisted Learning**, Chichester, UK, v. 38, n. 2, p. 470–487, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jcal.12630>.

BAJJOU, Mohamed Saad; CHAFI, Anas. Assessing the critical sources of wastes in the moroccan construction industry, 2018a, New York, USA. *In: Proceedings of the 3rd International Conference on Smart City Applications*. New York, USA: ACM, 2018a. p. 1–5. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3286606.3286783>.

BAJJOU, Mohamed Saad; CHAFI, Anas. The potential effectiveness of lean construction principles in reducing construction process waste: an input-output model. **Journal of Mechanical Engineering and Sciences**, v. 12, n. 4, p. 4141–4160, 2018b. Disponível em: <https://journal.ump.edu.my/jmes/article/view/1092>.

BAJJOU, Mohamed Saad; CHAFI, Anas. The professionals' perception on the main causes of wastes in the Moroccan construction industry. 2018c, New York, USA. *In: Proceedings of the 3rd International Conference on Smart City Applications*. New York, NY, USA: ACM, 2018c. p. 1–4. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3286606.3286785>.

BAJJOU, Mohamed Saad; CHAFI, Anas. Identifying and managing critical waste factors for lean construction projects. **Engineering Management Journal**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 2–13, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10429247.2019.1656479>.

BALLARD, Glenn; HOWELL, Greg. What kind of production is construction?, 1998. *In: IGLC 1998 - Proceedings of the 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. 1998.

BARATA, João; KAYSER, Ina. Industry 5.0: past, present, and near future. **Procedia Computer Science**, v. 219, p. 778–788, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050923003605>.

BAXTER, Gavin; HAINEY, Thomas. Student perceptions of virtual reality use in higher education. **Journal of Applied Research in Higher Education**, Bingley, v. 12, n. 3, p. 413–424, 2019. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JARHE-06-2018-0106/full/html>.

BHATNAGAR, Shaurya; DEVKAR, Ganesh. Development and testing of a simulation game on waste elimination using lean practices, 2021. *In: IGLC 2021 - 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction - Lean Construction in Crisis Times: Responding to the Post-Pandemic AEC Industry Challenges*. 2021. p. 330–339. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/1886>.

BIOTTO, Clarissa N. *et al.* Virtual Parade Game for lean teaching and learning in

students from Brazil and Chile, 2021. *In: IGLC 2021 - 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction - Lean Construction in Crisis Times: Responding to the Post-Pandemic AEC Industry Challenges*, 2021. p. 340–349. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/1890>.

BOWER, Matt; DEWITT, Dorothy; LAI, Jennifer W. M. Reasons associated with preservice teachers' intention to use immersive virtual reality in education. **British Journal of Educational Technology**, Coventry, v. 51, n. 6, p. 2215–2233, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/bjet.13009>.

BUTUSSI, Fabio; CHITTARO, Luca. Effects of different types of virtual reality display on presence and learning in a safety training scenario. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 24, n. 2, p. 1063–1076, 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7817889>.

CALVERT, James; ABADIA, Rhodora. Impact of immersing university and high school students in educational linear narratives using virtual reality technology. **Computers & Education**, v. 159, p. 104005, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131520302037>.

CGTRADER. **CGTrader**, 2023. Disponível em: <https://www.cgtrader.com/>. Acesso em: 25 abr. 2023.

CHACÓN, Rolando. Designing Construction 4.0 activities for AEC classrooms. **Buildings**, Basel, v. 11, n. 11, p. 511, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/11/11/511>.

COELHO, Pedro *et al.* Industry 5.0: the arising of a concept. **Procedia Computer Science**, [s. l.], v. 217, p. 1137–1144, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050922023973>.

DALLASEGA, Patrick *et al.* BIM, Augmented and virtual reality empowering lean construction management: a project simulation game. **Procedia Manufacturing**, [s. l.], v. 45, p. 49–54, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S235197892031101X>. Acesso em: 27 maio 2022.

DAYA, Salim. Yates' continuity correction. **Evidence-based obstetrics & gynecology**, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 169, 2001. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1361259X01903010>.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. A distinctive analysis of case study, action research and Design Science Research. **Review of Business Management**, v. 17, n. 56, p. 1116–1133, 2015. Disponível em: <http://rbgn.fecap.br/RBGN/article/view/2069>.

EL JAZZAR, M.; NASSEREDDINE, H. Interactions between Construction 4.0 and lean wastes. **Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction**, v. 2021, p. 971–978, 2021. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85127568528&partnerID=40&md5=2a218e116ff78f1dd71fb8649e195895>.

EPIC GAMES. **Unreal Engine**. 2023a. Disponível em: <https://www.unrealengine.com/pt-BR/>. Acesso em: 25 abr. 2023.

EPIC GAMES. **Unreal Engine Marketplace**. 2023b. Disponível em: <https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/store>. Acesso em: 25 abr. 2023.

FATEH, M. A. M.; SULAIMAN, N. A. Preliminary study on awareness of the lean concept from the non-physical waste perspective. **Malaysian Construction Research Journal**, v. 14, n. 3, p. 12–26, 2021. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85121217853&partnerID=40&md5=08e60a7023111b9010d71a982e019f6a>.

FRACARO, Sofia Garcia *et al.* Towards design guidelines for virtual reality training for the chemical industry. **Education for Chemical Engineers**, [s. l.], v. 36, p. 12–23, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1749772821000142>.

GARONE, Priscilla Maria Cardoso. Design de jogos digitais: análise comparativa de modelos projetuais. **DAT Journal**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 116–134, 2020. Disponível em: <https://datjournal.anhembibr.br/dat/article/view/286>.

GOLOVIANKO, Mariia *et al.* Industry 4.0 vs. Industry 5.0: Co-existence, Transition, or a Hybrid. **Procedia Computer Science**, [s. l.], v. 217, p. 102–113, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050922022840>.

GOOGLE. **YouTube Audio Library**. 2023. Disponível em: <http://youtube.com/audiolibrary>. Acesso em: 25 abr. 2023.

GOULDING, Jack *et al.* Construction industry offsite production: a virtual reality interactive training environment prototype. **Advanced Engineering Informatics**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 103–116, 2012. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1474034611000851>.

GRASSINI, Simone; LAUMANN, Karin; SKOGSTAD, Martin Rasmussen. the use of virtual reality alone does not promote training performance (but sense of presence does). **Frontiers in Psychology**, v. 11, p. 1743, 2020. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2020.01743/full>.

HEVNER, Alan R. A Three cycle view of Design Science Research. **Scandinavian Journal of Information Systems**, v. 19, n. 2, p. 1–7, 2007. Disponível em: <http://aisel.aisnet.org/sjis/vol19/iss2/4>.

HOWARD, Matt C.; GUTWORTH, Melissa B.; JACOBS, Rick R. A meta-analysis of virtual reality training programs. **Computers in Human Behavior**, v. 121, p. 106808, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S074756322100131X>.

HUANG, Wen; ROSCOE, Rod D. Head-mounted display-based virtual reality systems in engineering education: a review of recent research. **Computer Applications in Engineering Education**, Hoboken, v. 29, n. 5, p. 1420–1435, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cae.22393>.

IGWE, Charles; HAMMAD, Amin; NASIRI, Fuzhan. Influence of lean construction wastes on the transformation-flow-value process of construction. **International Journal of Construction Management**, p. 1–7, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15623599.2020.1812153>.

IGWE, Charles; NASIRI, Fuzhan; HAMMAD, Amin. An empirical study on non-physical waste factors in the construction industry. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 2021. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ECAM-02-2021-0145/full/html>.

ISSA, Usama Hamed; ALQURASHI, Muwaffaq. A model for evaluating causes of wastes and lean implementation in construction projects. **Journal Of Civil Engineering and Management**, v. 26, n. 4, p. 331–342, 2020. Disponível em: <https://journals.vilniustech.lt/index.php/JCEM/article/view/12323>.

JACOBSEN, Emil L.; STRANGE, Nikolaj S.; TEIZER, Jochen. Lean construction in a serious game using a multiplayer virtual reality environment, 2021. *In: IGLC 2021 - 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction - Lean Construction in Crisis Times: Responding to the Post-Pandemic AEC Industry Challenges*. 2021. p. 55–64. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/1869>.

KOSKELA, Lauri. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. Doctor of Technology - Technical Research Centre of Finland, VTT Publications, 2000.

KOSKELA, Lauri. **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Technical Report No. 72. Center for Integrated Facility Engineering. Department of Civil, Engineering. Stanford University. 1992. p.75.

KOSKELA, Lauri. Making-do: the eighth category of waste, 2004. *In: IGLC 2004 - Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Helsingor: IGLC, 2004.

LACERDA, Daniel Pacheco *et al.* Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 741–761, 2013. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-530X2013000400001&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2013000400001&lng=pt&tlng=pt).

LANZO, Jaiden A. *et al.* A review of the uses of virtual reality in engineering education. **Computer Applications in Engineering Education**, Hoboken, v. 28, n. 3, p. 748–763, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cae.22243>.

LEAL, J. E. **Método AHP: análise do método simplificado de cálculo**. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2008. Memorando Técnico do Departamento de Engenharia Industrial.

LEDER, Johannes *et al.* Comparing immersive virtual reality and powerpoint as methods for delivering safety training: impacts on risk perception, learning, and decision making. **Safety Science**, v. 111, p. 271–286, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925753518302832>.

LEGE, Ryan; BONNER, Euan. Virtual reality in education: the promise, progress, and challenge. **The JALT CALL Journal**, v. 16, n. 3, p. 167–180, 2020. Disponível em: <https://www.castledown.com/journals/jaltcall/article/?reference=388>.

LEKAN, Amusan *et al.* Lean thinking and industrial 4.0 approach to achieving construction 4.0 for industrialization and technological development. **Buildings**, Basel, v. 10, n. 12, p. 221, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/10/12/221>.

LI, Xiao *et al.* A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 86, p. 150–162, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>.

LIU, Canlong *et al.* Accelerating the Last Planner System® (LPS) uptake using virtual reality and serious games: a sociotechnical conceptual framework, 2020. *In: IGLC 28 - 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2020*. 2020. p. 481–492. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/1791>.

LUCENA, Arthur Felipe Echs. **Análise crítica e hierarquização de métodos de mensuração do uso da Lean Construction**. 2017. 118 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Maringá, 2017.

LUCENA, Arthur Felipe Echs; DE MORI, Luci Mercedes. Uso do Analytic Hierarchy Process (AHP) para Hierarquização de Métodos de Mensuração do Grau de Aplicação da Construção Enxuta. **Revista Gestão Industrial**, v. 14, n. 4, p. 48–69, 2018. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/7736>.

LUCENA, Arthur Felipe Echs; SAFFARO, Fernanda Aranha. Guidelines for exploring construction sites in virtual reality environments for hazard identification. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10803548.2020.1728951>.

LUO, Heng *et al.* Virtual reality in K-12 and higher education: a systematic review of the literature from 2000 to 2019. **Journal of Computer Assisted Learning**, Chichester, UK, v. 37, n. 3, p. 887–901, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jcal.12538>.

MAKRANSKY, Guido; KLINGENBERG, Sara. Virtual reality enhances safety training in the maritime industry: An organizational training experiment with a non-WEIRD sample. **Journal of Computer Assisted Learning**, Chichester, UK, v. 38, n. 4, p. 1127–1140, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jcal.12670>.

MARHANI, M A *et al.* Minimising delay construction waste in the Malaysian construction industry by using lean construction tools. **Malaysian Construction Research Journal**, v. 35, n. 3, p. 71–82, 2021. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85129776238&partnerID=40&md5=52c5b76245614b5608dad799c585e8d7>.

MAYR, A. *et al.* Lean 4.0: a conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. **Procedia CIRP**, v. 72, p. 622–628, 2018. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212827118304736>. Acesso em: 27 maio 2022.

MEALY, Paul. **Virtual & augmented reality for dummies**. 1. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2018.

MERCHANT, Zahira *et al.* Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. **Computers & Education**, v. 70, p. 29–40, 2014. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131513002108>.

META. **Meta Quest 2**. 2023. Disponível em: <https://www.meta.com/quest/products/quest-2/tech-specs/#tech-specs>. Acesso em: 25 abr. 2023.

MILGRAM, P. *et al.* Mixed Reality (MR) Reality-Virtuality (RV) Continuum. **Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering**, [s. l.], v. 2351, n. Telemanipulator and Telepresence Technologies, p. 282–292, 1994.

MOLNAR, Viktor. Waiting as waste in lean production processes. *In: Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2021. p. 429–437. Disponível em: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-62784-3\\_36](http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-62784-3_36).

MOSSMAN, Alan. Why isn't the UK construction industry going lean with gusto? **Lean Construction Journal**, p. 24–36, 2009. Disponível em: <http://www.lean.org/WhatsLean/Timeline.cfm>.

MURATA, Koichi *et al.* Sources of waste on construction site: a comparison to the manufacturing industry, 2018. *In: IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers*. 2018. p. 973–981. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/1623>.

NACIRI, L. *et al.* Lean and industry 4.0: a leading harmony. **Procedia Computer Science**, v. 200, p. 394–406, 2022. Disponível em: Acesso em: 27 maio 2022.

NARANJO, Jose E. *et al.* A scoping review on virtual reality-based industrial training. **Applied Sciences**, Basel, v. 10, n. 22, p. 8224, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/22/8224>.

NASSEREDDINE, Hala *et al.* Mapping the capabilities and benefits of AR construction use-cases: a comprehensive map. **Organization, technology & management in construction**, Zagreb, v. 14, n. 1, p. 2571–2582, 2022.

NASSRI, Soraya *et al.* Labor waste in housing construction projects: an empirical study. **Smart and Sustainable Built Environment**, 2021. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/SASBE-07-2021-0108/full/html>.

NEVE, Hasse *et al.* Learning to see value-adding and non-value-adding work time in renovation production systems. **Production Planning & Control**, v. 33, n. 8, p. 790–802, 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09537287.2020.1843730>.

OGRIZOVIĆ, Dario; HADŽIĆ, Ana Perić; JARDAS, Mladen. Fully immersive virtual reality in logistics modelling and simulation education. **Promet - Traffic&Transportation**, v. 33, n. 6, p. 799–806, 2021. Disponível em: <https://traffic.fpz.hr/index.php/PROMTT/article/view/3941>.

OHNO, Taiichi. **Toyota Production System: beyond large-scale production**. Productivity Press, 1988.

OPEN AI. **ChatGPT**. 2023. Disponível em: <https://chat.openai.com/>. Acesso em: 12 out. 2023.

PASZKIEWICZ, Andrzej *et al.* Methodology of implementing virtual reality in education for Industry 4.0. **Sustainability**, Basel, v. 13, n. 9, p. 5049, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/9/5049>.

PATLE, Dipesh S. *et al.* Operator training simulators in virtual reality environment for process operators: a review. **Virtual Reality**, London, v. 23, n. 3, p. 293–311, 2019. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10055-018-0354-3>.

PHILIPPE, Stéphanie *et al.* Multimodal teaching, learning and training in virtual reality: a review and case study. **Virtual Reality & Intelligent Hardware**, [s. l.], v. 2, n. 5, p. 421–442, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2096579620300711>.

PIXABAY. **Royalty-free sound effects**. 2023. Disponível em: <https://pixabay.com/sound-effects/search/>. Acesso em: 25 abr. 2023.

QUIXEL. **Quixel**. 2023. Disponível em: <https://quixel.com/>. Acesso em: 25 abr. 2023.

RADIANTI, Jaziar *et al.* A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: design elements, lessons learned, and research agenda. **Computers & Education**, v. 147, p. 103778, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131519303276>.

ROSLI, Muhammad Faiz; MUHAMMAD TAMYEZ, Puteri Fadzline; ZAHARI, Abdul Rahman. The effects of suitability and acceptability of lean principles in the flow of waste management on construction project performance. **International Journal of Construction Management**, p. 1–27, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15623599.2020.1853006>.

SAATY, Thomas L. Decision making: the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 13, n. 1, p. 1–35, 2004.

SALVADORINHO, Juliana; TEIXEIRA, Leonor. Stories told by publications about the relationship between industry 4.0 and lean: systematic literature review and future research agenda. **Publications**, Basel, v. 9, n. 3, p. 29, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-6775/9/3/29>.

SANTOS, Alexa Fagundes dos; JESUS, Gabrieli Guterres de; BATTISTI, Isabel Koltermann. Entrevista semi-estruturada: considerações sobre esse instrumento na produção de dados em pesquisas com abordagem qualitativa, 2021. *In*: **Anais do**

**XXIX Seminário de Iniciação Científica.** 2021. p. 1–5. Disponível em: <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaoconhecimento/article/view/20805/19516>. Acesso em: 12 out. 2023.

SCHOEMAN, Yolandi; OBERHOLSTER, Paul; SOMERSET, Vernon. Value Stream Mapping as a supporting management tool to identify the flow of industrial waste: a case study. **Sustainability**, v. 13, n. 1, p. 91, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/1/91>.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial.** São Paulo: Edipro, 2016.

SHINGO, Shigeo. **Sistema Toyota de Produção.** Porto Alegre: Bookman, 1996.

SHOU, Wenchi; WANG, Jun; WU, Peng. The application of simulation in lean production research: a critical review and future directions. **Engineering, Construction and Architectural Management**, Bradford, v. 28, n. 8, p. 2119–2154, 2021. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ECAM-10-2020-0853/full/html>.

SOUNDBIBLE. **SoundBible.** 2023. Disponível em: <https://soundbible.com/>. Acesso em: 25 abr. 2023.

SPISAKOVA, M. *et al.* Virtual reality as a tool for increasing safety of construction sites. 2020. *In: 2020 18th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA).* IEEE, 2020. p. 1–6. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9379202/>.

TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOUTO, Robson. **Fundamentos e tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada.** Belém: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2006. ISSN 0100-6991. Disponível em: <http://www.alexandre.eletrica.ufu.br/livro1.pdf>.

TTSFREE. **TTSFree.** 2023. Disponível em: <https://ttsfree.com/>. Acesso em: 25 abr. 2023.

URIARTE, Ainhoa Goienetxea; NG, Amos H.C; MORIS, Matías Urenda. Supporting the lean journey with simulation and optimization in the context of Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 25, p. 586–593, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978918306255>. Acesso em: 27 maio 2022.

VAN DINTER, Raymon; TEKINERDOGAN, Bedir; CATAL, Cagatay. Automation of systematic literature reviews: a systematic literature review. **Information and Software Technology**, v. 136, p. 106589, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950584921000690>.

WANG, Mudan *et al.* A systematic review of digital technology adoption in off-site construction: current status and future direction towards Industry 4.0. **Buildings**, Basel, v. 10, n. 11, p. 204, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-5309/10/11/204>.

WANG, P *et al.* Adopting lean thinking in virtual reality-based personalized operation

training using value stream mapping. **Automation in Construction**, v. 119, p. 103355, 2020. Disponível em: Acesso em: 27 maio 2022.

WEBER, Ron. **Design-science research**. *In: Research Methods*. 2. ed. Cambridge: Elsevier, 2018. p. 267–288. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B978008102220700011X>.

WILLIAMS, Leslie Lea; QUAVE, Kylie. Tests of Proportions. *In: Quantitative Anthropology*. Elsevier, 2019. p. 123–141. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128127759000104>.

WOLFF, Cristina Santos. **O método AHP: revisão conceitual e proposta de simplificação**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Pontifícia Universidade Católica Do Rio De Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A - Questionário utilizado no Estudo I

<b>SEÇÃO 1 – Caracterização do Voluntário</b>	
<p>Olá! Primeiramente, muito obrigado pela sua participação nessa pesquisa! Trata-se de um estudo associado à minha tese de Doutorado, relacionada ao desenvolvimento de novas estratégias para capacitações de graduandos de engenharia civil sobre a gestão de perdas não-físicas na construção civil. Assim, o objetivo dessa pesquisa é identificar as demandas desse público em relação ao aprendizado sobre esse tema.</p> <p>Antes de iniciarmos a pesquisa, é importante que você saiba que sua participação é anônima. Alguns dados relacionados à sua identidade, como nome e e-mail, serão coletados apenas para possibilitar nosso contato, caso necessário, mas não serão divulgados na publicação dos resultados do estudo. Além disso, sua participação é voluntária, e caso não desejar mais participar da pesquisa, você pode interromper o preenchimento do formulário a qualquer momento.</p> <p>Essa pesquisa é destinada a graduandos em Engenharia Civil. Por favor, leia as questões com calma e atenção, e responda de forma sincera. O tempo estimado para o preenchimento do formulário é de 15 minutos.</p> <p>Mais uma vez, muito obrigado!</p> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;"> <p><b>Arthur Felipe Echs Lucena</b>            Doutorando em Engenharia Civil            Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGECiv)            Universidade Estadual de Londrina (UEL)            @arthur.elucena  <a href="https://www.linkedin.com/in/profarthurlucena">linkedin.com/in/profarthurlucena</a></p> </div>	
1.1	Nome completo (não será utilizado na divulgação dos resultados da pesquisa)
1.2	E-mail (não será utilizado na divulgação dos resultados da pesquisa)
1.3	Idade (utilize somente números)
1.4	Região em que reside (Sul / Sudeste / Norte / Nordeste / Centro-oeste)
1.5	Está cursando Engenharia Civil atualmente? (Sim / Não)
1.6	Em qual instituição estuda?
1.7	Tipo de instituição (pública / privada)
1.8	Atualmente está cursando matérias principalmente de qual ano do curso? (1º/ 2º/ 3º/ 4º/ 5º)
1.9	Tempo, em anos completos, de experiência prática na área (estágio ou atividades relacionadas ao setor de construção civil) (utilize somente números)
<b>SEÇÃO 2 – Conhecimento sobre Gestão de Perdas Não-físicas</b>	
<p>Essa seção abordará questões sobre seu conhecimento a respeito de gestão de perdas não-físicas na construção civil. Para respondê-la, considere <b>perda</b> como sendo <b>qualquer ação que não produz ou agrega valor ao produto final de um</b></p>	

	<p><b>processo produtivo, ou que resulta no uso de recursos em quantidade maior do que a necessária para agregar valor ao produto final.</b> Elas podem ser subdivididas em perdas <b>físicas</b> (como a perda de matéria-prima) e perdas <b>não-físicas</b> (relacionadas às atividades e processos na produção).</p> <p>As perdas na construção civil, especialmente as de natureza não-física, são frequentes e diversas, de tal forma que convém classificá-las e agrupá-las com base em características comuns. A classificação mais recorrente no meio científico foi proposta por Ohno (1988) e divide as perdas em sete categorias: <b>superprodução, transporte, excesso de processamento, produtos defeituosos, esperas, movimentação de trabalhadores e perdas por estoques.</b></p>
2.1	<p>Na sua graduação, você já estudou alguma disciplina que abordava a temática de perdas na construção civil? (Sim / Não / Não me lembro ou Não sei dizer)</p>
2.2	<p>Caso a resposta da questão (1) tenha sido “Sim”, como você avalia a divisão do conteúdo entre exposições teóricas e vivências práticas? Assinale a alternativa que melhor representa sua avaliação.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aula majoritariamente teórica, com baixa exposição/vivência de situações práticas.</li> <li>- Aula bem distribuída entre exposições teóricas e exposições/vivências de situações práticas.</li> <li>- Aula majoritariamente prática, com baixa quantidade de exposições teóricas.</li> </ul>
2.3	<p>Caso a resposta da questão (1) tenha sido “Sim”, como você avalia o nível de uso de recursos tecnológicos durante a aula? Assinale a alternativa que melhor representa sua avaliação.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sem uso de recursos tecnológicos durante a aula (somente quadro, giz, materiais impressos, palestras e visitas técnicas).</li> <li>- Uso de recursos tecnológicos simples durante a aula (uso de slides e recursos similares)</li> <li>- Uso de recursos tecnológicos avançados de forma esporádica (todas ou parte das opções anteriores, com eventual uso de ferramentas BIM, Realidade Virtual, Realidade Aumentada e similares)</li> <li>- Uso de recursos tecnológicos avançados de forma intensa (predomínio do uso de tecnologias como ferramentas BIM, Realidade Virtual, Realidade Aumentada e similares)</li> </ul>

2.4	<p>Avalie, com uma nota entre 1 e 3, seu conhecimento sobre gestão de perdas não-físicas na construção civil.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nota 1: não tenho qualquer conhecimento sobre o assunto.</li> <li>- Nota 2: tenho pouco conhecimento sobre o assunto e acredito que aprender mais sobre ele poderia me auxiliar bastante caso venha a exercer funções de gestão no meu futuro profissional.</li> <li>- Nota 3: tenho conhecimento satisfatório/bom sobre o assunto e acredito que aprender mais sobre ele não me ajudaria muito caso venha a exercer funções de gestão no meu futuro profissional.</li> </ul>
<b>SEÇÃO 3 – Demandas de Capacitação</b>	
3.1	<p>Assinale as sentenças que melhor descrevem as razões pelas quais seu conhecimento sobre gestão de perdas não-físicas, conforme resposta da questão anterior, é nulo ou baixo (você pode assinalar quantas alternativas quiser e escrever outras razões no campo “outros”).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Ainda não cursei nenhuma disciplina que abordava esse assunto.</li> <li>b) Considero insatisfatória a forma com que o tema foi abordado na disciplina que cursei sobre esse assunto.</li> <li>c) Considero inadequada a didática utilizada pelo professor que abordou esse assunto.</li> <li>d) Me senti entediado / perdi o foco quando estudei esse assunto.</li> <li>e) Considero o tema muito complexo.</li> <li>f) Considero o tema muito abstrato e difícil de visualizar.</li> <li>g) Não vivenciei / não fui apresentado a muitas experiências práticas sobre o assunto.</li> <li>h) Não me interesse pelo tema.</li> <li>i) Não acredito que o tema seja importante.</li> <li>j) Outras (quais?)</li> </ul>
3.2	<p>Caso você fosse estudar (pela primeira vez, ou novamente – caso já tenha estudado antes) sobre esse tema, como você acha que deveria ser a abordagem utilizada em uma aula sobre o assunto? Assinale quantas sentenças quiser e escreva outras, caso desejar, no campo “outros”.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Com a utilização de estratégias que me ajudem a me manter motivado/engajado no processo de ensino-aprendizado.</li> </ul>

- b) Com um material impresso detalhado sobre o assunto.
- c) Com experiências / relatos práticos sobre o assunto.
- d) Com uma competição entre a turma para incentivar o aprendizado.
- e) Com um sistema de recompensas para reconhecer meu progresso no aprendizado.
- f) Com estratégias que me faça estudar em grupo com outros colegas da turma.
- g) Com uso de recursos tecnológicos que facilitem a visualização do tema.
- h) Com aulas essencialmente teóricas sobre o tema.
- i) Com estratégias que promovam a discussão entre o grupo.
- j) Com recursos que me facilitem a visualização da relação de causa e consequência entre decisões tomadas e suas consequências em relação à gestão de perdas na construção civil.
- k) Com recursos que me possibilitem reassistir / vivenciar novamente o conteúdo lecionado sempre que eu quiser.
- l) Com recursos mais interativos.
- m) Outras (quais?)

## APÊNDICE B - Script de análise estatística – Estudo I

```

> # Análise dados Doutorado - Estudo 1 - Arthur Lucena
>
> # Definir diretório
> setwd("G:/Meu Drive/2023/UEL/Tese/Estudo 1 - Demandas Público
Alvo/Analise R")
>
> #Pacotes
> if(!require(dplyr)) install.packages("dplyr")
> if(!require(readxl)) install.packages("readxl")
> if(!require(rstatix)) install.packages("rstatix")
> if(!require(ggplot2)) install.packages("ggplot2")
> if(!require(psych)) install.packages("psych")
> if(!require(corrplot)) install.packages("corrplot")
>
> library(readxl)
> library(dplyr)
> library(rstatix)
> library(ggplot2)
> library(psych)
> library(corrplot)
>
> dados_estudo <- read_xlsx("Dados_Estudo1_R.xlsx")
> dados_grupo1 <- subset(dados_estudo, dados_estudo$EstudouPerdas == "Sim")
> dados_grupo2 <- subset(dados_estudo, dados_estudo$EstudouPerdas == "Nao")
>
>
> ##### ANÁLISES DO GRUPO GERAL #####
>
> #### BOX PLOT DA EXPERIÊNCIA PRÁTICA DOS ENTREVISTADOS ####
>
> #Mostrando a existência de outliers
> ggplot(dados_estudo, aes(y=ExperienciaPratica))+
+   geom_boxplot()
>
> #Removendo os outliers
> Q1 <- quantile(dados_estudo$ExperienciaPratica, .25)
> Q3 <- quantile(dados_estudo$ExperienciaPratica, .75)
> IQR <- IQR(dados_estudo$ExperienciaPratica)
>
> no_outliers <- subset(dados_estudo, dados_estudo$ExperienciaPratica > (Q1
- 1.5*IQR) & dados_estudo$ExperienciaPratica < (Q3 + 1.5*IQR))
>
> # Experiência Prática sem Outliers
> ggplot(no_outliers, aes(y=ExperienciaPratica))+
+   geom_boxplot(outlier.shape = NA)+
+   coord_cartesian(ylim=c(0, 5))
>
> summary(no_outliers$ExperienciaPratica)
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
0.000  0.000   1.000   1.697   2.000   8.000
>
>
>
> ##### ANÁLISES DO SUBGRUPO 1 #####
>
>
> #### TESTE QUI-QUADRADO DE INDEPENDÊNCIA - RELAÇÃO ENTRE QUALIDADE DO
ENSINO E TIPO DE IES
>
> #1: Importação dos dados
> dados_qualidade_ies <- read_xlsx("QualAula_TipoIES.xlsx")
New names:
• ` ` -> `...1`
> ies_names <- dados_qualidade_ies$...1
> dados_qualidade_ies <- dados_qualidade_ies [,-c(1)]

```

```

> rownames(dados_qualidade_ies) <- ies_names
Warning message:
Setting row names on a tibble is deprecated.
>
> #2: Criação do Modelo
>
> #Ho = nao ha associação entre as variáveis (p>0,05)
> #H1 = ha associação entre as variáveis (p<=0,05)
>
> quiqua_qualidade_ies <- chisq.test(dados_qualidade_ies)
> quiqua_qualidade_ies

Pearson's Chi-squared test with Yates' continuity correction

data: dados_qualidade_ies
X-squared = 1.073, df = 1, p-value = 0.3003

>
> #3: Conclusão
>
> # p-valor: 0,3003
> # como p-valor é maior que 0,05, rejeita-se Ho e aceita-se H1. Logo,
conclui-se que não há associação entre as variáveis
>
> #4: Análise das frequências esperadas
> quiqua_qualidade_ies$expected
      Pública Particular
Sim 17.91111  8.088889
Não 13.08889  5.911111
> # como as frequências são maiores do que 5, está adequado
>
>
>
> ### TESTE QUI-QUADRADO DE INDEPENDÊNCIA - RELAÇÃO ENTRE QUALIDADE DO
ENSINO E TIPO DE AULA
>
> #1: Importação dos dados
> dados_qualidade_aula <- read_xlsx("QualAula_AulaTeoricaPratica.xlsx")
New names:
• -> ...1
> aula_names <- dados_qualidade_aula$...1
> dados_qualidade_aula <- dados_qualidade_aula [,-c(1)]
> rownames(dados_qualidade_aula) <- aula_names
Warning message:
Setting row names on a tibble is deprecated.
>
> #2: Criação do Modelo
>
> #Ho = não há associação entre as variáveis (p>0,05)
> #H1 = há associação entre as variáveis (p<=0,05)
>
> quiqua_qualidade_aula <- chisq.test(dados_qualidade_aula)
Warning message:
In chisq.test(dados_qualidade_aula) :
  Aproximação do qui-quadrado pode estar incorreta
>
> # Teste não funcionou porque parte das frequencias esperadas são menores
que 5. Para possibilitar a análise, utilizou-se o Teste Exato de Fisher
>
> quiqua_qualidade_aula2 <- fisher.test(dados_qualidade_aula)
> quiqua_qualidade_aula2

Fisher's Exact Test for Count Data

data: dados_qualidade_aula
p-value = 0.1374
alternative hypothesis: two.sided

>
> #3: Conclusão

```

```

>
> # p-valor: 0,1374
> # como p-valor é maior que 0,05, rejeita-se Ho e aceita-se H1. Logo,
conclui-se que não há associação entre as variáveis
>
>
> ### TESTE QUI-QUADRADO DE INDEPENDÊNCIA - RELAÇÃO ENTRE QUALIDADE DO
ENSINO E O NÍVEL DE TECNOLOGIA USADO NAS AULAS
>
> #1: Importação dos dados
> dados_qualidade_tec <- read_xlsx("QualAula_Tecnologia.xlsx")
New names:
• ` ` -> `...1`
> tec_names <- dados_qualidade_tec$...1
> dados_qualidade_tec <- dados_qualidade_tec [,-c(1)]
> rownames(dados_qualidade_tec) <- tec_names
Warning message:
Setting row names on a tibble is deprecated.
>
> #2: Criação do Modelo
>
> #Ho = não há associação entre as variáveis (p>0,05)
> #H1 = há associação entre as variáveis (p<=0,05)
>
> quiqua_qualidade_tec <- chisq.test(dados_qualidade_tec)
Warning message:
In chisq.test(dados_qualidade_tec) :
Aproximação do qui-quadrado pode estar incorreta
> quiqua_qualidade_tec

Pearson's Chi-squared test

data: dados_qualidade_tec
X-squared = 1.563, df = 3, p-value = 0.6678

>
> #3: Conclusão
>
> # p-valor: 0,66
> # como p-valor é maior que 0,05, rejeita-se Ho e aceita-se H1. Logo,
conclui-se que não há associação entre as variáveis
>
> #4: Análise das frequências esperadas
> quiqua_qualidade_tec$expected
      SemUso  Simples AvancadoEsperadico AvancadoIntenso
Sim 1.733333 21.95556      1.733333      0.5777778
Não 1.266667 16.04444      1.266667      0.4222222
> # como as frequências são maiores do que 5, é adequado
>
>
> ### TESTE QUI-QUADRADO DE HOMOGENEIDADE - ALGUMA RESPOSTA SOBRE O TIPO DE
AULAS SE SOBRESSAI?
>
> #1: Importação dos dados
> dados_aulas <- data.frame(dados_grupo1$DivisaoAulasTP)
>
> #2: Tabela de frequência
> freq_aulas <- table(dados_aulas$dados_grupo1.DivisaoAulasTP)
> freq_aulas ["Pr?tica"] <- c(0)
> freq_aulas
Aula bem distribuída entre exposições teóricas e exposições/vivências de
situações práticas.

9
      Aula majoritariamente teórica, com baixa exposição/vivência de
situações práticas.

36
Pr?tica

```

```

0
>
> #3: Criação do Modelo
>
> #Ho = frequências observadas e esperadas são iguais (p>0,05)
> #H1 = frequências observadas e esperadas não são iguais (p<=0,05)
>
> quiqua_aulas <- chisq.test (freq_aulas)
> quiqua_aulas

      Chi-squared test for given probabilities

data:  freq_aulas
X-squared = 46.8, df = 2, p-value = 6.879e-11

>
> #3: Conclusão
>
> # p-valor: 0,6879 e-11
> # como p-valor é menor que 0,05, rejeita-se Ho e aceita-se H1. Logo,
conclui-se que as frequências não são iguais
>
>
> #4: Análise dos resíduos padronizados ajustados
> # É significativo se for >1,96 ou <-1,96 (valores da distribuição normal
para significância de 5%)
> # se for > 1,96, uma frequência maior (significativa) de observações foi
notada naquele aspecto
> # se for < -1,96, uma frequência menor (significativa) de observações foi
notada naquele aspecto
>
> quiqua_aulas$stdres
Aula bem distribuída entre exposições teóricas e exposições/vivências de
situações práticas.

-1.897367      Aula majoritariamente teórica, com baixa exposição/vivência de
situações práticas.

6.640783

Pr?tica

-4.743416
>
> #Conclusão:
> #Frequência de observações de aulas MAJORITARIAMENTE TEÓRICAS é MAIOR do
que a esperada (resíduo = 6,640783)
> #Frequência de observações de aulas EQUILIBRADAS é SEMELHANTE a esperada
(resíduo = -1,897367)
> #Frequência de observaçõess de aulas MAJORITARIAMENTE PRÁTICAS é MENOR do
que a esperada (resíduo = -4,743416)
>
>
> ### TESTE QUI-QUADRADO DE HOMOGENEIDADE - ALGUMA RESPOSTA SOBRE O NÍVEL DE
USO DE RECURSOS TECNOLÓGICOS EM AULAS SE SOBRESSAI?
>
> #1: Importação dos dados
> dados_tecnologias <- data.frame(dados_grupo1$DivisaoAulasTec)
>
> #2: Tabela de frequência
> freq_tecnologias <- table(dados_tecnologias$dados_grupo1.DivisaoAulasTec)
> freq_tecnologias

      Sem uso de
recursos tecnológicos durante a aula (somente quadro, giz, materiais
impressos, palestras e visitas técnicas).

```

Uso de recursos tecnológicos avançados de forma esporádica (todas ou parte das opções anteriores, com eventual uso de ferramentas BIM, Realidade Virtual, Realidade Aumentada e similares)

3

Uso de recursos tecnológicos avançados de forma intensa (predomínio do uso de tecnologias como ferramentas BIM, Realidade Virtual, Realidade Aumentada e similares)

1

Uso de recursos tecnológicos simples durante a aula (uso de slides e recursos similares)

38

```
>
> #3: Criação do Modelo
>
> #Ho = frequências observadas e esperadas são iguais (p>0,05)
> #H1 = frequências observadas e esperadas não são iguais (p<=0,05)
>
> quiqua_tecnologias <- chisq.test (freq_tecnologias)
> quiqua_tecnologias
```

Chi-squared test for given probabilities

```
data: freq_tecnologias
X-squared = 85.044, df = 3, p-value < 2.2e-16
```

```
>
> #3: Conclusão
>
> # p-valor: 2.2 e-16
> # como p-valor é menor que 0,05, rejeita-se Ho e aceita-se H1. Logo,
conclui-se que as frequências não são iguais
>
>
> #4: Análise dos resíduos padronizados ajustados
> # É significativo se for >1,96 ou <-1,96 (valores da distribuição normal
para significância de 5%)
> # se for > 1,96, uma frequência maior (significativa) de observações foi
notada naquele aspecto
> # se for < -1,96, uma frequência menor (significativa) de observações foi
notada naquele aspecto
>
> quiqua_tecnologias$stdres
```

Sem uso de recursos tecnológicos durante a aula (somente quadro, giz, materiais impressos, palestras e visitas técnicas).

-2.840188

Uso de recursos tecnológicos avançados de forma esporádica (todas ou parte das opções anteriores, com eventual uso de ferramentas BIM, Realidade Virtual, Realidade Aumentada e similares)

-2.840188

Uso de recursos tecnológicos avançados de forma intensa (predomínio do uso de tecnologias como ferramentas BIM, Realidade Virtual, Realidade Aumentada e similares)

-3.528718

Uso de recursos tecnológicos simples durante a aula (uso de slides e recursos similares)

9.209094

```
>
> #Conclusão:
```

```
> #Frequência de observações de aulas SEM TECNOLOGIA é MENOR do que a  
esperada (resíduo = -2.840188)  
> #Frequência de observações de aulas TECNOLOGIA SIMPLES é MAIOR do que a  
esperada (resíduo = 9.209094)  
> #Frequência de observações de aulas TECNOLOGIA AVANÇADA ESPORÁDICA é  
MENOR do que a esperada (resíduo = -2.840188)  
> #Frequência de observações de aulas TECNOLOGIA AVAN?ADA INTENSA é MENOR  
do que a esperada (resíduo = -3.528718)
```

## **APÊNDICE C – Roteiro da entrevista semi-estruturada com os especialistas (Estudo II)**

### **Introdução**

1. Apresentação e Contexto: os especialistas se apresentam e discutem sua experiência e conhecimento na área de ensino de gestão de perdas processuais na construção civil.
2. Compreensão do Estudo: o autor do estudo expõe brevemente o contexto do estudo. Certifica-se de que os especialistas tenham uma compreensão clara do cenário.

### **Aspectos Conceituais e Didáticos**

1. Primeiras Impressões: qual foi a primeira impressão dos especialistas ao participar do teste-piloto?
2. Contribuição para o Aprendizado: como os especialistas percebem a contribuição da ferramenta para o aprendizado dos alunos em relação ao tema de gestão de perdas processuais na construção civil? Os especialistas consideram a ferramenta útil para o aprendizado dos alunos em relação à gestão de perdas processuais?
3. Precisão Conceitual: Os conceitos de gestão de perdas processuais apresentados no GerenciObras são assertivos? Os especialistas identificaram quaisquer imprecisões conceituais?

### **Aspectos Técnicos**

1. Facilidade de Navegação: Como os especialistas avaliam a facilidade de uso da ferramenta GerenciObras? Houve algum problema de navegação ou acessibilidade?
2. Intuitividade: A interface da ferramenta era intuitiva? Os especialistas notaram alguma dificuldade específica durante o uso?
3. Duração da Experiência: Os especialistas consideram a duração da experiência, incluindo a exposição teórica e a atividade com a ferramenta, adequada para a compreensão do tópico pelos alunos? Foi muito longa ou muito curta?
4. Qualidade Técnica: Como os especialistas avaliam a qualidade técnica da simulação da ferramenta GerenciObras? Ela refletiu de forma adequada um canteiro de obras real para permitir a identificação de perdas processuais?

### **Percepções Quanto ao Envolvimento**

1. **Motivação e Engajamento:** Qual foi a impressão dos especialistas sobre o nível de motivação gerada durante a aula inovadora? Sentiram-se envolvidos e participativos durante a exposição teórica e a atividade com a ferramenta de realidade virtual? Houve sinais de engajamento?
2. **Resultados Observados:** Os especialistas acreditavam que haveria melhorias no entendimento dos alunos sobre o tema após o uso da ferramenta?

### **Pontos de Melhoria e Sugestões**

1. **Possíveis Pontos de Melhoria:** Com base na experiência dos especialistas, quais aspectos da aula inovadora ou da ferramenta GerenciObras poderiam ser aprimorados?
2. **Sugestões para Desenvolvimento Futuro:** Os especialistas têm alguma sugestão ou recomendação específica para o aprimoramento dessa abordagem de ensino no futuro?

### **Conclusão**

1. **Considerações Finais:** O autor do estudo pede aos especialistas para compartilharem quaisquer considerações finais ou insights adicionais que possam ter sobre o estudo e a aula inovadora.
2. **Agradecimento:** O autor do estudo encerra a entrevista agradecendo aos especialistas por sua contribuição e tempo.

## APÊNDICE D – Estudos de Caso 01, 02 e 03 – Estudo III

### ESTUDO DE CASO 01

#### Relato fictício:

##### PARTE 1: O Despertar da Cidade

Era uma manhã ensolarada na cidade de Belmonte, onde uma nova obra da construção civil estava prestes a se desenrolar. A construtora "ConstruBel" havia obtido um contrato para erguer um edifício de apartamentos de luxo chamado "Residencial Aurora", um ambicioso projeto de 20 andares que se destacaria na paisagem urbana.

A equipe de trabalhadores da "ConstruBel" já estava agitada no canteiro de obras, situado no coração da cidade. O engenheiro-chefe, João Marques, um homem experiente de meia-idade com cabelos grisalhos, supervisionava a montagem das estruturas de aço para o edifício.

João: (Gritando para a equipe) Vamos lá, pessoal! Precisamos cumprir o cronograma. Os primeiros materiais já chegaram e precisamos começar a preparar o terreno imediatamente.

O almoxarife da obra, Carlos Silva, corria de um lado para o outro, conferindo os estoques de materiais no pequeno galpão improvisado que servia como almoxarifado. Ele estava preocupado com a organização do local, pois o espaço era limitado e os materiais estavam empilhados de maneira desordenada.

Carlos: (Para si mesmo) Isso aqui precisa de uma reorganização urgente. Não podemos desperdiçar tempo procurando materiais quando as equipes estiverem a postos.

Enquanto isso, no topo do edifício em construção, uma equipe de trabalhadores liderada por Ana Lima, uma jovem engenheira civil, estava se preparando para iniciar a montagem das fôrmas de concreto para as vigas do primeiro andar.

Ana: (Conversando com sua equipe) Pessoal, lembrem-se das instruções do projeto. Precisamos de precisão e qualidade. Qualquer erro pode atrasar todo o processo.

A equipe estava motivada, mas havia uma falta de familiaridade com o layout do canteiro de obras, o que poderia levar a atrasos na montagem das fôrmas.

No escritório da construtora, a gerente de projetos, Laura Rodrigues, estava revisando o cronograma de trabalho. Ela estava preocupada com a pressão para cumprir os prazos, pois sabia que a construtora tinha prometido aos compradores dos apartamentos que a obra seria entregue no prazo.

Laura: (Suspirando) Não podemos nos dar ao luxo de atrasos. Precisamos otimizar cada etapa do processo.

## PARTE 2: Desafios no Almojarifado e Esperas Imprudentes

A obra do "Residencial Aurora" estava em pleno andamento, e a construtora "ConstruBel" enfrentava desafios imprevistos.

Carlos Silva, o almoxarife, tentava manter a ordem no almoxarifado, mas a falta de espaço continuava sendo um problema persistente. As entregas de materiais frequentemente chegavam antes do previsto, e Carlos se esforçava para encontrar espaço para armazená-los.

Carlos: (Frustrado, falando consigo mesmo) Como vou manter tudo isso organizado? Não há espaço suficiente para esses materiais.

Essa falta de espaço estava se tornando um problema. Muitas vezes, os trabalhadores tinham que esperar que os materiais fossem localizados e trazidos para o local de trabalho, o que atrasava as atividades.

Enquanto isso, no terceiro andar do edifício em construção, a equipe de Ana estava montando as fôrmas de concreto. Um dos trabalhadores, Pedro, estava inquieto.

Pedro: (Para um colega de equipe) Eu não entendo por que temos que esperar tanto tempo por essas fôrmas. Já era para estarmos trabalhando.

A espera pelas fôrmas estava se tornando uma prática comum, pois o departamento de compras muitas vezes não conseguia entregar os materiais no prazo. A falta de coordenação entre os setores estava causando esperas desnecessárias e descontentamento entre os trabalhadores.

## PARTE 3: Problemas de Planejamento e Comunicação

A construção do "Residencial Aurora" estava em andamento, mas novos desafios surgiam a cada dia. A equipe de Ana continuava a montagem das fôrmas de concreto, e o trabalho estava se tornando mais intenso.

Ana: (Conversando com sua equipe) Pessoal, temos que acelerar o ritmo. O cronograma está apertado.

A pressão do tempo era constante, e isso levava a uma necessidade de acelerar o trabalho. No entanto, as instruções de trabalho eram complexas, e muitos trabalhadores ainda não estavam completamente familiarizados com o projeto. Isso resultava em erros frequentes, que, embora não fossem explicitamente reconhecidos, começavam a se acumular.

No escritório da construtora, Laura estava revisando os relatórios de progresso da obra. Ela percebeu que houve atrasos na comunicação de instruções do setor de engenharia aos operários.

Laura: (Preocupada) André, precisamos melhorar a comunicação entre os escritórios e o canteiro de obras. Os atrasos na transmissão de informações estão custando tempo e dinheiro.

André: (Concordando) Você está certa, Laura. Vou falar com a equipe de engenheiros para garantir que as informações cheguem mais rapidamente.

A falta de comunicação eficiente estava resultando em perdas de tempo e produtividade, embora esse problema não fosse imediatamente reconhecido pelos envolvidos.

Enquanto isso, no almoxarifado, Carlos estava frustrado com a falta de planejamento coletivo. Ele frequentemente recebia pedidos de materiais de diferentes equipes, e o estoque não estava sendo gerenciado de forma integrada.

Carlos: (Resmungando) Isso não faz sentido. Precisamos de um sistema melhor para organizar os pedidos.

#### PARTE 4: A Sombra das Falhas de Qualidade

O "Residencial Aurora" alcançou seu quarto mês de construção. Os trabalhadores estavam ocupados, e o edifício começava a ganhar forma. No entanto, havia problemas mais sutis que se escondiam nos detalhes.

Enquanto Ana supervisionava a instalação das fôrmas de concreto no quinto andar, ela percebeu uma conversa entre dois trabalhadores, Marcos e Renata.

Marcos: (Sussurrando para Renata) Esta viga está fora de medida. Vai causar problemas lá na frente.

Renata: (Preocupada) Será que devemos falar com o engenheiro?

Marcos e Renata sabiam que a viga fora de medida poderia levar a problemas de qualidade no futuro. No entanto, eles hesitaram em relatar o problema com medo de represálias ou de atrasar o trabalho.

No escritório da "ConstruBel," Laura estava revisando os relatórios de qualidade. Ela notou que havia um aumento nas reclamações de compradores de apartamentos que visitaram o canteiro de obras. Os compradores estavam preocupados com a qualidade dos materiais utilizados na construção.

Laura: (Frustrada) Precisamos resolver essas reclamações. A reputação da construtora está em jogo.

A falta de controle de qualidade e a utilização de materiais de qualidade questionável eram perdas processuais que impactavam a satisfação dos clientes e a reputação da construtora, embora essas questões não fossem amplamente reconhecidas.

Enquanto isso, no almoxarifado, Carlos enfrentava um problema diferente. Os materiais de baixa qualidade que haviam sido entregues começaram a se deteriorar rapidamente, o que resultou em perdas financeiras.

Carlos: (Indignado) Como esses materiais de baixa qualidade chegaram até aqui? Isso vai custar caro.

## PARTE 5: A Corrida Contra o Tempo

A construção do "Residencial Aurora" estava chegando à fase final. A equipe de Ana estava concentrada na conclusão das últimas etapas, mas o cronograma estava cada vez mais apertado.

Ana: (Conversando com sua equipe) Pessoal, estamos quase lá. Vamos manter o foco e finalizar isso com qualidade.

A pressão do tempo era palpável, e os trabalhadores estavam cientes de que qualquer atraso poderia impactar a entrega do edifício. No entanto, a falta de tempo levava a decisões apressadas e à negligência de práticas de segurança.

No escritório da "ConstruBel," Laura estava revisando os relatórios de segurança. Ela notou um aumento nos incidentes de segurança no canteiro de

obras.

Laura: (Preocupada) Precisamos garantir que a segurança seja prioridade, mesmo com o cronograma apertado. Não podemos arriscar a integridade dos trabalhadores.

A pressão por cumprir os prazos estava levando a uma corrida contra o tempo, resultando em acidentes de trabalho que, embora fossem registrados, muitas vezes eram minimizados.

Enquanto isso, no almoxarifado, Carlos estava lutando com a falta de recursos financeiros para adquirir materiais adicionais. Ele se viu em uma situação em que precisava equilibrar o suprimento de materiais com o orçamento limitado.

Carlos: (Preocupado) Não temos dinheiro para comprar mais materiais, mas não podemos atrasar o trabalho. Isso é um dilema.

### Gabarito:

Fator de Perda	Categorias	Exemplos da História
Falta de familiaridade com o layout do canteiro	Movimentação de Trabalhadores	Na Parte 1, a equipe liderada por Ana estava montando as fôrmas de concreto, e a falta de familiaridade com o layout do canteiro levou a atrasos na montagem das fôrmas, um exemplo sutil de perda.
Falta de controle de qualidade	Produtos Defeituosos	Na Parte 4, Laura revisou relatórios de qualidade e notou um aumento nas reclamações dos compradores devido à qualidade dos materiais utilizados na construção, refletindo a falta de controle de qualidade como uma perda implícita.
Espera excessiva de materiais aguardando transporte	Esperas	Na Parte 2, a espera por materiais no canteiro de obras devido aos atrasos nas entregas dos fornecedores levou a esperas desnecessárias, afetando o andamento da obra.
Decisões apressadas e negligência de práticas de segurança	Acidentes de Trabalho	Na Parte 5, a pressão por cumprir os prazos resultou em decisões apressadas e negligência de práticas de segurança, causando um aumento nos incidentes de segurança no canteiro de obras. Isso é um exemplo de perda que impacta a segurança dos trabalhadores.
Falta de planejamento coletivo	Talento Inutilizado	Na Parte 2, Carlos no almoxarifado enfrentou problemas de falta de planejamento coletivo. A falta de um sistema eficiente para a gestão de materiais resultou em desperdício de tempo, pois as equipes frequentemente faziam pedidos de última hora, duplicando esforços.
Atrasos na comunicação de instruções do setor de engenharia aos operários	Trabalho Indireto	Na Parte 3, Laura notou a falta de comunicação eficiente entre os escritórios e o canteiro de obras, o que resultou em atrasos na transmissão de informações. Isso pode ser considerado um exemplo de perda relacionada ao trabalho indireto.
Alocação de estoques excessivamente distantes do futuro local de uso dos materiais	Transporte	Na Parte 2, a realocação de trabalhos em progresso e instalações temporárias afetou o transporte de materiais, já que os estoques estavam longe do local de uso. Isso resultou em esperas e atrasos.

Falha de comunicação entre os envolvidos	Produtos Defeituosos	Na Parte 4, a falta de comunicação eficiente entre o escritório e o canteiro de obras levou a uma série de problemas de qualidade, refletidos nas reclamações dos compradores.
--	----------------------	--

## ESTUDO DE CASO 02

### Relato fictício:

#### Parte 1: O Canteiro de Obras da Construtora Progresso

Era uma manhã quente de terça-feira quando o sol começava a se elevar no céu, banhando o canteiro de obras da Construtora Progresso em uma luz dourada. A construtora estava no meio da execução de um projeto grandioso chamado "Residencial Vista Serena". Com um terreno extenso e várias torres de apartamentos em construção, o local estava repleto de atividade.

O canteiro de obras estava localizado na periferia da cidade, em um terreno amplo cercado por tapumes altos. Ao entrar no canteiro, uma placa indicava as normas de segurança, exigindo o uso de capacetes e coletes refletivos. O cenário era de um formigueiro humano, com trabalhadores indo e vindo, máquinas pesadas em operação e materiais empilhados por toda parte.

O engenheiro-chefe, Daniel, era o responsável por coordenar a execução do projeto. Ele estava de pé perto de um painel com o cronograma da obra. Daniel era um homem de meia-idade com cabelos grisalhos e uma expressão séria. Ele olhou para o cronograma, franzindo a testa ao ver que a data de entrega se aproximava rapidamente.

Daniel caminhou em direção a um grupo de trabalhadores que estavam descarregando um caminhão de elementos de concreto pré-moldado. Dois operários, Marco e Júlio, discutiam enquanto empurravam um carrinho cheio de vigotas de concreto.

"Isso não vai encaixar, Marco. As vigotas são muito grandes! Não entendo para que compraram isso agora. Essas vigotas só serão utilizadas no próximo mês!", disse Júlio, visivelmente frustrado.

Marco respondeu, "Bem, é isso que o documento diz. O cliente quer exatamente essas vigotas. Não temos escolha a não ser fazer isso funcionar."

Daniel ouviu a discussão e aproximou-se. Ele percebeu que as vigotas eram de fato maiores do que o espaço disponível para armazenamento. No entanto, ele

não queria atrasar o trabalho e instruiu os dois trabalhadores a encontrar um local alternativo para as vigotas e prosseguir com o descarregamento, mesmo que fique distante do local de uso das peças.

Enquanto isso, no almoxarifado, Sofia, a responsável pelo controle de estoque, estava organizando prateleiras repletas de materiais. Ela checava uma lista de materiais em seu tablet e fazia anotações em um caderno. Sofia era meticulosa em seu trabalho, mas notou que o almoxarifado estava começando a ficar um pouco apertado devido ao grande volume de materiais acumulados.

## Parte 2: A Equipe e o Planejamento da Construtora Progresso

Enquanto o trabalho no canteiro de obras do "Residencial Vista Serena" continuava, a equipe da Construtora Progresso era diversificada e experiente. Além dos operários, havia diversos profissionais que desempenhavam papéis-chave na execução do projeto.

Luciana, a arquiteta-chefe, estava ocupada com reuniões e inspeções diárias. Ela era responsável por garantir que o projeto fosse fiel ao design e às especificações, e frequentemente trabalhava com o engenheiro Daniel para resolver desafios técnicos. No entanto, ela estava sob pressão para manter o cronograma apertado.

Enquanto isso, o canteiro de obras estava movimentado com equipes especializadas. Havia pedreiros, carpinteiros, eletricitas, encanadores e pintores, cada um contribuindo para o seu aspecto do projeto. No entanto, a comunicação entre essas equipes nem sempre era perfeita. Às vezes, os operários reclamavam da falta de informações sobre mudanças no escopo do projeto.

Carlos, um dos pedreiros, estava discutindo com Maria, a mestre de obras, sobre o layout de uma parede que tinha sido alterado no último minuto. "Isso vai atrasar o nosso trabalho, Maria. Já tínhamos começado a construção da parede do jeito antigo", disse Carlos, visivelmente frustrado. "Além disso, já estou há horas aqui tentando entender esse novo detalhamento. Não está nada fácil de entender como será feito."

Maria suspirou, entendendo a preocupação de Carlos. "Eu sei que isso não é ideal, Carlos, mas as mudanças vieram de cima. Precisamos seguir as ordens. Vou ver se conseguimos realocar a equipe para acelerar a nova parede."

Enquanto isso, no escritório da construtora, Rafaela, a gerente de projetos,

estava ocupada com planilhas e gráficos de desempenho. Ela estava encarregada de acompanhar o andamento da obra e garantir que o projeto estivesse dentro do orçamento. No entanto, ela também estava lidando com problemas. O consumo de concreto estava acima do previsto, e o custo das horas extras dos operários estava aumentando.

Em uma reunião com Daniel, ela disse: "Daniel, precisamos encontrar maneiras de otimizar o uso do concreto. Estamos gastando muito mais concreto do que o esperado, e isso vai impactar o orçamento. Além disso, as horas extras estão pesando no nosso caixa."

Daniel concordou, preocupado com a pressão que isso colocava sobre o projeto. "Vou falar com as equipes e tentar reduzir o desperdício de concreto. Quanto às horas extras, temos que melhorar o planejamento das atividades para evitar esses custos extras."

### Parte 3: Planejamento e Estoque no "Residencial Vista Serena"

O planejamento e controle da produção eram aspectos cruciais para o sucesso do "Residencial Vista Serena". O cronograma apertado deixava pouco espaço para erros, e a equipe de gerenciamento estava constantemente em busca de maneiras de otimizar o processo.

Na sala de reuniões do canteiro de obras, Daniel liderou uma reunião de planejamento com sua equipe. Ao redor da mesa estavam Luciana, Maria, Sofia, Rafaela e alguns representantes das equipes de construção.

"Estamos enfrentando desafios, todos sabemos disso", começou Daniel. "Temos que manter o ritmo se quisermos cumprir o prazo de entrega. Maria, como podemos acelerar a construção da nova parede?"

Maria tomou a palavra, "Eu já redistribuí a equipe e aceleramos o trabalho, mas tivemos um problema grande. Quando fui verificar o andamento do serviço ontem, percebi que, em todos os pavimentos que já foram executados essa parede, há um erro de medida. Vamos ter que corrigir todos".

Daniel concordou e concluiu a reunião com um plano de ação. A equipe sabia que precisava encontrar maneiras de melhorar a comunicação entre os departamentos e reduzir o desperdício de recursos. Eles se comprometeram a fazer reuniões mais frequentes e a manter todos informados sobre as mudanças no projeto.

#### Parte 4: Ritmo das Atividades e Relações no Canteiro de Obras

Marco e Júlio, os operários que anteriormente discutiram sobre as vigotas de concreto, estavam agora ocupados montando as formas para a concretagem de uma laje. A pressão para concluir a tarefa no prazo estava clara em seus rostos.

Júlio resmungou para Marco, "Sabe, essa laje poderia estar pronta mais rápido se não tivéssemos que perder tempo com aquelas vigotas. Todas as atividades futuras estão dependendo dessa laje ficar pronta. É frustrante."

Marco concordou, "Sim, e o pior é que ainda temos que fazer horas extras para compensar o atraso."

A tensão estava começando a se refletir nas relações entre os operários. A necessidade de trabalho extra e o estresse gerado pelos atrasos estavam causando atritos em toda a equipe.

Enquanto isso, Maria, a mestre de obras, estava preocupada com o andamento do trabalho. Ela precisava garantir que todas as equipes estivessem em sincronia e que o progresso não fosse prejudicado.

Ela se aproximou de Carlos, um dos pedreiros, que estava liderando uma equipe na construção de uma parede. "Carlos, temos que acelerar isso. Não podemos perder mais tempo com essa parede."

Carlos assentiu, mas respondeu com preocupação, "Eu entendo, Maria, mas não temos materiais suficientes para terminar esta parede hoje. Estamos esperando uma nova entrega de tijolos."

Maria franziu a testa. Ela instruiu Carlos a redirecionar sua equipe para outra tarefa temporária até que os materiais chegassem.

#### Parte 5: Mudanças Frequentes e Estratégias para Lidar com Desafios

Luciana, a arquiteta-chefe, estava reunida com a equipe de projeto, incluindo o engenheiro Daniel e Rafaela, a gerente de projetos. Eles estavam revisando as últimas mudanças solicitadas pelo cliente, que incluíam a adição de uma varanda em todas as unidades do último andar. Para isso, precisaram revisar a estrutura, e alterar o sistema já executado para reforçá-lo.

Luciana suspirou, "Mais uma mudança que vai impactar o nosso cronograma. E o pior foi o tempo que levaram para aprovar a alteração no projeto, depois que já tinham decidido fazê-la. Precisamos encontrar uma maneira de incorporar essas

alterações sem causar grandes atrasos."

Daniel concordou, "Isso também significa que precisaremos de mais materiais de construção. Sofia, temos espaço no estoque para os materiais adicionais?"

Sofia olhou preocupada, "Já está ficando apertado, e estamos lutando para encontrar espaço para o material atual. Acho que precisaremos alocar alguns materiais, mesmo que temporariamente, em outros locais. Depois quando as coisas se acalmarem voltando tudo para o local de armazenagem original"

Rafaela levantou a preocupação com o custo das horas extras necessárias para realizar essas mudanças. "Isso vai afetar nosso orçamento. Precisamos ser mais eficientes em nosso planejamento."

Luciana sugeriu, "Vamos ver se podemos programar essas mudanças para um momento em que as equipes estejam ociosas ou próximas do estoque. Isso pode minimizar o impacto nas horas extras."

Enquanto a equipe de gerenciamento discutia estratégias para lidar com as mudanças frequentes, no canteiro de obras, os operários estavam ocupados adaptando-se às novas diretrizes.

Marco e Júlio estavam agora encarregados da construção das varandas adicionais. Enquanto instalavam as estruturas metálicas, eles conversavam sobre as mudanças recentes. "Essas varandas estão atrasando tudo. Não foi fácil encontrar espaço para as estruturas metálicas no almoxarifado," disse Marco.

#### Parte 6: Horas Extras, Consumo de Concreto e Pressão para Cumprir o Prazo

À medida que o projeto do "Residencial Vista Serena" avançava, a pressão para cumprir o prazo de entrega crescia, o que resultava em horas extras cada vez mais frequentes. A construtora estava ciente dos custos adicionais que essas horas extras representavam, mas a alternativa era correr o risco de atrasos no cronograma.

Em um final de tarde, Daniel reuniu as equipes no canteiro de obras. Ele abordou a questão das horas extras, consciente de que isso estava afetando o orçamento. "Precisamos controlar melhor as horas extras. É claro que queremos cumprir o prazo, mas isso não pode significar gastar mais do que o previsto."

Os operários ouviram as palavras de Daniel com expressões sérias. Eles sabiam que as horas extras estavam se tornando uma necessidade, mas estavam preocupados com o impacto financeiro.

A pressão para cumprir o prazo estava afetando não apenas as horas de trabalho, mas também o uso eficiente dos materiais. As equipes estavam cientes de que, para evitar custos excessivos, era necessário encontrar maneiras de otimizar o consumo de recursos.

#### Parte 7: Motivação e Bem-Estar dos Trabalhadores

Carlos, o pedreiro, estava preocupado com a motivação de sua equipe. Ele notou que alguns dos operários estavam demonstrando sinais de cansaço e desânimo. Em uma pausa para o almoço, ele se aproximou de Maria e disse, "Maria, acho que a equipe precisa de um impulso de motivação. Eles estão cansados, e a pressão está começando a afetar seu ânimo."

Maria concordou, "Você está certo, Carlos. Vou tentar organizar uma reunião para falar sobre a importância de seu trabalho e como estamos progredindo no projeto. Talvez isso ajude a aumentar a moral."

Em outra parte do canteiro de obras, Marco e Júlio estavam preocupados com o excesso de horas extras. Enquanto descansavam durante uma pausa, Marco disse, "Essas horas extras estão nos matando, Júlio. Eu mal tenho tempo para minha família. Acho que precisamos conversar com Daniel sobre isso."

Júlio assentiu, "Concordo, Marco. Talvez possamos sugerir um cronograma mais equilibrado para evitar horas extras frequentes."

Enquanto as equipes de construção buscavam maneiras de manter os trabalhadores motivados e saudáveis, a gestão do canteiro de obras também estava preocupada com a comunicação e o envolvimento da equipe. Daniel percebeu que, para manter a equipe focada, era essencial envolvê-los nas decisões do projeto.

Em uma reunião, ele disse, "Precisamos criar um ambiente onde todos se sintam ouvidos e valorizados. As ideias e experiências de nossa equipe podem nos ajudar a superar os desafios que enfrentamos."

#### Parte 8: Conclusão e Resultados do "Residencial Vista Serena"

À medida que o tempo passava, o projeto do "Residencial Vista Serena" estava chegando à sua conclusão. A pressão para cumprir o prazo tinha sido intensa, e a equipe de construção tinha enfrentado uma série de desafios ao longo do caminho.

Maria, a mestre de obras, liderou uma reunião com sua equipe para discutir

os resultados finais do projeto. "Estamos quase lá, pessoal. As últimas semanas foram difíceis, mas graças ao esforço de todos, estamos prestes a entregar o "Residencial Vista Serena" no prazo."

Os operários aplaudiram, reconhecendo o esforço que haviam dedicado ao projeto. Carlos, o pedreiro, sentiu um senso de realização. "Foi um longo caminho, mas acredito que conseguimos superar os desafios juntos."

Enquanto a equipe de construção celebrava o progresso que haviam alcançado, a equipe de gerenciamento também estava ansiosa para revisar os resultados finais do projeto. Rafaela, a gerente de projetos, estava ocupada analisando os números e relatórios de desempenho.

O projeto do "Residencial Vista Serena" havia sido uma jornada desafiadora, mas a equipe de construção e a equipe de gerenciamento estavam comprometidas em aprender com os desafios enfrentados. Eles reconheceram que a comunicação, o planejamento e o envolvimento da equipe eram aspectos críticos que precisavam ser aprimorados para futuros projetos.

### Gabarito:

Fator de Perda	Categorias	Exemplos da História
Retrabalhos em geral	Superprodução	Quando o cliente solicitou a inclusão de varandas em todas as unidades do último andar, a equipe teve que reavaliar a estrutura metálica e fazer ajustes, resultando em retrabalhos e atrasos.
Produção maior do que a necessária	Superprodução	Sofia, a gerente de obras, mencionou a falta de espaço no almoxarifado devido à estocagem excessiva de vigotas de concreto, que foram produzidas antes de serem necessárias, bloqueando o espaço.
Alocação de estoques excessivamente distantes do futuro local de uso dos materiais	Transporte	A história indicou que as vigas de concreto foram estocadas no almoxarifado, bloqueando o espaço. Essas vigas estavam distantes do local de uso, causando atrasos na movimentação.
Realocação de trabalhos em progresso e instalações temporárias	Transporte	A necessidade de realocar recursos devido a mudanças frequentes no projeto, como a necessidade de modificar as instalações temporárias para acomodar novas exigências do projeto.
Instruções de trabalho complexas	Excesso de Processamento	A comunicação inadequada e as mudanças frequentes no projeto tornaram as instruções de trabalho complexas e difíceis de serem seguidas de maneira eficiente.
Falta de controle de qualidade	Produtos Defeituosos	Os retrabalhos devido a mudanças frequentes no projeto refletem a falta de controle de qualidade, já que erros não foram identificados a tempo.
Má qualificação da mão de obra	Produtos Defeituosos	A necessidade de horas extras e a pressão para cumprir o prazo podem ter afetado a qualidade do trabalho, já que trabalhadores cansados e sobrecarregados são mais propensos a cometer erros.
Erros de execução	Produtos Defeituosos	Os retrabalhos devido a mudanças frequentes no projeto refletem erros na execução que precisaram ser corrigidos.

Espera excessiva de materiais aguardando transporte	Esperas	Situações em que a equipe precisou esperar pela entrega de materiais necessários à produção, resultando em atrasos e tempo desperdiçado.
Demora no processo de aprovação ou permissão de alguma etapa do processo produtivo	Esperas	As mudanças frequentes no projeto exigiram decisões adicionais, o que resultou em demoras no processo de aprovação e permissão de etapas do projeto.
Espera aguardando etapas antecedentes ainda não concluídas	Esperas	A necessidade de aguardar a conclusão de etapas antecedentes, mencionada nas discussões entre os trabalhadores, reflete esperas devido a atividades não concluídas.
Espera pela entrega de materiais necessários à produção	Esperas	Quando Maria mencionou que as vigas de concreto estavam bloqueando o espaço no almoxarifado, isso pode ser visto como esperas devido à falta de espaço para armazenamento, causando atrasos na produção.
Atraso no início da atividade	Esperas	Em várias ocasiões, a pressão para cumprir o prazo resultou em atrasos no início de algumas atividades, como quando houve mudanças frequentes no projeto e retrabalhos.
Manuseio excessivo de materiais e equipamentos	Movimentação de Trabalhadores	A realocação frequente de recursos e materiais devido a mudanças no projeto representa um exemplo desse fator, resultando em desgaste de materiais e equipamentos.
Estocagem inadequada de materiais	Estoques	A história mencionou a falta de espaço no almoxarifado devido à estocagem excessiva de vigas de concreto, indicando o armazenamento inadequado de materiais que não eram necessários de imediato, ou dimensionamento insuficiente do estoque.
Produção de recursos antes do necessário	Estoques	Sofia mencionou que as vigas de concreto foram produzidas antes de serem necessárias, refletindo o desperdício de recursos na produção prematura.
Conflitos envolvendo trabalhadores	Talentos Inutilizados	A tensão entre a equipe de obras, como evidenciado em conversas de descontentamento entre os trabalhadores, representa conflitos envolvendo trabalhadores que podem resultar em perdas.
Inadequação na motivação e bem-estar dos trabalhadores	Talentos Inutilizados	A história mencionou a necessidade de horas extras e a pressão para cumprir o prazo, indicando preocupações com o bem-estar e a motivação dos trabalhadores devido à carga de trabalho excessiva.

## ESTUDO DE CASO 03

### Relato fictício:

#### Parte 1: O Despertar do Canteiro de Obras

Era uma manhã de segunda-feira na cidade de Horizonville, e o sol começava a raiar no horizonte, derramando seus primeiros raios sobre a construção imponente da "Torre do Horizonte". A construtora responsável pelo projeto era a "Construtora Progresso". A torre, uma estrutura de 25 andares destinada a abrigar apartamentos de alto padrão, já se destacava na paisagem urbana.

No canteiro de obras, o dia começava cedo. O engenheiro-chefe, Gabriel, já estava no local antes mesmo dos operários, revisando o planejamento do dia.

Gabriel era um profissional experiente, com anos de atuação na Construção Civil, e estava determinado a garantir que a construção da Torre do Horizonte fosse um sucesso.

A equipe de trabalho era composta por cerca de 50 operários, incluindo pedreiros, carpinteiros, eletricitas e encanadores. Todos tinham em mente o desafio que os aguardava: construir uma torre de 25 andares dentro do prazo estabelecido.

Enquanto o sol subia no céu, os trabalhadores começavam a chegar, alguns em seus carros, outros de ônibus. Entre eles, havia um grupo de jovens engenheiros estagiários da universidade local, que estavam ali para aprender na prática o que suas aulas teóricas só podiam lhes ensinar em parte.

No almoxarifado, um galpão espaçoso localizado próximo ao canteiro, o estoque de matéria-prima era impressionante. Pilhas de tijolos, sacos de cimento, rolos de fios elétricos e canos estavam dispostos de maneira organizada. No entanto, uma observação mais atenta revelaria que muitos desses materiais estavam empoeirados e algumas pilhas estavam claramente mais antigas do que outras.

À medida que o dia avançava, Gabriel se dirigiu a um dos estagiários, Lucas, que estava responsável pelo planejamento das atividades do dia.

"Lucas, hoje é crucial que mantenhamos o ritmo. Precisamos terminar de concretar as vigas no décimo andar até o final da semana", disse Gabriel com um ar de preocupação.

Lucas assentiu, pegando sua prancheta. "Vamos manter o foco. Já fizemos uma revisão do plano e alocamos a equipe onde é mais necessária. Vamos garantir que tudo corra bem hoje."

No entanto, apesar da determinação de Lucas e da equipe, havia desafios ocultos que podiam passar despercebidos. A gestão de estoques empoeirados no almoxarifado, a necessidade de movimentação constante de materiais entre os andares da construção e o equilíbrio entre a supervisão adequada e o excesso de supervisão eram questões que poderiam afetar o desempenho da obra, mesmo que não estivessem aparentes em um primeiro olhar.

## Parte 2: A Coordenação dos Trabalhos

A manhã avançava, e o canteiro de obras da Torre do Horizonte estava em

plena atividade. Os operários se dividiam em equipes, cada uma focada em uma tarefa específica. Os pedreiros estavam ocupados com a concretagem das vigas no décimo andar, enquanto os carpinteiros trabalhavam na estrutura de suporte para o próximo andar. Os eletricitas e encanadores realizavam suas inspeções e preparativos para as instalações futuras.

Gabriel, o engenheiro-chefe, estava atento a cada detalhe. Ele circulava pelo canteiro, verificando o andamento das atividades e auxiliando os estagiários em questões técnicas. À medida que conversava com os trabalhadores, Gabriel percebia que a comunicação era essencial para manter o ritmo da obra.

"João, você terá que acelerar o processo de concretagem no décimo andar. Temos um prazo a cumprir", disse ele a um dos pedreiros.

João acenou com a cabeça e redobrou seus esforços, mas a pressão estava visivelmente afetando sua equipe, que tentava trabalhar mais rápido do que o habitual. A eficiência da produção estava sobrecarregando os operários, e o risco de erros estava aumentando.

Enquanto isso, no almoxarifado, Lucas estava ocupado alocando os materiais necessários para as atividades do dia. Algumas vezes, levava mais tempo do que o esperado para encontrar os materiais certos.

Na sala de planejamento, o ritmo da obra também era acompanhado de perto. Era notável que o planejamento estava sendo constantemente ajustado para acomodar imprevistos e atrasos. Os estagiários tentavam manter a equipe alinhada com o que estava planejado, mas as mudanças frequentes faziam com que os trabalhadores tivessem que se adaptar a novas diretrizes a todo momento.

"Lucas, precisamos ser mais assertivos em nosso planejamento. As constantes mudanças estão prejudicando a produtividade", alertou Gabriel, preocupado com as várias atividades que precisaram ser refeitas por conta de mudanças que estava ocorrendo na gestão do projeto.

Enquanto isso, os trabalhadores seguiam suas tarefas com determinação, mesmo sob a pressão e o clima tenso. O almoxarifado continuava a ser um ponto sensível, com os estoques desorganizados e alguns materiais de baixa qualidade sendo utilizados.

### Parte 3: Desafios Escondidos na Torre do Horizonte

O canteiro de obras da "Torre do Horizonte" continuava a se movimentar

freneticamente. Enquanto o décimo andar recebia as últimas camadas de concreto, no nono andar, os eletricitistas e encanadores estavam ocupados com a instalação das tubulações e fiação.

O ritmo acelerado de trabalho estava evidente, com operários correndo de um lado para o outro, o som das máquinas de construção e os ruídos da atividade constante. Os estagiários corriam para acompanhar as necessidades em constante mudança e comunicavam as novas tarefas à equipe.

O ritmo intenso era visível. As escadas e elevadores estavam frequentemente congestionados, resultando em atrasos na entrega de materiais, e os trabalhadores perdiam tempo valioso esperando pelo acesso aos andares superiores.

Lucas tentou abordar a questão com o mestre de obras, Anderson. "Anderson, precisamos otimizar a logística de movimentação vertical. Estamos perdendo muito tempo. Eu tenho uma ideia ótima para resolver isso."

Anderson, um veterano da construção, concordou, mas estava preocupado com os custos adicionais que a solução exigiria. Ele respondeu: "Lucas, eu entendo a sua preocupação, mas precisamos manter os custos sob controle. Vou falar com a direção, mas não prometo soluções imediatas."

Enquanto isso, no almoxarifado, a falta de um controle de qualidade eficiente estava começando a afetar a qualidade dos materiais utilizados. Um lote de tijolos entregues estava fora das especificações de qualidade, e isso levou a uma pausa nas atividades no nono andar enquanto os trabalhadores aguardavam a entrega de tijolos substitutos.

#### Parte 4: Pressão Crescente e o Silêncio da Torre

A Torre do Horizonte estava se erguendo diante dos olhos dos operários e estagiários, mas a pressão para cumprir os prazos continuava a aumentar. A constante movimentação de materiais e trabalhadores entre os andares ainda era um problema, e os atrasos eram mais frequentes do que todos gostariam de admitir.

O estoque de materiais continuava a ser um ponto sensível. As pilhas empoeiradas de tijolos estavam diminuindo, e os novos lotes de tijolos entregues eram de qualidade inferior, como o lote anterior. Os pedreiros, forçados a utilizá-los, eram obrigados a gastar mais tempo nivelando e ajustando cada tijolo.

Enquanto isso, no décimo andar, a pressão sobre João e sua equipe de

pedreiros era palpável. Eles haviam sido forçados a acelerar o ritmo de concretagem, e a qualidade estava começando a ser sacrificada. Patologias na superfície do concreto já eram visíveis.

Lucas estava sobrecarregado com as mudanças constantes no planejamento, e os estagiários estavam trabalhando horas extras para manter o controle das tarefas em constante evolução. O canteiro de obras estava barulhento, mas, por trás desse ruído, havia um silêncio preocupante: a falta de discussões abertas sobre as perdas processuais.

Enquanto a equipe trabalhava incansavelmente, os conflitos que surgiam devido à pressão e à falta de comunicação eficaz eram mantidos em segredo. A insatisfação crescia entre os trabalhadores, mas poucos estavam dispostos a compartilhar suas preocupações com a administração.

Enquanto isso, o almoxarifado estava lutando para manter o controle dos estoques, com materiais se acumulando em locais inapropriados devido à falta de espaço. As prateleiras eram desorganizadas, e a busca por materiais frequentemente envolvia mais tempo do que o necessário.

A falta de sincronização entre as atividades paralelas era evidente. O mesmo espaço no almoxarifado que deveria ser usado para armazenar materiais estava sendo usado como área de descanso para os trabalhadores, e isso resultava em mais movimentação de materiais e atrasos.

O silêncio na Torre do Horizonte estava prestes a ser quebrado, à medida que os estagiários e operários começavam a se reunir para discutir como abordar as perdas processuais de forma eficaz, sem comprometer o projeto ou o bem-estar dos trabalhadores.

#### Parte 5: O Encontro Silencioso e as Mudanças Necessárias

O canteiro de obras da "Torre do Horizonte" estava repleto de atividade, mas havia uma sensação de tensão no ar. Os trabalhadores e estagiários sabiam que algo precisava mudar, mas o medo de retaliação ou de atrasar ainda mais o projeto os mantinha em silêncio.

No entanto, Ana, uma das estagiárias, sentia que era hora de agir. Ela começou a conversar com alguns dos operários que ela conhecia bem e compartilhou suas preocupações sobre a pressão constante, os problemas de

qualidade e a falta de organização no canteiro.

"Vocês notaram que estamos enfrentando muitos desafios ultimamente, certo?" disse Ana, olhando nos olhos dos operários. "Acho que é hora de falarmos abertamente sobre esses problemas e encontrar soluções juntos."

Os operários assentiram com a cabeça, reconhecendo que a situação não podia continuar como estava. Juntos, eles organizaram um encontro silencioso, fora do horário de trabalho e longe dos ouvidos da administração.

Na sala improvisada para a reunião, os operários e estagiários compartilharam suas preocupações. Eles mencionaram os problemas de movimentação de materiais, a pressão constante para cumprir prazos apertados e a falta de treinamento adequado para algumas tarefas. Os estagiários explicaram como isso afetava o bem-estar dos trabalhadores e a qualidade do trabalho.

"O que podemos fazer para melhorar a situação?" perguntou um dos operários.

Ana levantou algumas sugestões, como a criação de um sistema de gestão de estoque mais eficiente, treinamento adicional para os operários, e uma comunicação mais aberta com a administração sobre os desafios enfrentados no canteiro de obras.

Eles concordaram em formar um comitê conjunto de operários e estagiários para apresentar essas propostas à administração. No entanto, havia uma compreensão de que isso não seria fácil, e a administração poderia resistir a mudanças que poderiam aumentar os custos ou atrasar o projeto.

## Parte 6: O Horizonte da Torre e as Lições Aprendidas

À medida que a construção da "Torre do Horizonte" chegava à sua conclusão, as mudanças implementadas após as discussões entre os operários, estagiários e a administração começaram a mostrar resultados positivos. O canteiro de obras havia se tornado um ambiente mais seguro e eficiente.

À medida que a "Torre do Horizonte" se erguia em direção ao céu, os operários e estagiários sabiam que a jornada tinha sido desafiadora, mas valia a pena. A qualidade do trabalho estava à vista de todos, com um acabamento impecável e uma estrutura sólida.

Gabriel, o engenheiro-chefe, fez questão de agradecer a todos os envolvidos




no projeto. "Nossa jornada não foi fácil, mas conseguimos superar os desafios juntos. A qualidade e o bem-estar dos trabalhadores são prioridades que não podemos esquecer."

À medida que o sol se punha sobre a "Torre do Horizonte" concluída, ela se erguia como um testemunho das lições aprendidas e das melhorias implementadas. A construção civil tinha um futuro mais brilhante, graças à determinação em superar os desafios ocultos e focar na excelência em cada etapa do processo produtivo.

### Gabarito:

Fator de Perda	Categorias	Exemplos da História
Movimentação de Materiais Ineficiente	Movimentação de Trabalhadores	A constante movimentação de materiais entre os andares estava congestionando escadas e elevadores, causando atrasos na entrega de materiais.
Pressão Excessiva sobre os Operários	Talentos Inutilizados	A pressão constante para cumprir prazos apertados estava levando à exaustão dos operários, afetando seu bem-estar e a qualidade do trabalho.
Estoque de Materiais de Qualidade Inferior	Superprocessamento	O uso de tijolos de qualidade inferior devido a problemas no estoque resultou em superprocessamento, visto que os pedreiros precisaram gastar mais tempo nivelando e ajustando cada tijolo.
Comunicação Ineficaz entre Equipes	Talentos Inutilizados	A falta de comunicação eficaz resultou em mal-entendidos e retrabalho, pois algumas instruções eram confusas, e equipes diferentes tinham dificuldades para se entender.
Gestão de Estoques Desorganizada	Estoques	A desorganização no almoxarifado levou à dificuldade em encontrar materiais necessários, resultando em atrasos nas atividades enquanto os operários aguardavam.
Problemas de Qualidade de Materiais	Produtos Defeituosos	Falhas na execução causaram defeitos na superfície do concreto, que precisou ser descartado.
Retrabalho devido à Superprodução	Superprodução	A pressão para acelerar a concretagem no décimo andar resultou em rachaduras no concreto, exigindo retrabalho para corrigir os defeitos.
Falta de Supervisão Adequada	Talentos Inutilizados	A falta de supervisão adequada resultou em erros de execução e na necessidade de retrabalho, pois os operários não estavam recebendo orientação suficiente.
Mudanças Constantes no Planejamento	Making-Do	As mudanças frequentes no planejamento levaram à adaptação constante da equipe, o que prejudicou a produtividade e a eficiência.
Pressão sobre os Operários	Talentos Inutilizados	A pressão constante para cumprir prazos levava à exaustão dos operários, afetando seu bem-estar e a qualidade do trabalho.
Pressão para Cumprir Prazos	Superprodução	A pressão constante para cumprir prazos levava à superprodução e à pressa, o que afetava a qualidade e resultava em retrabalho.
Atrasos devido à Espera por Materiais	Esperas	Os congestionamentos e a falta de organização no almoxarifado resultaram em atrasos devido à espera por materiais, afetando o andamento das atividades.
Criatividade desperdiçada	Talentos Inutilizados	Trabalhadores que tinham ideias de melhorias processuais demoraram a ser ouvidos.

## APÊNDICE E - Fichas-resumo com os papéis do GerenciObras

<p><b>VOCÊ É O... INVESTIGADOR</b></p> 	<p>Use os óculos de Realidade Virtual para interagir com a simulação e identificar fontes de perdas no canteiro de obras</p>	<p><b>GERENCI</b>  <b>BRAS</b></p>
<p><b>VOCÊ É O... JUIZ</b></p> 	<p>Consulte o manual de instruções e julgue se as perdas identificadas pelo investigador e pela equipe são plausíveis</p>	<p><b>GERENCI</b>  <b>BRAS</b></p>

**VOCE FAZ PARTE DA...**  
**EQUIPE**

**Use as pistas descobertas  
pelo investigador e se  
una a ele para identificar  
fontes de perdas no  
canteiro de obras**

**GERENCI**  **BRAS**

**APÊNDICE F - Manual de Uso do GerenciObras**

### OLÁ!

O **GerenciObras** é uma ferramenta que busca contribuir com o processo de ensino-aprendizado de acadêmicos de Engenharia Civil a respeito da gestão de perdas não-físicas nos canteiros de obras da construção civil.

Para isso, utilizam-se estratégias **gamificadas**, associadas a tecnologias de **Realidade Estendida** para motivar e engajar o aluno, promovendo uma experiência de ensino e aprendizado inovadora.

Essa ferramenta foi desenvolvida pelo professor e pesquisador **Arthur Felipe Echs Lucena**, em sua tese de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGECiv) da Universidade Estadual de Londrina (UEL), orientado pelo Prof. Dr. Altibano Ortenzi e coorientado pela Profa. Dra. Wanessa Fazinga.

## PARTICIPANTES

## PARTICIPANTES

Para uma boa experiência utilizando o **GerenciObras**, recomenda-se um mínimo de **três participantes**, em que um destes deve ter amplo conhecimento sobre gestão de perdas em canteiros de obras. Inicialmente, os participantes devem ser divididos entre os seguintes papéis:

**O JUIZ:** é o participante que domina o assunto de gestão de perdas em obras, geralmente o **professor**. Seu papel deve permanecer fixo durante toda a experiência. O juiz deve ter lido e estar de posse deste manual no início da experiência, pois será responsável por orientar os demais participantes em suas funções e julgar as respostas dadas por eles no decorrer da simulação.

**O INVESTIGADOR:** é o participante que utilizará os óculos de Realidade Virtual e conduzirá a exploração da simulação. Sua **principal missão** é identificar as **fontes de perdas** existentes na situação simulada.

**A EQUIPE:** são todos os demais participantes da experiência, que devem auxiliar o investigador a **identificar as fontes de perdas** presentes no canteiro de obras simulado.

**! Recomenda-se**, caso possível, que os participantes da **Equipe** alternem no papel de **Investigador** a cada **20 minutos**. Isso evita tonturas e náuseas que podem ser geradas no uso prolongado dos Óculos de Realidade Virtual e possibilita que os jogadores interajam com a experiência sob diferentes perspectivas.

**GERENCI#BRAS**

**02**

**GERENCI#BRAS**

**03**

**O OBJETIVO** da experiência no GerenciObras é que o Investigador e a Equipe trabalhem de forma cooperativa para identificar as fontes de **perdas** escondidas no cenário simulado. Para isso, o Investigador deve explorar a simulação e interagir com as situações propostas, ganhando **GerenciCoins** para comprar pistas para a Equipe investigar e descobrir as fontes de perdas.

A qualquer momento que o Investigador e a Equipe desejarem relatar as perdas identificadas até o momento, o Investigador deve se dirigir à **Sala de Reuniões** presente no Escritório de Engenharia para convocar uma reunião. Nesse momento, os participantes relatam em comum acordo as perdas investigadas, e o **Juiz** deve julgar se tais perdas são aplicáveis à situação.

**O Juiz** deve conhecer antecipadamente todas as perdas catalogadas neste manual. A cada perda corretamente identificada pelos participantes, o Juiz deve verificar no manual o código referente a ela e informar ao Investigador, para que ele assinale que esta perda foi identificada no quadro correspondente na Sala de Reuniões.

**!** Caso os participantes identifiquem uma perda não catalogada no manual, mas que o Juiz julgue que é aplicável à situação, devem somar 1 ponto no campo «**perdas extras**» no quadro da Sala de Reuniões.

**!** Caso os participantes identifiquem uma perda que o Juiz julgue não ser adequada à situação, devem somar 1 ponto no campo «**perdas inadequadas**» no quadro da Sala de Reuniões.

## GERENCIACOINS E GERENCICARDS

As **GerenciCoins** são moedas virtuais que podem ser conquistadas pelo Investigador e pela Equipe ao realizar as tarefas e interações disponíveis na simulação. São usadas exclusivamente para adquirir as GerenciCards.

As **GerenciCards**, por sua vez, são cartas com pistas sobre as perdas não-físicas existentes na simulação. No início da experiência, o baralho com todas as GerenciCards fica de posse do Juiz. Ao serem adquiridas pelo Investigador e pela Equipe no menu disponível no Escritório de Engenharia, o Juiz deve fornecer **aleatoriamente** uma carta do baralho para a Equipe.

Cada perda não-física escondida na simulação possui **duas** GerenciCards associadas a ela. Cabe ao Investigador e à Equipe utilizarem as cartas adquiridas, juntamente às suas percepções da

**GERENCI**  **BRAS**

**06**

## GERENCIACOINS E GERENCICARDS

cena, para identificarem todas as perdas.

As GerenciCards podem ser de três tipos:

**CARD DE PERGUNTA:** Apresenta uma pergunta que busca conduzir o Investigador e a Equipe a uma reflexão que potencialmente resultará na identificação da perda a qual ela se refere.

**CARD DE LOCALIZAÇÃO:** Fornece a localização da área na simulação em que a perda a qual ela se refere está escondida.

**CARD DE INVESTIGAÇÃO:** Apresenta um comando ao Investigador e à Equipe que, ao ser cumprido, potencialmente resultará na identificação da perda a qual ela se refere.

**GERENCI**  **BRAS**

**07**

## OUTRAS INFORMAÇÕES

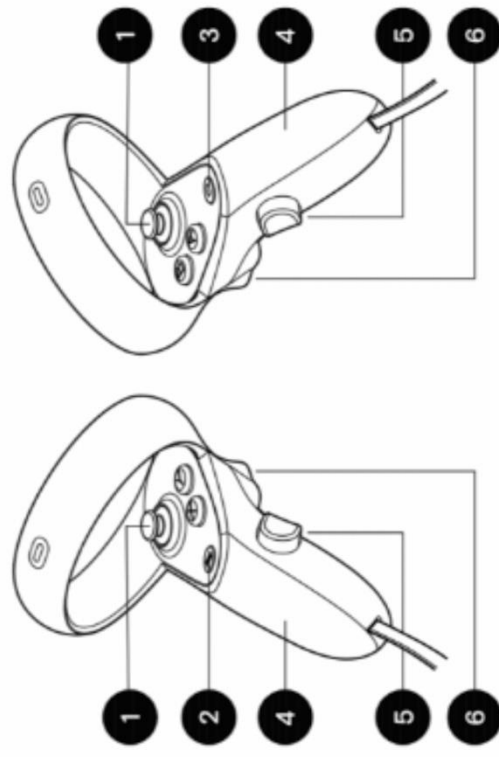
**!** O **dinheiro (R\$)** apresentado na área de Estoques simboliza o valor agregado à obra conforme o andamento do projeto. A quantia aumenta automaticamente com o decorrer do tempo de uso da simulação. É consumido na aquisição de materiais no estoque.

**!** Alguns **itens** da simulação podem ser **segurados** pelo Investigador com as mãos. Para saber mais sobre como segurar itens, consulte a página 10 deste manual.

**!** Botões na cor **laranja** podem ser clicados pelo usuário. Para saber mais sobre como interagir com botões e menus, consulte a página 10 deste manual.

## CONTROLE E INTERAÇÃO

Para navegar e interagir com a simulação, o Investigador utilizará um par de controles (Fig. 1)



**DESLOCAMENTO:** Para se locomover na simulação, o Investigador deverá movimentar o **botão (1)** para frente e soltá-lo, posicionando a mira virtual onde desejar ser teletransportado

## CONTROLE E INTERAÇÃO

**ROTAÇÃO:** Para rotacionar sua visão, o Investigador deverá movimentar o **botão (1)** para a esquerda ou para a direita, ou girar sua cabeça na direção desejada.

**SELEÇÃO DE BOTÕES E MENUS:** Para clicar em botões ou opções disponíveis em menus, utilizando qualquer um dos controles, o Investigador deve apontar o **laser** branco que se origina no controle para o botão/opção em que se deseja clicar. Em seguida, nesse mesmo controle o Investigador deve clicar no **botão (6)**, posicionado sob o seu dedo indicador.

**SEGURANDO OBJETOS:** Para segurar objetos na simulação, o usuário deverá aproximar a representação virtual da sua mão ao objeto, e então clicar no **botão (5)** do controle.

## FINALIZANDO A EXPERIÊNCIA

A experiência no GerenciObras é finalizada quando o Investigador e a Equipe identificarem todas as perdas escondidas, ou quando decidirem esgotar seus esforços na busca pelas perdas ainda não identificadas.

Concluído o uso da simulação virtual, o Juiz deve reunir todos (Investigador e Equipe) para um momento de **reflexão e debate** de ideias sobre os eventos ocorridos no decorrer da experiência.

Sugere-se como **pontos de debate:**

- As situações representadas no cenário virtual são **plausíveis** de ocorrerem na vida real?
- Quais perdas são mais **fáceis** e **difíceis** de serem identificadas no dia a dia de trabalho?
- Quais as **consequências** da ocorrência das perdas analisadas para a gestão da obra?

**GERENCI#BRAS**

**10**

**GERENCI#BRAS**

**11**

## FINALIZANDO A EXPERIÊNCIA

- Quais medidas podem ser tomadas para facilitar a **identificação** dessas perdas?
- Quais medidas podem ser tomadas para **prevenir** a ocorrência dessas perdas?
- Quais medidas podem ser tomadas para **mitigar ou eliminar** essas perdas, quando ocorrerem?
- Qual o papel dos **gestores** (engenheiros, estagiários, etc) na gestão dessas perdas?
- Qual o papel dos **trabalhadores** na gestão dessas perdas?
- Como está a **situação atual** da gestão de perdas na construção civil brasileira e nas obras que você tem contato?
- O que **você** pode fazer nesse contexto?

**GERENCI#BRAS**

**12**

## ORIENTAÇÕES AO JUIZ

Juiz,

Para que a experiência no GerenciObras seja bem-sucedida, seu papel é fundamental. Esteja atento e flexível às necessidades dos participantes. Se necessário, abra exceções e improvise!

- Inicie a atividade apresentando as principais regras do GerenciObras aos participantes. Não precisa explicar todas de uma vez! Apresente-as conforme se mostrar necessário no decorrer da experiência;
- Caso os participantes demonstrem dificuldades técnicas para realizar alguma ação, como segurar objetos ou clicar em algum botão, abra exceções para dar continuidade à experiência;
- Quando perceber que os participantes estão «travados» em alguma situação, dê dicas!

**GERENCI#BRAS**

**13**

## GABARITO - GERENCIACOINS

**! ATENÇÃO!** Esta página deve ser consultada somente pelo Juiz!

**GANHANDO GERENCIACOINS (GC):** As seguintes interações resultam em ganho de GerenciCoins no decorrer da experiência

- Selecionar a resposta correta da questão de concurso disponível no cenário: +30 GC
- Completar a interação sobre o revestimento argamassado no Apartamento 201: +40 GC
- Auxiliar o personagem Gabriel, buscando os materiais necessários para a continuidade de suas atividades: +50 GC
- Ajudar o personagem Marcos, que sofreu um acidente de trabalho: +50 GC

**GERENCI#BRAS**

**14**

## GABARITO - GERENCIACOINS

**! ATENÇÃO!** Esta página deve ser consultada somente pelo Juiz!

- Motivar o personagem Vicente e incentivá-lo a propor ideias para melhorar o processo produtivo: +50 GC
- Encerrar o conflito acerca dos personagens Omar e Emanuel: +50 GC
- Identificar o personagem Paulo em situação ociosa e enviá-lo novamente para o trabalho: +50 GC

**No total, é possível obter 320 GerenciCoins.**

**GERENCI#BRAS**

**15**

## GABARITO - GERENCIACOINS

**! ATENÇÃO!** Esta página deve ser consultada somente pelo Juiz!

**GASTANDO/PERDENDO GERENCIACOINS (GC):** As seguintes interações resultam em perda/gasto de GerenciCoins no decorrer da experiência

- Assinalar qualquer alternativa incorreta da questão de concurso disponível no cenário: -5 GC por alternativa
- Comprar Gerencicards: -10 GC por carta

**No total, é possível gastar e / ou perder 300 GerenciCoins.**

**GERENCI#BRAS**

**16**

## GABARITO - PERDAS

**! ATENÇÃO!** Esta página deve ser consultada somente pelo Juiz!

**Juiz:** consulte na relação a seguir as perdas escondidas na simulação do GerenciObras. Você deve **comparar** as respostas dadas pela Equipe e pelo Investigador no momento de identificação das perdas na **Sala de Reuniões** com esse gabarito. Se julgar que as perdas relatadas por eles se assemelham com a descrição de alguma perda constante nessa relação, informe ao Investigador o código (ex.: P105) desta perda, para que ele possa assinalar no quadro da Sala de Reuniões.

Se julgar que as perdas relatadas por eles são **plausíveis** à situação da simulação, mas não se assemelham a nenhuma das perdas dessa relação, conceda 1 ponto de perda extra (por perda).

**GERENCI#BRAS**

**17**

## GABARITO - PERDAS

**! ATENÇÃO!** Esta página deve ser consultada somente pelo Juiz!

Por outro lado, se julgar que as perdas relatadas por eles **não são plausíveis** à situação da simulação, registre 1 ponto de perda inválida (por perda).

### PERDA 105

**Descrição:** processo de produção empurrado de argamassa.

**Justificativa:** a produção de argamassa sem sincronia com a demanda pode resultar na alocação de recursos (horas de trabalho, insumos) sem necessidade.

**Local:** central de argamassas

**Cards associados:** AA, BF

## GABARITO - PERDAS

**! ATENÇÃO!** Esta página deve ser consultada somente pelo Juiz!

### PERDA 198

**Descrição:** conflito entre trabalhadores.

**Justificativa:** a ocorrência de conflito entre trabalhadores pode impactar no ritmo de produção, seja devido à parada abrupta na operação ou pela falta de sinergia entre a equipe.

**Local:** apto 203 - trabalhadores Omar e Emanuel

**Cards associados:** CD, EJ

### PERDA 207

**Descrição:** distância excessiva de transporte de materiais devido à ineficiência do layout do canteiro de obras.

**GERENCI#BRAS**

**18**

**GERENCI#BRAS**

**19**

## GABARITO - PERDAS

**! ATENÇÃO!** Esta página deve ser consultada somente pelo Juiz!

**Justificativa:** o layout do canteiro de obras ineficiente, como no caso do operário que precisa percorrer grandes distâncias para transportar os materiais necessários para a produção de argamassa, resulta em um maior tempo gasto nessa operação de transporte.

**Local:** central de argamassas

**Cards associados:** KQ, LM

### **PERDA 318**

**Descrição:** acidente de trabalho envolvendo o trabalhador Marcos.

**Justificativa:** a ocorrência de um acidente de

**GERENCI#BRAS**

**20**

## GABARITO - PERDAS

**! ATENÇÃO!** Esta página deve ser consultada somente pelo Juiz!

trabalho pode impactar no ritmo de produção, seja devido à parada abrupta na operação ou pela desestabilização da equipe após o ocorrido.

**Local:** apto 301 - trabalhador Marcos

**Cards associados:** JP, IY

### **PERDA 380**

**Descrição:** movimentações desnecessárias do trabalhador, devido à falta de planejamento ou desconhecimento dos requisitos necessários para completar sua tarefa.

**Justificativa:** as movimentações desnecessárias do trabalhador, como ao realizar deslocamentos extras para buscar materiais necessários à

**GERENCI#BRAS**

**21**

## GABARITO - PERDAS

**! ATENÇÃO!** Esta página deve ser consultada somente pelo Juiz!

sua atividade, resulta em gasto de tempo para essa movimentação, que não agrega valor ao que está sendo produzido.

**Local:** apto 202 - tarefa revest. argamassado

**Cards associados:** AD, ML

### **PERDA 404**

**Descrição:** estoque de materiais em excesso ou adquiridos antes do necessário.

**Justificativa:** o planejamento inadequado da aquisição de materiais, em dissonância do que é estabelecido pela proposta do Just In Time, resulta na alocação de recursos (capital, espaço, tempo) antes de ser de fato necessário. Caso o

**GERENCI#BRAS**

**22**

## GABARITO - PERDAS

**! ATENÇÃO!** Esta página deve ser consultada somente pelo Juiz!

material seja adquirido em excesso, também pode ocorrer perdas dos recursos mobilizados para aquisição e armazenamento deste material.

**Local:** estoques

**Cards associados:** KP, NB

### **PERDA 545**

**Descrição:** trabalhador se sentindo desvalorizado e/ou desmotivado.

**Justificativa:** a falta de motivação e valorização do trabalhador pode atrapalhar em seu ritmo produtivo.

**GERENCI#BRAS**

**23**

## GABARITO - PERDAS

**! ATENÇÃO!** Esta página deve ser consultada somente pelo Juiz!

**Local:** refeitório - trabalhador Vicente

**Cards associados:** TY, MZ

### **PERDA 619**

**Descrição:** disposição espacial confusa dos itens no almoxarifado.

**Justificativa:** a falta de organização no almoxarifado da obra pode refletir em um tempo maior a ser necessário para localização dos itens desejados. Além disso, itens podem ser adquiridos em duplicata, visto que não se observou já existirem no almoxarifado.

**Local:** almoxarifado

**Cards associados:** JA, OP

**GERENCI#BRAS**

**24**

## GABARITO - PERDAS

**! ATENÇÃO!** Esta página deve ser consultada somente pelo Juiz!

### **PERDA 724**

**Descrição:** movimentações desnecessárias do trabalhador devido à falta de familiaridade com o layout do canteiro ou projeto confuso e/ou ineficiente deste.

**Justificativa:** ao percorrer trajetos que resultam em distâncias maiores do que o necessário para transitar entre áreas do canteiro de obras, o trabalhador aloca maior quantidade de tempo do que o necessário em uma ação que não agrega valor o que está sendo produzido.

**Local:** aptos 401 e 203 - trabalhador Gabriel

**Cards associados:** LQ, EW

**GERENCI#BRAS**

**25**

## GABARITO - PERDAS

**! ATENÇÃO!** Esta página deve ser consultada somente pelo Juiz!

### PERDA 742

**Descrição:** imprevisto na realização de atividade por não cumprir todos os requisitos necessários para completá-la corretamente.

**Justificativa:** ao improvisar na realização de uma atividade, como possivelmente poderia ser feito caso o trabalhador não se certifique de cumprir os requisitos necessários para a tarefa de execução de revestimento argamassado, pode resultar em má qualidade do produto ou retrabalhos.

**Local:** apto 202 - tarefa revest. argamassado

**Cards associados:** ZA, IP

**GERENCI#BRAS**

**26**

## GABARITO - PERDAS

**! ATENÇÃO!** Esta página deve ser consultada somente pelo Juiz!

### PERDA 806

**Descrição:** falta de participação do trabalhador no processo de planejamento e gestão

**Justificativa:** a ignorância de ideias propostas pelo trabalhador a partir de seu conhecimento tácito, potencialmente benéficas ao processo produtivo, consiste em uma perda por talento inutilizado deste profissional.

**Local:** refeitório - trabalhador Vicente

**Cards associados:** KM, UW

### PERDA 847

**Descrição:** trabalho em progresso devido à falta

**GERENCI#BRAS**

**27**

## GABARITO - PERDAS

**! ATENÇÃO!** Esta página deve ser consultada somente pelo Juiz!

de recursos financeiros para sua continuidade.

**Justificativa:** a interrupção de um trabalho, devido, por exemplo, à falta de dinheiro para aquisição de insumos necessários à sua realização, resulta em um trabalho em estado de espera, que não agrega valor ao que se está sendo produzido.

**Local:** estoques - falta de dinheiro

**Cards associados:** BX, UV

### **PERDA 919**

**Descrição:** ociosidade do trabalhador

**Justificativa:** a ociosidade do trabalhador, devido ao excesso de conversas desnecessárias com

**GERENCI#BRAS**

**28**

## GABARITO - PERDAS

**! ATENÇÃO!** Esta página deve ser consultada somente pelo Juiz!

colegas de trabalho, ou descansos excessivos em momentos impróprios, pode impactar no ritmo produtivo.

**Local:** almoxarifado - trabalhador Paulo

**Cards associados:** ZS, QI

### **PERDA 923**

**Descrição:** quebra de equipamento

**Justificativa:** a quebra de equipamento, podendo ser devida à falta de manutenção preventiva, pode impactar no ritmo produtivo ou qualidade do que é produzido.

**Local:** central de argamassas - betoneira

**Cards associados:** RH, JZ

**GERENCI#BRAS**

**29**

## APÊNDICE G - GerenciCards do GerenciObras

<p><b>KQ</b></p> <p>Onde estão os <b>insumos</b> para produzir argamassa? E as <b>betoneiras</b>?</p> <p><b>GERENCI#BRAS</b></p>	<p><b>LM</b></p> <p>Observe o <b>operário</b> produzindo <b>argamassa</b></p> <p><b>GERENCI#BRAS</b></p>	<p><b>AD</b></p> <p>Quando existe <b>movimentação</b> de um trabalhador?</p> <p><b>GERENCI#BRAS</b></p>	<p><b>ML</b></p> <p><b>Apto 202</b></p> <p><b>GERENCI#BRAS</b></p>
<p><b>CD</b></p> <p>O que acontece com a <b>produção</b> quando operários <b>brigam</b>?</p> <p><b>GERENCI#BRAS</b></p>	<p><b>EJ</b></p> <p>Procure <b>Emanuel</b> e <b>Omar</b></p> <p><b>GERENCI#BRAS</b></p>	<p><b>AA</b></p> <p>Para onde vai a <b>argamassa</b> produzida e não utilizada?</p> <p><b>GERENCI#BRAS</b></p>	<p><b>BF</b></p> <p><b>Central de Argamassas</b></p> <p><b>GERENCI#BRAS</b></p>

<p><b>JP</b></p> <p>O que acontece com a <b>produção</b> quando operários <b>sofrem acidentes?</b></p> <p><b>GERENCI*BRAS</b></p>	<p><b>IY</b></p> <p>Procure <b>Marcos</b></p> <p><b>GERENCI*BRAS</b></p>	<p><b>BX</b></p> <p>O que acontece se eu comprar <b>estoque</b> antes de ele ser <b>necessário?</b></p> <p><b>GERENCI*BRAS</b></p>	<p><b>UV</b></p> <p><b>Estoques</b></p> <p><b>GERENCI*BRAS</b></p>
<p><b>KM</b></p> <p>O que acontece se eu não ouço as <b>ideias</b> dos trabalhadores?</p> <p><b>GERENCI*BRAS</b></p>	<p><b>UW</b></p> <p>Fale com <b>Vicente</b></p> <p><b>GERENCI*BRAS</b></p>	<p><b>JA</b></p> <p>Como está organizado o <b>almoxarifado?</b></p> <p><b>GERENCI*BRAS</b></p>	<p><b>OP</b></p> <p><b>Almoxarifado</b></p> <p><b>GERENCI*BRAS</b></p>

<p><b>KP</b></p> <p>O que acontece se eu comprar mais <b>estoque</b> do que é necessário?</p> <p><b>GERENCI*BRAS</b></p>	<p><b>NB</b></p> <p>Refleta sobre a <b>quantidade</b> de insumos em estoque</p> <p><b>GERENCI*BRAS</b></p>	<p><b>LQ</b></p> <p>É fácil se <b>movimentar</b> em um ambiente <b>desconhecido</b> e pouco <b>sinalizado?</b></p> <p><b>GERENCI*BRAS</b></p>	<p><b>EW</b></p> <p>Apto <b>401</b></p> <p><b>GERENCI*BRAS</b></p>
<p><b>TY</b></p> <p>Como a <b>motivação</b> do trabalhador influencia no seu trabalho?</p> <p><b>GERENCI*BRAS</b></p>	<p><b>MZ</b></p> <p>Fale com <b>Vicente</b></p> <p><b>GERENCI*BRAS</b></p>	<p><b>ZA</b></p> <p>O que acontece se eu executar uma atividade sem cumprir seus <b>pré-requisitos?</b></p> <p><b>GERENCI*BRAS</b></p>	<p><b>IP</b></p> <p>Apto <b>202</b></p> <p><b>GERENCI*BRAS</b></p>

<p><b>QI</b></p> <p>O que acontece com a <b>produção</b> quando operários <b>descansam fora do horário de intervalo?</b></p>	<p><b>ZS</b></p> <p><b>Procure Paulo</b></p>	<p><b>RH</b></p> <p>A quebra de <b>equipamentos</b> atrapalha a <b>produção?</b></p>	<p><b>JZ</b></p> <p><b>Central de Argamassas</b></p>
<p><b>GERENCI</b>⚙️<b>BRAS</b></p>			