



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ARTHUR FELIPE ECHS LUCENA

**DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS BASEADOS EM
JOGOS E REALIDADE VIRTUAL PARA CAPACITAÇÃO EM
SEGURANÇA DO TRABALHO DE GESTORES DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Londrina
2019

ARTHUR FELIPE ECHS LUCENA

**DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS BASEADOS EM
JOGOS E REALIDADE VIRTUAL PARA CAPACITAÇÃO EM
SEGURANÇA DO TRABALHO DE GESTORES DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fernanda Aranha Saffaro

Londrina
2019

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

L935d Lucena, Arthur Felipe Echs.
Desenvolvimento de recursos baseados em jogos e realidade virtual para capacitação em segurança do trabalho de gestores da construção civil / Arthur Felipe Echs Lucena. - Londrina, 2019.
174 f. : il.

Orientador: Fernanda Aranha Saffaro.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.
Inclui bibliografia.

1. Segurança e Saúde do Trabalho - Tese. 2. Construção Civil - Tese. 3. Realidade Virtual - Tese. 4. Jogos - Tese. I. Saffaro, Fernanda Aranha. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 62

ARTHUR FELIPE ECHS LUCENA

**DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS BASEADOS EM
JOGOS E REALIDADE VIRTUAL PARA CAPACITAÇÃO EM
SEGURANÇA DO TRABALHO DE GESTORES DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA



Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fernanda A. Saffaro
Universidade Estadual de Londrina - UEL

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

Prof^a. Dr^a. Dayana Bastos Costa
Universidade Federal da Bahia - UFBA

Londrina, 20 de dezembro de 2019.

Dedico este trabalho a todos os meus professores: do ensino básico, superior e da vida. Quando crescer, quero ser como vocês.

AGRADECIMENTOS

Com receio de me esquecer de alguém, por descuido ou cansaço depois de meses tão intensos de trabalho, de antemão gostaria de agradecer imensamente a **todos** que contribuíram com esta pesquisa. Tenho imenso orgulho do trabalho (a meu ver) consistente e relevante relatado nestas páginas, e vocês foram fundamentais para isso. Em particular, faço alguns agradecimentos:

Aos meus familiares, em especial, aos meus pais Toni e Tânia, e aos meus irmãos Matheus e Jéssica. Diante das dificuldades e também dos sucessos, vocês me apoiaram, me aconselharam e me fizeram seguir firme nessa jornada.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Fernanda Aranha Saffaro, que topou o desafio de se aventurar comigo em um mundo de tecnologia até então desconhecido a nós dois. Seu exemplo, ensinamentos e conselhos foram de suma importância.

Aos colegas do grupo de pesquisa de Gestão de Processos na Construção Civil, em especial à Wanessa, ao Rodrigo e ao Vitor. Seus questionamentos e sugestões me motivaram a lapidar essa pesquisa. Mais do que isso, obrigado por suas amizades.

Aos participantes da banca avaliadora, Profs. Altibano e Dayana. O empenho e dedicação de vocês em se debruçar sobre meu trabalho e encontrar maneiras para aperfeiçoá-lo me inspiram a ser cada vez melhor.

Aos professores e colegas da UEL e da UEM, em particular os Profs. Ercilia, Hugo, Luci e Miotto. O amor de vocês à pesquisa, refletido em suas contribuições ao meu trabalho, também me inspira e motiva a seguir nesse mundo acadêmico.

Aos meus amigos, de todos os cantos, que viveram comigo minhas conquistas e desafios ao longo destes dois anos: meu muitíssimo obrigado, vocês são muito especiais para mim. Em particular, um forte abraço aos meus dois irmãos pós-graduados de mestrado, Lucas e Betina, que vivenciaram de pertinho grande parte desses momentos comigo.

Aos participantes de todos os estudos aqui relatados, agradeço por se disponibilizarem a contribuir com esse projeto como fosse necessário. Em tempos em que a pesquisa científica é tão questionada e desvalorizada por alguns, é animador ver que ainda existem pessoas que se dispõem a contribuir com o avanço da Ciência.

Ao CNPq e a CAPES, pela estrutura e apoio financeiro dado ao projeto.

Se a vida não tem preço, nós
comportamo-nos sempre como se
alguma coisa ultrapassasse, em valor,
a vida humana... Mas o quê?

(Antoine de Saint-Exupéry)

LUCENA, Arthur Felipe Echs. **Desenvolvimento de recursos baseados em jogos e realidade virtual para capacitação em segurança do trabalho de gestores da construção civil**. 2019. 173 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

RESUMO

A gestão da segurança do trabalho nos canteiros de obras da construção civil é um tema recorrente nos estudos científicos, haja vista os altos índices de acidentes registrados no setor. Diversos estudos apontam para deficiências na tomada de decisão dos gestores no que diz respeito à segurança ocupacional, de modo que se sugere que é necessário desenvolver meios mais eficientes para capacitá-los para essas competências. Nesse sentido, o presente estudo objetivou propor diretrizes para o desenvolvimento de recursos baseados em jogos e na tecnologia da realidade virtual para a capacitação de gestores da construção civil, no que diz respeito à percepção e às formas de mitigação de riscos presentes no canteiro de obra. A abordagem metodológica adotada foi a *Design Science Research* (DSR), sendo realizado, inicialmente, um levantamento bibliográfico e um estudo exploratório para entendimento dos problemas relativos a esse tema. Posteriormente, o desenvolvimento de um simulador em realidade virtual para a capacitação de gestores sobre segurança do trabalho, denominado Projeto Obra Segura, permitiu refletir sobre alternativas para o treinamento desses profissionais e abstrair sete diretrizes em vista do objetivo pretendido. Os resultados da pesquisa revelaram que a associação do arcabouço teórico do universo dos jogos com os estímulos audiovisuais da tecnologia da realidade virtual culminaram na criação de um simulador capaz de capacitar seus usuários, especialmente àqueles com baixa experiência no tema. Observou-se que um dos principais diferenciais do simulador criado consiste no modo inovador de capacitação, em que o usuário participa ativamente do seu próprio processo de aprendizado. Concluiu-se, assim, que a criação de recursos baseados nas diretrizes propostas tem potencial para contribuir com a capacitação dos gestores sobre gestão da segurança do ambiente de trabalho, sendo sugerido a trabalhos futuros que testem essas diretrizes a outros contextos.

Palavras-chave: Canteiro de obra. Gamificação. Jogos sérios. Visualização na engenharia.

LUCENA, Arthur Felipe Echs. **Development of game-based and virtual reality-based resources for the safety education of civil construction managers**. 2019. 173 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

ABSTRACT

Construction site safety management is a recurring topic in scientific studies, given the high rates of accidents in the sector. Several studies point out deficiencies in the decisions made by managers regarding to occupational safety. Thus it is suggested the need to develop more efficient means for managing training regarding these competencies. In this sense, the present study aimed to propose guidelines for the development of resources based on games and virtual reality technology for the training of construction managers, regarding risk identification and proposal of mitigating measures. The methodological approach adopted was Design Science Research (DSR). Initially, a bibliographic survey and an exploratory study were performed to understand the problems related to this topic. Subsequently, the development of a virtual reality simulator for managers training on occupational safety, called Project Safe Construction Work, allowed to reflect on alternatives for the training of these professionals and to establish seven guidelines for this purpose. The research results revealed that the association of the theoretical framework of the game universe with the audiovisual stimuli of virtual reality technology culminated in the creation of a simulator capable of generating learning for its users, especially those with low experience in the subject. It was observed that one of the main differentials of the simulator created is the innovative mode of training, in which the user actively participates in their own learning process. Concluding, the creation of resources based on the proposed guidelines has the potential to contribute to the managers' learning about workplace safety management, being suggested to future works the test of these guidelines in other contexts.

Keywords: Construction site. Gamification. Serious games. Visualization in engineering.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Distribuição dos estudos identificados no levantamento segundo os elementos de jogos que utilizaram	52
Figura 2	O Sensorama®, de Morton Heilig (1955)	56
Figura 3	Publicações sobre realidade virtual e aumentada aplicadas à gestão da segurança na construção civil	57
Figura 4	Adaptação do continuum de Milgram	59
Figura 5	Sistemas não-imersivos (a) e imersivos (b) baseados em realidade virtual	61
Figura 6	Pirâmide da eficiência do aprendizado	65
Figura 7	Exemplo de programação desenvolvida por meio do sistema de Blueprints® na Unreal Engine 4®	69
Figura 8	Samsung Gear VR®, da Samsung®	70
Figura 9	Representação virtual do controle da Samsung®, compatível com o Samsung Gear VR®	71
Figura 10	Delineamento geral do método de pesquisa	83
Figura 11	Método utilizado no Estudo I	86
Figura 12	Óculos de realidade virtual utilizados na simulação	87
Figura 13	Canteiros de obras A (esquerda) e B (direita)	88
Figura 14	Áreas de apoio à produção	89
Figura 15	Detalhes das modelagens	89
Figura 16	Exemplo de <i>gamepad</i> a ser utilizado para interação com o Projeto ObraSegura	93
Figura 17	Idades dos participantes	98
Figura 18	Experiências dos participantes como gestores de obras	98
Figura 19	Croqui do canteiro de obras utilizado no Estudo III	99
Figura 20	Trecho da linha de balanço relacionada à Situação A	100
Figura 21	Trecho da linha de balanço relacionada à Situação B	101
Figura 22	Trecho da linha de balanço relacionada à Situação C	101
Figura 23	Tempo utilizado pelos usuários nas simulações na Etapa 1	105
Figura 24	Quantidade de riscos identificada pelos usuários nas simulações na Etapa 1	105

Figura 25	Quantidade de riscos identificada em cada simulação na Etapa 1, por categoria	108
Figura 26	Tempo utilizado pelos usuários nas simulações na Etapa 2.....	110
Figura 27	Quantidade de riscos identificada pelos usuários nas simulações na Etapa 2	111
Figura 28	Quantidade de riscos identificada em cada simulação na Etapa 2, por categoria	112
Figura 29	Cena 4 do Projeto Obra Segura.....	117
Figura 30	<i>Layout</i> base dos níveis do Projeto Obra Segura.....	118
Figura 31	Cena 1 do Projeto Obra Segura.....	119
Figura 32	Elevador de obra na Cena 3 do Projeto Obra Segura.....	120
Figura 33	Dinâmica dos níveis do Projeto Obra Segura	122
Figura 34	Função <i>Interact</i> no Projeto Obra Segura.....	123
Figura 35	Percentual de riscos identificados nas Etapas 1 e 3 por todos os participantes (a) e especificamente pelos participantes do Grupo I (b), Grupo II (c), Grupo III (d) e Grupo IV (e).....	127
Figura 36	Percentual de riscos identificados nas Etapas 1 e 3 pelos participantes com 20 a 25 anos (a), 25 a 35 anos (b) e mais de 35 anos (c)	129
Figura 37	Percentual de riscos identificados nas Etapas 1 e 3 pelos participantes com nenhuma experiência na função (a), menos de 5 anos de experiência (b), de 5 a 10 anos de experiência (c) e mais de 10 anos de experiência (d)	129
Figura 38	Percentual de riscos identificados pelos participantes nas Etapas 1 e 3 em cada categoria.....	130
Figura 39	Percentual de riscos identificados pelos participantes nas Etapas 1 e 3 em cada categoria, subdivididos entre Grupo I (a), Grupo II (b), Grupo III (c) e Grupo IV (d)	132
Figura 40	Percentual de riscos identificados pelos participantes nas Etapas 1 e 3 em cada categoria, subdivididos entre participantes com nenhuma experiência na função (a), menos de 5 anos de experiência (b), de 5 a 10 anos de experiência (c) e mais de 10 anos de experiência (d)	133

Figura 41	Percentual de riscos identificados pelos participantes nas Etapas 1 e 3 em cada categoria, subdivididos entre participantes com 20 a 25 anos (a), 25 a 35 anos (b) e mais de 35 anos (c)	134
Figura 42	Distribuição dos riscos identificados pelos participantes conforme severidade definida por eles (a), também subdividida entre riscos percebidos na Etapa 1 (b) e apenas notados na Etapa 3 (c).....	135
Figura 43	Percentual de medidas sugeridas nas Etapas 1 e 3 por todos os participantes (a) e especificamente pelos participantes do Grupo I (b), Grupo II (c), Grupo III (d) e Grupo IV (e).....	137
Figura 44	Percentual de medidas sugeridas nas Etapas 1 e 3 pelos participantes com 20 a 25 anos (a), 25 a 35 anos (b) e mais de 35 anos (c)	138
Figura 45	Percentual de medidas sugeridas nas Etapas 1 e 3 pelos participantes com nenhuma experiência na função (a), menos de 5 anos de experiência (b), de 5 a 10 anos de experiência (c) e mais de 10 anos de experiência (d)	138

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Classificação de riscos associados à construção civil segundo a fonte de energia geradora.....	24
Quadro 2	Matriz de avaliação de riscos.....	30
Quadro 3	Competências de gestores de obras relacionadas à segurança do trabalho.....	36
Quadro 4	Excerto do Protocolo v.1.....	90
Quadro 5	Excerto do Protocolo v.2.....	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
BIM	<i>Building Information Modelling</i>
BS	<i>British Standards</i>
BVRS	<i>BIM-VR Real-time Synchronization</i>
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAVE	<i>Cave Automatic Virtual Environment</i>
CIPA	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DSR	<i>Design Science Research</i>
HMD	<i>Head-mounted Display</i>
NR	Norma Regulamentadora
OHSAS	<i>Occupational Health and Safety Assessment Series</i>
OSS	<i>Open Source Software</i>
PCMAT	Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção
PCMSO	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
RV	Realidade Virtual
SESMT	Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho
VR	<i>Virtual Reality</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	16
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA	17
1.3	OBJETIVOS	20
1.4	QUESTÕES DE PESQUISA	20
1.5	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	21
2	O PAPEL DO GESTOR NA GESTÃO DA SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL	22
2.1	RISCOS, ACIDENTES E DOENÇAS OCUPACIONAIS.....	22
2.1.1	Conceitos Básicos	23
2.1.2	Panorama Dos Acidentes De Trabalho Na Construção Civil.....	26
2.2	GESTÃO DA SEGURANÇA EM CANTEIROS DE OBRAS.....	28
2.2.1	Normativas Brasileiras.....	31
2.2.2	Gestão De Competências e o Papel Do Gestor De Obra.....	33
2.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	37
3	O UNIVERSO DOS JOGOS APLICADO À SEGURANÇA DE CANTEIROS DE OBRAS	39
3.1	HISTÓRICO DO USO DE ESTRATÉGIAS BASEADAS EM JOGOS PARA FINS ALÉM DO ENTRETENIMENTO	39
3.2	CONCEITOS E TERMINOLOGIAS COMUMENTE ADOTADAS.....	40
3.3	BENEFÍCIOS NO USO DE ESTRATÉGIAS BASEADAS EM JOGOS	43
3.4	PRINCÍPIOS E ELEMENTOS ESSENCIAIS PARA O DESENVOLVIMENTO DE JOGOS E ESTRATÉGIAS BASEADAS EM JOGOS PARA FINS ALÉM DO ENTRETENIMENTO.....	45
3.5	CRÍTICAS À CONCEPÇÃO MODERNA DO DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIAS BASEADAS EM JOGOS E DESAFIOS ENCONTRADOS NOS ESTUDOS JÁ REALIZADOS.....	48
3.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	53

4	REALIDADE VIRTUAL E OUTRAS TECNOLOGIAS APLICADAS À SEGURANÇA DE CANTEIROS DE OBRAS	55
4.1	HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE REALIDADE VIRTUAL ...	55
4.2	CONCEITOS E TERMINOLOGIAS COMUMENTE ADOTADAS.....	57
4.3	BENEFÍCIOS NO USO DE DISPOSITIVOS DE REALIDADE VIRTUAL.....	61
4.3.1	Recurso De Prototipagem Para a Identificação De Riscos.....	61
4.3.2	Treinamento e Capacitação Da Equipe De Trabalho	64
4.4	DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE REALIDADE VIRTUAL	67
4.5	DESAFIOS ENCONTRADOS NOS ESTUDOS JÁ REALIZADOS	74
4.5.1	Recurso De Prototipagem Para A Identificação De Riscos	75
4.5.2	Uso Da Tecnologia De Jogos	77
4.5.3	Treinamento e Capacitação Da Equipe De Trabalho	78
4.5.4	Comparação Entre Dispositivos	79
4.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	80
5	MÉTODO DE PESQUISA	82
5.1	CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA E SUGESTÃO DE SOLUÇÃO.....	84
5.1.1	Estudo I	84
5.2	DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO.....	91
5.2.1	Caracterização Do Artefato Desenvolvido	91
5.2.2	Processo De Desenvolvimento Do Projeto Obra Segura	92
5.2.3	Estudo II	94
5.3	AVALIAÇÃO DO ARTEFATO	96
5.3.1	Estudo III	96
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	104
6.1	CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA E SUGESTÃO DE SOLUÇÃO.....	104
6.1.1	Estudo I	104
6.1.2	Premissas a Serem Adotadas No Desenvolvimento Do Artefato	113
6.2	DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO.....	116
6.2.1	Ideação E Estruturação Do Artefato	117
6.2.2	Estudo II	123
6.3	AVALIAÇÃO DO ARTEFATO (ESTUDO III).....	126

6.4	DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS BASEADOS EM JOGOS E REALIDADE VIRTUAL PARA A GESTÃO DA SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	142
6.4.1	Diretriz 01: Capacite Quem Precisa Ser Capacitado	142
6.4.2	Diretriz 02: Estimule O Papel Ativo Do Usuário	143
6.4.3	Diretriz 03: Entenda Que Se Trata Do Desenvolvimento De Um Sistema.....	144
6.4.4	Diretriz 04: Tire Proveito Da Virtualidade Característica Da Simulação.....	145
6.4.5	Diretriz 05: Esteja Preparado Para Os Diferentes Perfis De Usuário ...	147
6.4.6	Diretriz 06: Atente-Se À Liberdade Que É Dada Ao Usuário	147
6.4.7	Diretriz 07: Equilibre o “Jogar” e o “Brincar”	148
6.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	149
7	CONCLUSÃO	150
	REFERÊNCIAS	152
	APÊNDICES	162
	APÊNDICE A	163
	APÊNDICE B.....	165
	APÊNDICE C.....	168
	ANEXOS	172
	ANEXO A.....	173

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Desde muito tempo, a saúde e segurança do trabalho é tema de diversas discussões e estudos. Apesar de todos os esforços do meio científico, a ocorrência de acidentes e doenças ocupacionais ainda é uma triste realidade da sociedade contemporânea, registrando-se altos índices de ocorrência desses eventos (MPT, 2019). Devido à rotina de trabalho intensa e dinâmica, a indústria da construção civil é um dos segmentos protagonistas nesse assunto (MPT, 2018). Nesse contexto, gestores de obras têm um papel fundamental na promoção de um ambiente de trabalho seguro e adequado aos trabalhadores. Devem liderar o processo de identificação de riscos, a proposição de medidas preventivas e o estabelecimento de estratégias para lidar com as consequências dos acidentes e doenças ocupacionais, caso estes venham a ocorrer. Portanto, esses profissionais são fundamentais para a promoção de uma cultura de segurança no canteiro de obras (BHATTACHARJEE; GHOSH; YOUNG-CORBETT, 2011; GUNDUZ; LAITINEN, 2018).

Considerada uma interface avançada de comunicação entre computador e usuário, a tecnologia da realidade virtual se revela como uma ferramenta promissora para contribuir com a gestão da segurança do ambiente de trabalho, sendo utilizada para a visualização de protótipos, treinamento da equipe de trabalho, entre outras finalidades (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006). A tecnologia tem como proposta substituir a percepção do usuário sobre o ambiente ao seu redor por uma simulação tridimensional gerada em computador (LI et al., 2018). Desse modo, o usuário pode se movimentar e interagir com os elementos do ambiente virtual, que respondem em tempo real a essas interações (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006). Na gestão da segurança de canteiros de obras, o uso da tecnologia possibilita a análise de informações relativas ao projeto do empreendimento de forma mais compreensiva (WOKSEPP; OLOFSSON, 2008) e intuitiva (FERNANDES et al., 2006), facilitando a compreensão de situações que ofereçam riscos aos trabalhadores sem efetivamente expô-los ao risco.

Outros recursos que têm sido empregados nesse setor são as estratégias baseadas em jogos para finalidades que extrapolam o entretenimento (FRAGA; PEREZ; DAMIN, 2017). De modo geral, a proposta é desenvolver jogos ou utilizar

parcialmente seus elementos em situações que transcendem o lazer, auxiliando na realização de atividades cotidianas (DETERDING et al., 2011; FRAGA; PEREZ; DAMIN, 2017). Na gestão da segurança dos canteiros de obras, a motivação e engajamento dos usuários propiciados pela dinâmica dos jogos promovem melhor desempenho dos trabalhadores na execução de suas atividades, causando mudanças em seus comportamentos diários (LEITE; COSTA; DURÃO, 2015) e garantindo participação mais ativa do profissional (FREIRE; MADEIRA, 2015).

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA

De modo geral, como será melhor discutido no Capítulo 2 deste trabalho, os estudos relacionados à gestão da segurança na indústria da construção civil destacam que a ocorrência de acidentes de trabalho e doenças ocupacionais ainda é um problema latente no setor, considerado a quarta atividade econômica em que mais se registram acidentes ocupacionais no Brasil (MPT, 2019). Nesse contexto, os engenheiros responsáveis pela produção, assim como os engenheiros e técnicos de segurança figuram como protagonistas no processo de gestão da segurança do trabalho. Responsáveis pelo estabelecimento de medidas e decisões que impactam substancialmente a rotina do canteiro de obras, esses profissionais lideram a equipe na instauração de uma cultura de segurança no ambiente laboral (GOLDENHAR; SCHWATKA; JOHNSON, 2019; GUNDUZ; LAITINEN, 2018).

Entretanto, sob a perspectiva da gestão de competências, abordagem que discute o que é necessário para que um profissional cumpra adequadamente sua função (MIRANDA et al., 2017), identificam-se diversas deficiências no corrente desempenho dos profissionais responsáveis pela gestão da segurança do canteiro de obras. Para a gestão de competências, um profissional executa uma ação competente quando mobiliza proficientemente capacidades pessoais, como **conhecimentos, habilidades e atitudes**, para lidar com uma situação surgida em um contexto específico (BRANDÃO; GUIMARÃES, 2001; HERPPICH et al., 2018; SAMPSON; FYTROS, 2008). Nesse sentido, ao analisar o desempenho dos profissionais que atuam na gestão da segurança na construção civil, observa-se que:

- a) muitos gestores carecem de **conhecimento** adequado sobre riscos, acidentes, medidas preventivas e demais informações relevantes à gestão

da segurança do ambiente de trabalho, sendo que essa carência, em diversos casos, remonta à sua formação curricular (CBIC, 2017);

- b) diversos acidentes, quase-acidentes e doenças ocupacionais ocorrem porque os riscos não foram adequadamente identificados e mitigados preliminarmente à exposição do trabalhador à situação perigosa. Isso revela uma deficiência dos gestores em relação às suas **habilidades** de percepção e mitigação de riscos (ARAÚJO, 2016; PERLMAN; SACKS; BARAK, 2014; SAURIN; RIBEIRO, 2000);
- c) falta comprometimento e engajamento dos gestores, em muitos casos, para promover mudanças e liderar a instauração de uma cultura de segurança no ambiente de trabalho. Assim, em algumas situações, há uma carência de **atitudes** desses profissionais que priorizem a segurança da equipe de trabalho (SAURIN; RIBEIRO, 2000).

O contexto anteriormente apresentado revela a necessidade de desenvolver competências, isto é, capacitar os profissionais que atuam na gestão da segurança dos canteiros de obras a fim de proporcionar ambientes de trabalho mais seguros e adequados nesse setor. Essa necessidade de capacitação é recorrentemente apontada na literatura (BHATTACHARJEE; GHOSH; YOUNG-CORBETT, 2011; CBIC, 2017; PERLMAN; SACKS; BARAK, 2014; SAURIN; RIBEIRO, 2000), de modo que diversas pesquisas já foram desenvolvidas nesse sentido. Destacam-se, nesse cenário, os estudos que utilizam a tecnologia da realidade virtual e estratégias de jogos para capacitação profissional. Por meio do uso desses recursos, é possível expor os profissionais a situações bastante específicas de sua rotina de trabalho, de modo que eles sejam incentivados a exercitar suas capacidades pessoais e desenvolver suas competências (GOULDING et al., 2012; LI et al., 2018; SACKS; PERLMAN; BARAK, 2013).

Entretanto, os estudos já desenvolvidos nessa temática apresentam diversas deficiências no modo com que buscam capacitar os usuários desses recursos. A principal crítica se refere ao modo proceduralista com que conduzem o usuário ao longo do processo de aprendizado. A rigidez excessiva das regras é amplamente explorada, ignorando a individualidade dos jogadores enquanto seres subjetivos, criativos e expressivos (SICART, 2011). O agravante existente nisso reside na incapacidade do recurso de simulação de compreender que a sua estrutura lógica,

expressa por meio das suas regras, pode não contemplar todas as possíveis soluções para a situação apresentada. Dessa maneira, o que efetivamente ocorre é que, para serem bem-sucedidos, os usuários necessitam se submeter à lógica do simulador, sendo que o seu potencial para testar soluções inéditas e criativas para os problemas enfrentados ao longo da simulação não é devidamente explorado (DEWINTER; KOCUREK; NICHOLS, 2014).

Outra questão debatida na literatura se refere ao público-alvo para o qual os recursos de realidade virtual e jogos desenvolvidos nos estudos anteriores são direcionados. Há uma tendência de utilizá-los para capacitação da mão de obra da construção civil, uma vez que esses profissionais também são atores importantes no que diz respeito à instauração de um ambiente de trabalho seguro e adequado (BHOIR; ESMAEILI, 2015; SACKS; PERLMAN; BARAK, 2013; ZHAO; LUCAS, 2015). Porém, como visto, os gestores de obras também necessitam participar de capacitações, voltadas às suas funções. No entanto, diversos autores consideram escassas as pesquisas já desenvolvidas nesse sentido (LE et al., 2015; SACKS; PERLMAN; BARAK, 2013), sendo essas majoritariamente limitadas ao ambiente acadêmico e com pouca interação real com a indústria da construção (KIM et al., 2013; ZHOU; IRIZARRY; LI, 2013).

Além disso, as características dos recursos de realidade virtual e jogos desenvolvidos em pesquisas anteriores, de modo geral, esbarram em dificuldades de cunho técnico e econômico. Para a visualização de modelos muito detalhados, é necessária grande capacidade de processamento dos dispositivos computacionais, além de *softwares* de realidade virtuais bastante robustos (WOKSEPP; OLOFSSON; JONGELING, 2005). Apesar de já existirem diversos equipamentos capazes de desempenhar essa tarefa, seus custos geralmente são elevados (WANG et al., 2018). Para Kim et al. (2013), isso evidencia a necessidade de intensificar a exploração de dispositivos alternativos de baixo custo que possam fornecer uma experiência segura com interações satisfatórias.

Diante desse contexto, nota-se a relevância do presente trabalho, que busca traçar novas perspectivas para a capacitação de gestores de obras utilizando recursos de realidade virtual e jogos. Desse modo, tem-se a intenção de fomentar o desenvolvimento de novos recursos do gênero que contribuam para capacitações relacionadas à gestão da segurança na construção civil, promovendo ações competentes que visem à manutenção de um ambiente adequado aos operários.

1.3 OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo geral **propor diretrizes para o desenvolvimento de recursos baseados em jogos e na tecnologia da realidade virtual para a capacitação de gestores da construção civil, no que diz respeito à percepção e formas de mitigação de riscos presentes no canteiro de obra.**

Para que esse objetivo geral seja alcançado, entende-se que é necessário atender aos seguintes objetivos específicos:

- a) identificar as principais dificuldades de estudos anteriores no desenvolvimento de capacitações em segurança do trabalho de gestores da construção civil a partir do uso de estratégias baseadas em jogos e da tecnologia da realidade virtual;
- b) desenvolver um recurso de simulação baseado no uso associado de estratégias relacionadas ao universo dos jogos e da tecnologia da realidade virtual para a capacitação de gestores da construção civil no que diz respeito à percepção e formas de mitigação de riscos presentes no seu ambiente de trabalho;
- c) reconhecer quais características do recurso desenvolvido a partir do uso de estratégias baseadas em jogos e realidade virtual foram importantes para a capacitação do usuário em relação à percepção e formas de mitigação de riscos presentes no canteiro de obra.

1.4 QUESTÕES DE PESQUISA

As questões que motivam a realização deste estudo são consonantes com a problemática apresentada na seção 1.2 e com os objetivos propostos na seção 1.3 deste trabalho. Assim, de modo geral, deseja-se responder ao seguinte questionamento: *como desenvolver recursos baseados em estratégias associadas ao universo dos jogos e na tecnologia da realidade virtual de modo que eles possam contribuir para a capacitação de gestores da construção civil, no que diz respeito à percepção e mitigação de riscos no seu ambiente de trabalho?*

Como desdobramentos dessa indagação, entende-se que também é imperativo questionar as principais dificuldades já existentes no uso conjugado das

estratégias de jogos e da realidade virtual para a capacitação de gestores de obras. Desse modo, é possível entender o que precisa ser aperfeiçoado para que se maximize a capacitação de usuários que utilizem desses recursos para esse propósito. Em síntese, tem-se a seguinte questão: *quais as principais dificuldades no uso conjugado da tecnologia de realidade virtual e das estratégias baseadas em jogos para capacitação de gestores, em relação ao reconhecimento e mitigação de riscos em canteiros de obras da construção civil?*

O entendimento da questão anterior gera outro questionamento que motiva a realização deste estudo e expõe sua relevância nesse contexto. Assim, em vista das dificuldades relacionadas ao uso de realidade virtual e estratégias de jogos para a capacitação de gestores de obras da construção civil, questiona-se: *quais premissas devem ser consideradas no desenvolvimento de recursos baseados em estratégias do universo dos jogos e na tecnologia da realidade virtual, de modo que eles sejam úteis para promover capacitação de gestores de obras, no que diz respeito a perceber e mitigar riscos presentes no ambiente de trabalho?*

1.5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Do ponto de vista da tecnologia utilizada, essa pesquisa se limita à exploração de realidade virtual imersiva e não imersiva de baixo custo de aquisição. Nesse sentido, o simulador desenvolvido não foi adaptado para ser utilizado com recursos de rastreamento háptico do usuário e demais recursos complexos de interação característicos de sistemas de realidade virtual caros.

No que se refere à capacitação, as diretrizes e o simulador discutidos neste trabalho têm seu foco direcionado aos gestores de obras e suas intrínsecas capacidades de identificar riscos no ambiente de trabalho e estabelecer medidas preventivas e mitigadoras eficazes. Nesse sentido, não se explora a capacitação de outros profissionais presentes no canteiro de obra, como os operários. As demais competências dos gestores de obras em relação à gestão da segurança do ambiente de trabalho também não são diretamente abordadas.

2 O PAPEL DO GESTOR NA GESTÃO DA SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Devido à natureza dinâmica e complexa de seus processos produtivos, a indústria da construção civil é vista como um dos ambientes de trabalho mais perigosos existentes (ANDOLFO; SADEGHPOUR, 2015). Em decorrência disso, é essencial que sejam considerados adequadamente os riscos inerentes à realização das atividades do setor, especialmente aqueles relacionados à ocorrência de acidentes e doenças ocupacionais. Nesse contexto, os gestores de obras da construção civil exercem um papel essencial, desenvolvendo e implementando medidas para garantir condições adequadas para que os operários exerçam suas atividades diárias (GUNDUZ; LAITINEN, 2018).

Assim, para situar adequadamente o leitor a respeito do papel exercido pelos gestores de obras na gestão da saúde e segurança dos trabalhadores da construção civil, o presente capítulo apresentará os principais riscos de acidentes e doenças ocupacionais presentes nesse ambiente de trabalho. Também serão detalhadas recomendações para a gestão segura de obras a partir da ótica da gestão de competências e das normativas brasileiras. Destaca-se que o enfoque dado às reflexões apresentadas ao longo desse capítulo busca apresentar informações ao leitor que sejam úteis e relevantes para a compreensão do estudo relatado neste trabalho, sem a pretensão de esgotar as vastas e complexas discussões sobre o tema relatadas no meio científico.

2.1 RISCOS, ACIDENTES E DOENÇAS OCUPACIONAIS

A intensa ocorrência de acidentes e doenças ocupacionais é um dos grandes desafios enfrentados na atualidade. No Brasil, por exemplo, país que ocupa a quarta posição no *ranking* mundial de acidentes de trabalho (MPT, 2018), foram registrados de 2012 a 2017 aproximadamente 4 milhões de ocorrências, sendo que cerca de 15 mil resultaram em mortes (MPT, 2019). A indústria da construção civil exerce um papel importante nesse contexto, uma vez que figura como a quarta atividade econômica com maior número de acidentes de trabalho registrados no Brasil no período de 2012 a 2017 (MPT, 2019).

Entretanto, de acordo com Silveira et al. (2005), essas estatísticas subestimam a realidade encontrada no país, uma vez que diversas ocorrências não são notificadas oficialmente e, por isso, não são contabilizadas nesses índices. As referidas autoras afirmam que isso ocorre devido à dinâmica das leis brasileiras, que implicam em diversas sanções às empresas quando ocorrem acidentes de trabalho. Além disso, uma substancial parcela dos trabalhadores não está oficialmente registrada em suas atividades laborais, o que impossibilita que eventos ocorridos com esses profissionais sejam devidamente notificados.

2.1.1 Conceitos Básicos

A ocorrência de situações inadequadas à segurança e saúde dos trabalhadores pode resultar em consequências indesejadas, como acidentes, quase-acidentes ou doenças ocupacionais. Os quase-acidentes, também conhecidos como incidentes, são eventos com potencial para provocar lesões e danos materiais, mas que felizmente acabam não se concretizando (SAURIN; RIBEIRO, 2000). Já no caso dos acidentes, esses prejuízos de fato ocorrem, como morte, lesão corporal, perturbação funcional, perda da capacidade de trabalhar (temporária ou permanente) e redução da capacidade de trabalhar (temporária ou permanente) (CBIC, 2017). As doenças ocupacionais, assim como os acidentes de trabalho, resultam de eventos que acarretam prejuízos para os trabalhadores e para a empresa. Contudo, as doenças se referem a danos à saúde física e mental dos trabalhadores, enquanto que os acidentes possuem enfoque maior a lesões traumáticas sofridas por eles no exercício de suas atividades (HOŁA et al., 2017).

Os acidentes, quase-acidentes e doenças ocupacionais são consequência da presença de trabalhadores em situações inseguras em seu ambiente de trabalho. Nessas situações, identificam-se diversos agentes que, devido às suas naturezas, concentrações, intensidades ou tempo de exposição, são capazes de causar danos à saúde dos trabalhadores. Esses agentes são denominados riscos (BRASIL, 2017). A Norma Regulamentadora (NR) 9, instrumento legislativo brasileiro que aborda a temática de riscos ocupacionais, cita diversos exemplos de riscos ambientais aos quais os trabalhadores estão expostos. Existem riscos classificados como físicos, como ruídos, pressões anormais e temperaturas extremas. Além destes, também são recorrentes os riscos químicos, como poeira, gases ou outras substâncias que

possam penetrar no organismo e prejudicá-lo. Por fim, a normativa cita também riscos de origem biológica, como bactérias, fungos e parasitas (BRASIL, 2017). A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) também alerta para a existência de riscos de natureza ergonômica, como trabalhos repetitivos, posturas inadequadas por longa duração e esforços físicos intensos (CBIC, 2017).

Especialmente para a rotina de trabalho da construção civil, Albert et al. (2014) desenvolveram outra categorização para caracterizar os riscos aos quais os trabalhadores estão sujeitos. Para esses autores, os acidentes, quase-acidentes e doenças ocupacionais resultam da exposição dos trabalhadores às fontes de energia nocivas presentes no ambiente de trabalho. Assim, torna-se válido classificar os riscos existentes a partir do tipo de energia ao qual o operário possa estar exposto, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação de riscos associados à construção civil segundo a fonte de energia geradora

Fonte de energia	Exemplos
Gravitacionais	Força causada pela atração de todas as massas para a massa da Terra. Exemplos: objetos em queda livre, tetos em colapso, corpos em queda livre.
Movimento	Mudança na posição de objetos ou substâncias. Exemplos: veículos, recipientes ou equipamentos em movimento, fluxos de água, ventos, reposicionamento do corpo (levantamento, esforço, encurvamento).
Mecânico	Energia dos componentes de um sistema mecânico, como na rotação, vibração ou movimento em relação a uma outra peça estacionária. Exemplos: equipamentos em rotação, molas comprimidas, correias de transmissão, transportadores e motores.
Elétrico	Presença e fluxo de descarga elétrica. Exemplos: linhas de energia, transformadores, cargas estáticas, raios, equipamentos energizados, fiação, baterias.
Pressão	Energia aplicada por um líquido ou gás que foi comprimido ou está no vácuo. Exemplos: tubulações pressurizadas, cilindros de gás comprimido, linhas de controle, recipientes, tanques, mangueiras, equipamentos pneumáticos e hidráulicos.

Quadro 1 – Classificação de riscos associados à construção civil segundo a fonte de energia geradora (continuação)

Fonte de energia	Exemplos
Térmicos	Medida de diferenças nas energias térmicas de objetos ou ambientes, em que o corpo humano se sente aquecido ou resfriado. Exemplos: chamas acesas e fontes de ignição, superfícies, líquidos ou gases quentes ou frios, fricção, mudanças extremas nas condições ambientais, vapor.
Químicos	Energia presente nas substâncias químicas que tem o potencial de criar danos físicos ou de saúde (em geral) a pessoas, equipamentos ou ao meio ambiente. Exemplos: vapores inflamáveis, elementos radioativos, carcinogênicos, tóxicos, corrosivos, combustíveis, pirofóricos, gases inertes, vapores de soldagem e poeira.
Biológicos	Organismos vivos que representam ameaça. Exemplos: animais, bactérias, vírus, insetos, patogênicos sanguíneos, manuseio inadequado de alimentos, água contaminada.
Radioativos	Energia transmitida por fontes ou elementos radioativos. Exemplos: dispositivos de iluminação, arcos de solda, raio-X, raios solares, micro-ondas, ocorrência natural de material radioativo.
Sonoros	Som que é produzido quando uma força faz com que um objeto ou substância vibre, transferindo energia através de ondas. Exemplos: barulho de impactos, vibrações, alívio de alta pressão, barulhos de equipamentos.

Fonte: adaptado de Albert et al. (2014, p. 4)

No arcabouço de conceitos relacionados à temática dos riscos, existem ainda outros conceitos similares. Hoła et al. (2017), por exemplo, adotam as terminologias “fatores causadores de acidentes” e “fatores causadores de doenças”¹ para denominar atividades materiais e não-materiais que direta ou indiretamente afetem os trabalhadores. A *Occupational Health and Safety Assessment Series (OHSAS) 18001:2007*, normativa internacional relacionada aos sistemas de gestão da saúde e segurança ocupacional, também apresenta a definição de perigos, caracterizados por circunstâncias em que haja potencial de causar danos à saúde humana. Segundo essa normativa, há uma diferença sutil entre o conceito anterior e a

¹ Tradução nossa.

definição de riscos, descritos como sendo a combinação da probabilidade de ocorrência ou exposição a eventos perigosos e a severidade dos danos que poderiam ser causados por conta dessa ocorrência ou exposição (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 2007). Para esclarecer ao leitor a diferença entre riscos e perigos, Saurin (2002, p. 50) utiliza o seguinte exemplo:

[...] o transporte rodoviário de uma carga inflamável ou tóxica, por exemplo, é uma atividade inerentemente perigosa, sendo que o risco envolvido é entendido e expresso em termos da probabilidade de ocorrência de um acidente e de suas consequências quantificáveis.

De acordo com Saurin (2002), a distinção entre perigos e riscos é mais relevante quando abordagens quantitativas são necessárias, uma vez que os riscos resultam da mensuração das probabilidades e impactos dos perigos. Esse não é o caso deste trabalho. Assim, em vista da pluralidade de termos com conceitos similares, caracterizados por diferenças sutis que não interferirão substancialmente na compreensão deste trabalho, utilizar-se-á no decorrer deste estudo, tal qual Saurin (2002), o termo **risco** de modo genérico para se referir ao arcabouço de definições relacionadas a esse tema.

2.1.2 Panorama dos Acidentes de Trabalho na Construção Civil

O canteiro de obras é propício a apresentar riscos, independentemente da natureza e porte da obra em desenvolvimento (CBIC, 2017). Isso se deve principalmente à natureza complexa dos processos produtivos desenvolvidos no setor (BHATTACHARJEE; GHOSH; YOUNG-CORBETT, 2011), envolvendo diversas interações entre trabalhadores e recursos materiais (GUO; LI; LI, 2013). Ademais, os operários da construção civil frequentemente laboram em condições adversas, em ambientes sujos, barulhentos, carentes de iluminação e ventilação natural (EAVES; GYI; GIBB, 2016), executando atividades em posições pouco ergonômicas e que exigem grande esforço físico, como tarefas repetitivas e levantamento de cargas pesadas (NATH; AKHAVIAN; BEHZADAN, 2017).

Comparada a outras indústrias, a construção civil está exposta a condições consideradas mais intensas e adversas aos trabalhadores (NATH; AKHAVIAN; BEHZADAN, 2017). As equipes de trabalho são transientes, a infraestrutura física do ambiente de trabalho muda constantemente e está exposta às intempéries.

Ademais, os trabalhadores são frequentemente expostos a perigos proporcionados pela ação de outros trabalhadores (SACKS; ROZENFELD; ROSENFELD, 2009).

Em vista dessas circunstâncias, a dinâmica produtiva da construção civil é considerada demasiadamente abstrata, dinâmica e massiva. Em decorrência disso, os projetos e documentos técnicos da obra não são capazes de contemplar todas as particularidades do processo produtivo, especialmente pelo fato de que ocorrem frequentes mudanças nos planos da obra que muitas vezes não são atualizadas nesses materiais. Conseqüentemente, o modo tradicionalmente utilizado para realizar o planejamento das medidas de segurança do canteiro de obras, a partir da análise desses projetos e documentos, torna-se pouco intuitivo e ineficiente (GUO; YU; SKITMORE, 2017; ZHANG et al., 2015).

Nesse cenário, a ocorrência de acidentes de trabalho e doenças ocupacionais é facilitada, sendo relatados eventos de diversos tipos. A seguir, discorre-se a respeito dos acidentes mais frequentes na construção civil, a saber: quedas de diferença de nível, soterramentos e contatos com eletricidade (CBIC, 2017). No Anexo A deste trabalho, também são detalhados outros acidentes menos frequentes. Ressalta-se que as reflexões apresentadas a seguir buscam apresentar as circunstâncias em que esses acidentes ocorrem, e não suas causas propriamente ditas. Como será devidamente discutido na seção 2.2 deste trabalho, a identificação de todas as causas desses eventos é bastante complexa, sendo que diversos autores consideram ineficiente e equivocado realizar a análise dos acidentes unicamente a partir de relações causa-efeito.

As quedas de diferença de nível são eventos em que, devido a comportamentos inseguros dos trabalhadores ou à carência de medidas preventivas adequadas, sofre-se conseqüências em decorrência da ação da gravidade (CBIC, 2017). São inúmeras as situações em que o risco de queda se encontra presente, como, por exemplo, em periferias de lajes e outros elementos sem proteção, furos e vãos desprotegidos, escadas e andaimes fixados de forma inadequada, plataformas improvisadas, telhados e coberturas (CBIC, 2017; PERLMAN; SACKS; BARAK, 2014). No levantamento realizado por Ale et al. (2008) em acidentes ocorridos na Holanda entre 1998 e 2004, foram identificadas 31 mortes de trabalhadores por conta da queda de telhados, pavimentos ou plataformas. Em vários desses casos, as proteções contra queda haviam sido removidas, instaladas de modo inapropriado ou sequer haviam sido instaladas. Outra situação recorrente foi o colapso do piso ou

plataforma em que os acidentados se situavam, que não haviam sido projetados para suportar o peso de uma pessoa.

Já no caso dos soterramentos, Perlman, Sacks e Barak (2014) alertam para a recorrência de casos em que estruturas de contenção são impróprias para a situação e colapsam, de modo que o elemento contido por elas desmorona sobre os trabalhadores presentes. É comum a incidência desse tipo de evento em escavações e aberturas de poços e valas (CBIC, 2017).

O contato com elementos energizados é um tipo de acidente com altos índices de fatalidade. Ademais, os choques elétricos podem causar formigamentos, paradas cardíacas, queimaduras e hemorragias. De modo geral, ocorrem em contatos inadvertidos de trabalhadores com partes vivas de instalações elétricas e componentes metálicos acidentalmente energizados, como na exposição a quadros de eletricidade e a cabos de extensão elétrica danificados (CBIC, 2017; PERLMAN; SACKS; BARAK, 2014).

2.2 GESTÃO DA SEGURANÇA EM CANTEIROS DE OBRAS

Em vista dos recorrentes relatos de acidentes e doenças ocupacionais ocorridos na indústria da construção civil, é evidente a importância de se estabelecer medidas adequadas relacionadas à gestão da segurança e saúde do trabalho nos canteiros de obras. Sobre o tema, citam-se os seguintes preceitos a serem seguidos (CBIC, 2017):

- a) estabelecimento de uma política sobre segurança e saúde do trabalho, detalhando metas, planos de ação e de avaliação do desempenho alcançado;
- b) designação de responsáveis pela execução de cada ação planejada;
- c) divulgação ampla de todas as ações desenvolvidas no que tange à saúde e segurança do trabalho, provendo transparência aos trabalhadores e à comunidade em geral em relação às decisões tomadas pela empresa;
- d) incentivo à participação de todos os trabalhadores da empresa no processo de tomada de decisões referentes à gestão da segurança do ambiente de trabalho;
- e) registro de todas as ações, reuniões e demais documentos produzidos pertinentes à saúde e segurança do ambiente de trabalho.

Nesse contexto, a identificação e o gerenciamento dos riscos presentes no canteiro de obras são procedimentos de grande importância e relevância, uma vez que, para que seja possível seguir os preceitos supracitados, é necessário reconhecer a que condições inseguras o trabalhador possa estar sujeito (GUNDUZ; LAITINEN, 2018). De modo geral, esse processo de gestão de riscos se desenvolve a partir da identificação das atividades a serem desenvolvidas ao longo de toda a execução da obra, sendo essas informações obtidas a partir do cronograma de execução do empreendimento. Em seguida, são identificadas as condições que proporcionam riscos aos trabalhadores, sendo planejadas ações corretivas para sua eliminação, mitigação ou controle (ZHANG et al., 2015).

Contudo, esses procedimentos tradicionais de identificação de riscos no ambiente em construção encontram diversos desafios. Como já discutido, as particularidades dos processos produtivos na construção civil impedem que os projetos e documentos técnicos relacionados à obra sejam fontes suficientes de informações. Muitos riscos ocupacionais não são devidamente representados nesses documentos e, conseqüentemente, dificilmente são detectados a partir da análise desse material, mesmo por especialistas (ZHANG et al., 2015). Outro desafio diz respeito à capacidade dos profissionais para identificar riscos. A habilidade de reconhecer riscos consiste em conhecimento tácito (ALBERT et al., 2014), de modo que a destreza e a experiência de cada profissional nesse assunto são bastante variáveis (YANG et al., 2017).

Uma vez identificados os riscos presentes no ambiente de trabalho, é importante avaliar sua gravidade. Um dos métodos mais reconhecidos nesse assunto é apresentado na norma britânica *British Standards* (BS) 8800, em que se estima um nível para o risco analisado a partir da consideração da severidade e probabilidade de que ele de fato resulte na ocorrência de acidentes e doenças ocupacionais (CBIC, 2017).

Contudo, Gunduz e Laitinen (2018) argumentam que é difícil estimar com precisão a probabilidade de ocorrência de acidentes e doenças ocupacionais a partir da exposição do trabalhador a um determinado risco. Assim, esses autores sugerem uma modificação no método anterior, de modo que devem ser consideradas a severidade do risco e uma avaliação qualitativa sobre como os meios de controle já estabelecidos para lidar com o risco em questão obedecem às normativas vigentes e boas práticas relatadas em situações similares, como apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Matriz de avaliação de riscos

Situação atual das medidas de prevenção e controle	Severidade de possíveis acidentes e doenças resultantes do risco		
	1. Leve	2. Sério	3. Grave
1. Controle é suficiente; nenhum problema surgiu	1. Risco é insignificante.	2. Risco leve. Mantenha a situação em observação.	2. Risco pequeno. Assegure-se de que os problemas se mantenham sob controle.
2. É necessário melhorias; problemas surgiram	2. Risco pequeno. Mantenha a situação em observação, desenvolvendo medidas corretivas de simples execução.	3. Risco médio. Planeje e execute as medidas cabíveis.	4. Risco alto. Planeje e execute as medidas cabíveis rapidamente.
3. É emergente a necessidade de melhorias; problemas são frequentes	3. Risco médio. Planeje e execute as medidas cabíveis.	4. Risco alto. Planeje e execute as medidas cabíveis rapidamente.	5. Risco grave. Planeje e execute as medidas cabíveis imediatamente.

Fonte: adaptado de Gunduz e Laitinen (2018, p. 15)

Como já discutido, o reconhecimento de riscos no canteiro de obras é substancialmente dependente da experiência dos profissionais responsáveis. Nesse sentido, nota-se a importância de entender as razões pelas quais acidentes passados ocorreram, para que seja possível aprender com essas experiências. No entanto, não há um consenso no meio científico sobre como realizar essa análise. Hollnagel (2003) afirma que as principais técnicas recaem em três principais modelos para explicar a ocorrência de acidentes, sobre os quais esse autor faz as seguintes considerações:

- a) modelo sequencial de acidentes: sugere que os acidentes resultam de uma sequência de eventos bem definida. É possível estabelecer um conjunto de causas para a ocorrência desses eventos, sendo necessária a sua eliminação para que sejam garantidas as condições adequadas de trabalho. Um exemplo bastante conhecido é o modelo Dominó de Heinrich (1931, apud HOLLNAGEL, 2003, p. 100), que descreve os acidentes como um conjunto de peças de dominó que caem por causa de um único evento

iniciador. Contudo, o modelo sequencial de acidentes é duramente criticado por muitos autores, sendo considerado demasiadamente simplista para explicar a ocorrência de acidentes;

- b) modelo epidemiológico de acidentes: o acidente é descrito em analogia às doenças, como resultado de uma combinação de fatores que acontecem em conjunto no espaço e no tempo. Segundo esse modelo, é difícil encontrar uma causa-raiz específica para cada acidente. A prevenção de acidentes é desenvolvida a partir da construção de barreiras que dificultam a ocorrência de desvios em relação ao que foi planejado para acontecer na rotina de trabalho;
- c) modelo sistêmico de acidentes: descrevem os acidentes como resultados de interações complexas e coincidências decorrentes da variabilidade natural do desempenho do sistema. Nesse sentido, o modelo sistêmico se contrapõe ao modelo sequencial, uma vez que entende que os acidentes não podem ser simplesmente explicados por relações de causa-efeito, sendo inadequado prevenir acidentes meramente encontrando e eliminando causas-raiz. O modelo sistêmico também se contrapõe ao modelo epidemiológico, à medida que assume a existência de uma variabilidade natural do sistema, de modo que não é possível simplesmente eliminar os desvios em relação ao que foi planejado para prevenir acidentes. Ademais, a variabilidade do sistema pode trazer consequências positivas relacionadas à inovação das atividades produtivas. Assim, entende-se que é necessário que o sistema tenha capacidade de lidar com as consequências de eventos imprevistos e rapidamente aprender com essa experiência.

2.2.1 Normativas Brasileiras

Devido às suas peculiaridades, a indústria brasileira da construção civil possui uma normativa específica do Ministério do Trabalho para reger aspectos relacionados à segurança e saúde do trabalho no setor, a NR 18 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção (BRASIL, 2018c). Contudo, outras normas brasileiras também regulamentam aspectos que interferem em atividades inerentes à construção, como as NRs 4, 5, 6, 7, 9, 33, 35 (BRASIL, 2011,

2012, 2016a, 2016b, 2017, 2018a, 2018b), entre muitas outras. Neste trabalho, serão discutidas apenas as recomendações normativas consideradas relevantes para o entendimento deste estudo.

O Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho (SESMT) é discutido na NR 4. Consiste na exigência da contratação de profissionais especializados no tema em determinadas situações relacionadas ao porte e à periculosidade das atividades desenvolvidas pela empresa (BRASIL, 2016a). Na NR 9, é estabelecido o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), que consiste em um plano específico para análise e prevenção de agentes de riscos de natureza física, química e biológica (BRASIL, 2017).

O Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO), discutido na NR 7 (BRASIL, 2018b), visa estabelecer ações preventivas, corretivas e de análise e rastreamento para acompanhar a saúde dos trabalhadores, orientando para a realização de exames admissionais, periódicos e demissionais dos operários (SILVEIRA et al., 2005). É considerado um complemento ao PPRA pois, ao passo que o PPRA abrange a prevenção de riscos ambientais no local de trabalho, o PCMSO detalha os cuidados necessários aos trabalhadores que laboram nesse local (CBIC, 2017).

Na NR 18, discute-se, entre outros assuntos, a criação das Comissões Internas de Prevenção de Acidentes (CIPAs). A CIPA deve auxiliar o empregador a prevenir a ocorrência de acidentes e doenças ocupacionais, tomando decisões a respeito da organização e das condições de higiene e conforto do ambiente de trabalho (BRASIL, 2018c).

Outro tema pertinente à NR 18 é o desenvolvimento do Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção (PCMAT). Obrigatório para canteiros de obras com 20 ou mais trabalhadores, o PCMAT visa planejar as ações de segurança a serem adotadas em cada fase do processo construtivo. Para isso, deve ser elaborado um memorial detalhado de todos os riscos presentes no canteiro, especificando também as proteções (individuais e coletivas) a serem utilizadas, *layouts* das áreas de vivência, programas de treinamento e cronograma de todas as ações previstas (BRASIL, 2018c; CBIC, 2017; SILVEIRA et al., 2005).

Ainda que existam diversos instrumentos definidos nas normativas brasileiras para a gestão da segurança dos canteiros de obras, muitos autores defendem que

esses recursos são insuficientes. Para Saurin e Ribeiro (2000), as normas brasileiras são demasiadamente focadas em medidas relacionadas às instalações físicas de segurança e deixam de exigir medidas preventivas mais amplas para lidar com os riscos presentes no canteiro de obras. Saurin, Formoso e Guimarães (2004) afirmam que no caso do PCMAT, por exemplo, não há o devido comprometimento das empresas para sua elaboração, sendo que muitas corporações o produzem simplesmente para evitar sanções legais e não o utilizam como um mecanismo estratégico para a gestão da segurança do ambiente de trabalho.

2.2.2 Gestão de Competências e o Papel do Gestor de Obra

Diferentes profissionais estão envolvidos no processo de tomada de decisões relativas à segurança do trabalho no canteiro de obra, assumindo, em maior ou menor grau, responsabilidades relacionadas à gestão da segurança desse ambiente. No Brasil, a NR 4 (BRASIL, 2016a) que, como apresentado anteriormente, orienta sobre a criação do SESMT, estabelece que pode ser necessária, por exemplo, a presença de engenheiros e técnicos de segurança do trabalho, além de médicos, enfermeiros e técnicos de enfermagem especializados no assunto.

O papel exercido pelos técnicos de segurança do trabalho na gestão da segurança dos canteiros de obras é bastante similar ao do engenheiro de segurança, diferenciando-se por atuar em um nível mais operacional (SIENGE, 2016). Dessa forma, o engenheiro de segurança atua principalmente no planejamento e na tomada de decisões, enquanto o técnico de segurança tem seus esforços direcionados a garantir que as decisões tomadas sejam de fato implementadas. Porém, ambos têm grande influência nas decisões relativas à segurança que são tomadas ao longo do processo produtivo (SIENGE, 2016).

Outros profissionais que têm papel fundamental na gestão da segurança na construção civil são os engenheiros encarregados da gestão da execução do empreendimento. Principais responsáveis pelo estabelecimento de medidas para garantir o adequado andamento do processo produtivo, esses profissionais conhecem detalhes sobre a rotina de trabalho e sobre a produção que são essenciais para a identificação de riscos, contribuindo para o desenvolvimento e implementação de ações preventivas (GUNDUZ; LAITINEN, 2018). Os gestores da produção também são protagonistas no estabelecimento de medidas de segurança

no ambiente de trabalho por conta de sua presença ativa nas etapas de concepção e projeto da obra (BHATTACHARJEE; GHOSH; YOUNG-CORBETT, 2011). Para esses autores, é nesse momento em que mais se tem possibilidade de influenciar na adoção de um ambiente de trabalho seguro e adequado, por meio da identificação e mitigação dos principais riscos existentes.

A literatura aponta que existem conflitos na atuação desses profissionais, principalmente pela divergência de prioridades (FONSECA; LIMA; DUARTE, 2011; ZHANG et al., 2018). De acordo com Zhang et al. (2018), a competitividade do mercado muitas vezes compele os gestores de produção a ignorar preocupações relativas à segurança e qualidade para atenderem às metas de produção, o que tem um impacto negativo na gestão da segurança do trabalho. Para Fonseca, Lima e Duarte (2011), em muitos casos parece não haver uma adequada integração entre segurança e produção.

Apesar das críticas apontadas na literatura, entende-se que, para que a percepção e o estabelecimento de medidas para mitigação de riscos sejam executados de forma competente (foco deste trabalho), os profissionais citados anteriormente precisam atuar em conjunto. Assim, todos possuem um papel fundamental nesse contexto. Por essa razão, o uso da expressão **gestor(es) de obras**, no contexto deste trabalho, relacionado à gestão da segurança ocupacional, refere-se aos engenheiros gestores de produção, engenheiros e técnicos de segurança, além de quaisquer outros profissionais que participem ativamente da tomada de decisões relativas à segurança dos canteiros de obras.

No início desta subseção, foram apresentadas, de forma superficial, as principais responsabilidades de diversos profissionais presentes no canteiro de obras. Contudo, para a adequada gestão da segurança desse ambiente de trabalho, é necessário que esses profissionais tenham a devida habilidade para lidar com as circunstâncias inesperadas inerentes ao seu trabalho e às suas responsabilidades (SACKS; PERLMAN; BARAK, 2013). Nesse contexto, observa-se a relevância do conceito de **gestão de competências**, definidas como como uma série de disposições cognitivas necessárias para responder adequadamente às demandas de situações ou tarefas em um contexto específico (HERPPICH et al., 2018; KOEPPEN et al., 2008; SAMPSON; FYTROS, 2008).

A noção de competências transcende a simples ideia de um conjunto de qualificações que um indivíduo detenha (BRANDÃO; GUIMARÃES, 2001). É

necessário também se adaptar à situação que se enfrenta, mobilizando e aplicando adequadamente tais qualificações a um contexto específico (BRANDÃO; GUIMARÃES, 2001; RUAS, 2005). Nesse sentido, o conceito de competências se torna bastante relevante em situações pouco previsíveis em que, de fato, a capacidade do indivíduo de se adaptar a elas se torna fundamental (RUAS, 2005).

Sampson e Fytros (2008) afirmam que as competências estão relacionadas a três dimensões. A primeira, segundo esses autores, refere-se às características pessoais do indivíduo, em especial: conhecimento, habilidade e atitude. Outros autores denominam essas características pessoais como capacidades (RUAS, 2005) ou *competency*² (MIRANDA et al., 2017). Para Miranda et al. (2017), *competency* se refere a uma parte observável e mensurável das competências, como uma habilidade, um tópico de conhecimento ou uma atitude.

A segunda dimensão diz respeito ao nível de proficiência do indivíduo, ou seja, o desempenho demonstrado pelo indivíduo ao necessitar aplicar certa competência. A última dimensão, por sua vez, faz alusão ao contexto em que a competência é aplicada, relacionada à função, situação ou tarefa específica a qual o indivíduo é submetido (SAMPSON; FYTROS, 2008).

Competências podem ser desenvolvidas por meio de intervenções, em que o indivíduo seja obrigado a enfrentar situações relevantes para a aplicação da competência (HERPPICH et al., 2018). Para isso, Brandão e Bahry (2005) orientam que um passo importante é realizar um mapeamento das competências necessárias para a função que cada profissional exerce. Segundo Brandão e Bahry (2005, p. 183),

A descrição de uma competência, portanto, deve representar um desempenho ou comportamento esperado, indicando o que o profissional deve ser capaz de fazer. Esse comportamento deve ser descrito utilizando-se um verbo e um objetivo de ação. A ele pode ser acrescido, sempre que possível e conveniente, uma condição na qual se espera que o desempenho ocorra. Pode incluir, ainda, um critério que indique um padrão de qualidade considerado satisfatório.

Diversas competências são necessárias aos gestores de obras da construção civil, no contexto da gestão da segurança do trabalho. No Quadro 3, apresenta-se uma síntese das principais competências requeridas desses profissionais, segundo apontamentos da literatura.

² Utilizou-se o termo em inglês, nesse caso, por se entender que realizar sua tradução para o português acarretaria perda de significado, uma vez que a tradução literal de "*competency*" para o português é "competência". O que se enfatiza, no decorrer do texto, é que "*competency*" não é sinônimo de "competência", sendo entendida como uma de suas dimensões.

Quadro 3 – Competências de gestores de obras relacionadas à segurança do trabalho

ID	Competências necessárias aos gestores	Referências
1	Identificar riscos inerentes ao processo produtivo de modo eficiente, em momento preliminar à real exposição a esses riscos	(BADEA et al., 2015; BRASIL, 2011; 2016a; BUILDIN, 2019; GOLDENHAR; SCHWATKA; JOHNSON, 2019; GRILL; NIELSEN, 2019; SIENGE, 2016)
2	Estabelecer medidas eficazes para prevenção de eventos de acidentes, quase-acidentes e doenças ocupacionais	(BADEA et al., 2015; BRASIL, 2011; 2016a; BUILDIN, 2019; GOLDENHAR; SCHWATKA; JOHNSON, 2019; GRILL; NIELSEN, 2019; SIENGE, 2016)
3	Planejar o <i>layout</i> físico do ambiente de trabalho de modo a evitar a exposição dos trabalhadores a possíveis riscos	(BUILDIN, 2019; GRILL; NIELSEN, 2019; SIENGE, 2016)
4	Estabelecer planos emergenciais eficazes no caso da ocorrência de acidentes, quase-acidentes e doenças ocupacionais	(BADEA et al., 2015; BRASIL, 2016a; SIENGE, 2016)
5	Disseminar adequadamente todas as informações que possam contribuir para a identificação e controle de uma situação emergencial	(BADEA et al., 2015; BRASIL, 2011; BUILDIN, 2019; SIENGE, 2016)
6	Lidar adequadamente com problemas e com as respostas emocionais próprias e da equipe de trabalho em condições emergenciais e sob pressão	(BADEA et al., 2015; GRILL; NIELSEN, 2019)
7	Manter-se constantemente alerta em relação a riscos que possam surgir na rotina de trabalho, realizando periodicamente inspeções com vistas à identificação de riscos	(BADEA et al., 2015; BRASIL, 2011)
8	Tomar decisões que garantam o bem-estar físico e mental da equipe de trabalho, frente a mudanças de condições, limitações pessoais e possíveis ameaças enfrentadas	(BADEA et al., 2015; BRASIL, 2011; GRILL; NIELSEN, 2019; SIENGE, 2016)
9	Coletar dados sobre eventos ocorridos relativos à segurança ocupacional, em consonância com protocolos e legislações existentes	(BADEA et al., 2015; BRASIL, 2016a; BUILDIN, 2019; SIENGE, 2016)
10	Reportar todas as ameaças não solucionadas às autoridades competentes	(BADEA et al., 2015; BUILDIN, 2019; SIENGE, 2016)

Quadro 3 – Competências de gestores de obras relacionadas à segurança do trabalho (continuação)

ID	Competências necessárias aos gestores	Referências
11	Participar ativamente das ações da CIPA, PPRA, PCMSO e demais programas ou iniciativas existentes que promovam uma cultura de segurança adequada no ambiente de trabalho	(BRASIL, 2011; 2016a; BUILDIN, 2019; SIENGE, 2016)
12	Garantir o cumprimento das normas e medidas estabelecidas no que diz respeito à segurança ocupacional	(BRASIL, 2011; 2016a; BUILDIN, 2019; SIENGE, 2016)
13	Desenvolver constantemente ações educativas sobre segurança ocupacional para a equipe de trabalho	(BRASIL, 2016a; BUILDIN, 2019)
14	Encorajar constantemente a equipe de trabalho a identificar, reportar e eliminar riscos	(GOLDENHAR; SCHWATKA; JOHNSON, 2019; GRILL; NIELSEN, 2019)
15	Ouvir constantemente queixas e sugestões da equipe de trabalho relativos às condições de segurança da rotina laboral	(GOLDENHAR; SCHWATKA; JOHNSON, 2019; GRILL; NIELSEN, 2019)
16	Reconhecer todas as boas práticas adotadas pela equipe de trabalho com vistas ao estabelecimento de um ambiente de trabalho seguro	(GOLDENHAR; SCHWATKA; JOHNSON, 2019; GRILL; NIELSEN, 2019)

Fonte: o próprio autor

Como visto, o presente trabalho lida com a capacitação de gestores no que diz respeito à percepção e formas de mitigação de riscos presentes no canteiro de obra. Por essa razão, ainda que também se notem influências indiretas das demais competências, no decorrer deste estudo será dado maior enfoque ao desenvolvimento das competências 1 e 2 apresentadas no Quadro 3.

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

A ocorrência de quase-acidentes, acidentes e doenças ocupacionais é uma triste realidade da sociedade. Diante desse cenário, é imperativo inovar na adoção de medidas relacionadas à gestão da segurança do trabalho. Nesse contexto, particularmente no setor da construção civil, os engenheiros responsáveis pela

produção, engenheiros e técnicos de segurança e demais profissionais relacionados à gestão da segurança do ambiente de trabalho exercem papel fundamental.

São responsáveis por liderar o desenvolvimento e implementação de diversas medidas para prover segurança às atividades produtivas e são grandes influenciadores da adoção de uma cultura de segurança no ambiente de trabalho. Contudo, muitas vezes esses profissionais não estão devidamente preparados para exercer essas funções de forma competente, sendo imperativo desenvolver novos recursos capazes de contribuir com a sua capacitação.

3 O UNIVERSO DOS JOGOS APLICADO À SEGURANÇA DE CANTEIROS DE OBRAS

Os jogos e as brincadeiras são utilizados pela humanidade para fins de lazer e entretenimento há bastante tempo. Além dessas finalidades clássicas, também passaram a ser utilizados em outras atividades cotidianas, como aquelas relacionadas à educação, saúde, serviços governamentais e inclusive na gestão da segurança do trabalho (MORSCHHEUSER et al., 2018). Assim, para que o leitor melhor compreenda de que forma os jogos podem contribuir com a dinâmica de desenvolvimento da sociedade, o presente capítulo discutirá diversos conceitos e estratégias relacionados a esse universo. Também serão apresentados vários estudos já realizados nessa temática, sendo destacados os benefícios observados em sua utilização, além das barreiras e desafios encontrados.

3.1 HISTÓRICO DO USO DE ESTRATÉGIAS BASEADAS EM JOGOS PARA FINS ALÉM DO ENTRETENIMENTO

A ideia de utilizar jogos e seus elementos para resolver problemas cotidianos não é nova (ZICHERMANN; CUNNINGHAM, 2011). Na década de 1950, a economia mundial passou por mudanças substanciais devido ao fim da Segunda Guerra Mundial. Temas como Engenharia e Matemática assumiram um papel de maior protagonismo na sociedade. Nesse contexto, os jogos passaram a ser entendidos como excelentes ferramentas para a expressão de simulações dos mais variados tipos (DEWINTER; KOCUREK; NICHOLS, 2014).

Mais recentemente, em 2006, os avanços no segmento tecnológico contribuíram para a disseminação de novas modalidades de jogos, de modo que passaram a ser amplamente difundidos em *smartphones* e redes sociais. Consumidos por uma substancial parcela da população, os jogos passaram a ser desenvolvidos em diversos contextos para os quais não costumavam ser tradicionalmente utilizados (JUUL, 2013).

Um exemplo notório é a plataforma *Foursquare*®. Lançada em 2009, trata-se de uma rede social na qual o usuário visualiza a localização de outras pessoas e compartilha a sua própria. Seu diferencial é a existência de um sistema de *ranking* entre os usuários: cada lugar visitado gera uma pontuação. Ao acumular pontos, os

usuários recebem troféus. Adicionalmente, pode-se realizar missões, como visitar um número específico de lugares. Ao completá-las, o usuário ganha medalhas. Essa dinâmica é o que provê o aspecto de jogo à plataforma, ainda que seja aplicada a um contexto raramente ligado ao lazer e ao entretenimento, como a visitação de lugares no mundo real (PANISSI, 2010).

Devido ao sucesso do *Foursquare*®, a ideia de utilizar elementos de jogos em diferentes contextos para motivar e engajar o usuário rapidamente ganhou destaque. Assim, essa estratégia se disseminou em inúmeras aplicações, abrangendo usos para produtividade, finanças, saúde, educação, sustentabilidade e comunicação (DETERDING et al., 2011).

3.2 CONCEITOS E TERMINOLOGIAS COMUMENTE ADOTADAS

Existe uma série de conceitos e terminologias adotadas no meio científico relacionados ao universo dos jogos: *game thinking*, *playful design*, simuladores, jogos sérios, gamificação, entre outros (FRAGA; PEREZ; DAMIN, 2017). A pluralidade de definições tem gerado uma extensa discussão na literatura, uma vez que muitas vezes são utilizados mais de um termo para o mesmo conceito (FRAGA; PEREZ; DAMIN, 2017). Assim, o que se constata é que existe uma miríade de definições paralelas, que competem entre si e muitas vezes se sobrepõem umas às outras (DETERDING et al., 2011).

Para melhor entender as dimensões associadas ao universo dos jogos, é necessário discutir conceitos básicos, como aqueles relacionados às atividades de brincar e jogar. Fraga, Perez e Damin (2017) consultaram diversos estudos científicos publicados sobre o tema, nos quais observaram as seguintes constatações sobre essas atividades:

- a) são livres e, conseqüentemente, não obrigatórias, sendo que perderiam sua capacidade de atrair e divertir caso houvesse obrigatoriedade em sua realização;
- b) apesar de lidar com uma realidade diferente da real, absorvem o jogador intensamente e completamente;
- c) possuem tempo e espaço definidos e limitados, sendo necessário seguir regras para sua realização.

Walther (2003 apud TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006, p. 202) aborda a forma com que o estado de normalidade progride para o estado de jogo no decorrer das atividades de brincar e jogar, e assim estabelece diferenças essenciais entre esses dois conceitos. Segundo o referido autor, a partir da normalidade ocorre inicialmente uma transgressão na qual se restringe o tempo e o espaço, resultando no estado de diversão ou brincadeira. Nesse momento, as regras da normalidade não se aplicam mais necessariamente, dependendo da dinâmica da brincadeira em andamento. Dentro do estado da diversão, pode ocorrer ainda uma nova transgressão, na qual se restringem possibilidades e se cria uma estrutura mais rígida, acarretando no estado de jogo. Nesse contexto, o jogador deve entender as regras do jogo e progredir em sua estrutura. Assim, o estado de jogo tem íntima relação com conceitos como jogabilidade, fases, administração de recursos, regras, estratégias, objetivos e competitividade.

Uma vez entendidos os conceitos de brincar e jogar, é possível discutir definições mais complexas relacionadas ao universo dos jogos. Nesse contexto, um dos conceitos mais abordados pela literatura é a gamificação, do inglês, *gamification*. O termo gamificação tem diferentes significados para diferentes pessoas (ZICHERMANN; CUNNINGHAM, 2011). Uma das definições mais referenciadas na literatura é a de Deterding et al. (2011, p.2, tradução nossa): “o uso de elementos de jogos em contextos não-jogos”. Tendo como base essa mesma ideia, outros autores complementam que esses elementos de jogos devem ser utilizados para envolver e engajar usuários na solução de problemas (ZICHERMANN; CUNNINGHAM, 2011), induzindo comportamentos nas pessoas para que elas se sintam motivadas para realizar certas tarefas (PEDREIRA et al., 2015). Em síntese, entende-se que a gamificação utiliza elementos de jogos para fins que transcendem seu uso esperado como entretenimento (DETERDING et al., 2011).

Contudo, as explicações de alguns autores sobre o fenômeno da gamificação são divergentes. Para Pedreira et al. (2015), a gamificação se apropria de características que tornam os jogos propriamente ditos atraentes e divertidos a seus usuários, provendo uma experiência rica em jogabilidade a contextos não-jogos, como o ambiente de trabalho. Já para Raguze e Silva (2016), a gamificação não está essencialmente associada a arte de jogar. Para esses autores, seu propósito reside em alcançar um determinado objetivo a partir das lições aprendidas

por meio dos jogos, e não em decorrência do ato de jogar propriamente dito. Ao salientar que “para ser gamificação, [...] não pode ter característica de ser jogável e não pode ter o objetivo de diversão”, Fraga, Perez e Damin (2017, p.17) também corroboram com essa perspectiva.

Outra discordância está relacionada ao ambiente em que a gamificação se desenvolve. Para Fraga, Perez e Damin (2017), na gamificação não pode haver um mundo virtual – tudo deve ocorrer no mundo real. Já Deterding et al. (2011) salientam que, apesar de o termo não poder ser limitado às tecnologias digitais, a maioria dos exemplos de gamificação foram desenvolvidos no meio digital.

Fraga, Perez e Damin (2017) analisaram diferentes definições relatadas na literatura relacionadas ao termo gamificação. Os referidos autores observaram que, apesar da pluralidade de perspectivas, essas definições, em geral, concordam que a gamificação envolve a aplicação da ideia de jogos a contextos que não são de jogos, de modo a influenciar o comportamento e a promover a motivação e o engajamento dos envolvidos.

Outro conceito relacionado ao universo dos jogos são os jogos sérios, do inglês *serious games*. Esse termo se refere a um tipo de jogo que possui um valor pedagógico agregado. Possui toda a estrutura de um jogo convencional, mas seu uso resulta em alguma forma de aprendizado (FRAGA; PEREZ; DAMIN, 2017).

A relação existente entre os jogos sérios e a gamificação tem gerado debates no meio científico. Em Fardo (2013), apresenta-se a ideia de que os jogos sérios devam ser considerados um subconjunto do metaconceito de gamificação. Já para outros autores, a gamificação e os jogos sérios são essencialmente diferentes. Ainda que ambos sejam utilizados para fins além do entretenimento, os jogos sérios obedecem a todos os requisitos para serem considerados jogos propriamente ditos, enquanto que os sistemas gamificados simplesmente utilizam alguns elementos de jogos, sem produzir um jogo de fato como produto final (DETERDING et al., 2011; CHITTARO; BUTTUSSI, 2018).

Além dos conceitos já citados, também são encontrados outros termos associados ao universo dos jogos, como simuladores, *game thinking* e *playful design*. Sobre estes, Fraga, Perez e Damin (2017) fazem as seguintes considerações:

- a) simuladores: buscam mimetizar atividades da vida real, utilizando elementos de jogos para fins de treinamento, análises e previsões

diversas. De modo geral, não possuem objetivos definidos nem são caracterizados por jogabilidade, de modo que os jogadores têm total liberdade para controlar o jogo;

- b) *game thinking*: é o uso de abordagens baseadas em jogos para resolver problemas e enriquecer experiências;
- c) *playful design*: ocorre quando, com o propósito de gerar algum tipo de diversão, planeja-se uma experiência inspirada no universo dos jogos, mas sem que ela contenha algo que possa ser concretamente considerado parte de um jogo. A título de exemplo, os autores citam as animações tristes que aparecem em alguns navegadores de *internet* quando a tentativa de acessar uma página resulta em um erro.

Em síntese, como pode ser constatado a partir das discussões apresentadas, não há um consenso na literatura a respeito das definições referentes a cada termo apresentado ou sobre a relação existente entre esses termos. No que tange a esse trabalho, como será melhor discutido nos Capítulos 5 e 6, entende-se que a ferramenta desenvolvida e relatada neste estudo não pode ser caracterizada exclusivamente por quaisquer dos conceitos apresentados. Assim, ao longo deste trabalho, será adotada uma expressão genérica para se referir a essas temáticas: **estratégias baseadas em jogos para fins além do entretenimento**. A expressão é autoexplicativa e abrange características associadas aos conceitos de gamificação, jogos sérios, simuladores, *game thinking*, entre outros. Desse modo, tem-se o intuito de evitar equívocos e imprecisões que poderiam ser gerados a partir da utilização unilateral de qualquer um dos termos apresentados.

3.3 BENEFÍCIOS NO USO DE ESTRATÉGIAS BASEADAS EM JOGOS

Um dos principais setores que tem se beneficiado a partir do uso de técnicas de gamificação é o segmento educacional. Os métodos tradicionais de ensino são alvo de diversas críticas por conta da sua incapacidade de ganhar a atenção dos alunos, uma vez que suas atividades costumam ser repetitivas e entediantes (FREIRE; MADEIRA, 2015). Em disciplinas relacionadas à Segurança do Trabalho, por exemplo, alunos e professores consultados por Paixão et al. (2017) relataram experimentarem grades curriculares excessivamente teóricas. Para esses

entrevistados, é necessário encontrar modos de colocar em prática o conhecimento aprendido em sala de aula. Contudo, a realização de atividades práticas esbarra em problemas de periculosidade, uma vez que desenvolvê-las no ambiente real de trabalho pode oferecer riscos às vidas dos alunos (PAIXÃO et al., 2017).

Assim, é imperativo introduzir novas metodologias no processo de ensino, capazes de prover mais autonomia ao aluno na dinâmica do aprendizado, tornando-o de fato o centro desse processo (PAIXÃO et al., 2017). Nesse contexto, diversos autores acreditam que as estratégias baseadas em jogos para fins além do entretenimento possam contribuir. Para Freire e Madeira (2015), o uso desse recurso estimula a motivação das pessoas, canalizando seu envolvimento na construção do conhecimento. A estrutura de jogo provê uma dinâmica de recompensas diferente dos métodos tradicionais de ensino (DEWINTER; KOCUREK; NICHOLS, 2014), capaz de utilizar os desejos de conquistas e realizações do jogador para o desenvolvimento de novas habilidades (FREIRE; MADEIRA, 2015). Ademais, essa estrutura não provê apenas recompensas, mas também transforma o processo de aprendizado em uma atividade divertida (GARCÍA et al., 2017).

As estratégias baseadas em jogos também podem prever benefícios similares ao treinamento de trabalhadores. O uso desse recurso em capacitações sobre segurança do trabalho, por exemplo, pode trazer consequências tangíveis ao jogador em relação ao efeito causado por uma atitude insegura ou decisão infeliz durante a realização de sua atividade (VIRGENS; FRANÇA, 2016).

Aplicada ao próprio ambiente de trabalho, a estrutura de jogo e competitividade traz diversos benefícios. A principal contribuição está relacionada à melhoria na transparência das informações veiculadas aos operários, provendo maior engajamento, comunicação e interação entre trabalhadores e o plano de trabalho (LEITE et al., 2016). Além disso, a existência de objetivos bem definidos na estrutura dos jogos possibilita uma forma clara de *feedback* (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006), de modo que os trabalhadores podem acompanhar seu desempenho e assim promover mudanças em seus comportamentos (LEITE; COSTA; DURÃO, 2015).

3.4 PRINCÍPIOS E ELEMENTOS ESSENCIAIS PARA O DESENVOLVIMENTO DE JOGOS E ESTRATÉGIAS BASEADAS EM JOGOS PARA FINS ALÉM DO ENTRETENIMENTO

De acordo com Zichermann e Cunningham (2011), o desenvolvimento de jogos tem por base três aspectos: a mecânica, a dinâmica e a estética do jogo. A mecânica do jogo diz respeito aos recursos utilizados para criá-lo, de modo que o desenvolvedor da plataforma possa guiar apropriadamente a experiência do jogador. A título de exemplo, esses autores citam elementos como sistema de pontos e níveis, medalhas, missões e placares. A dinâmica do jogo está associada às interações existentes entre os jogadores e a mecânica do jogo. Por fim, a estética do sistema se refere às sensações proporcionadas ao jogador durante sua interação com o jogo (GARCÍA et al., 2017; ZICHERMANN; CUNNINGHAM, 2011).

De modo geral, os jogos são compostos por uma série de missões que precisam ser realizadas. Essas missões são responsáveis por conduzir o esforço do jogador e são regidas pelas regras do jogo (GARCÍA et al., 2017). As regras moldam o comportamento do jogador em relação à sua interação com o ambiente do jogo, sendo também importantes para ajustar o nível de complexidade das tarefas que precisam ser realizadas (RAGUZE; SILVA, 2016). Os diferentes comportamentos que os jogadores podem assumir frente às regras e missões estabelecem os possíveis perfis de jogadores (GARCÍA et al., 2017). A título de exemplo, esses autores destacam os seguintes perfis:

- a) matadores, que costumam provocar situações dramáticas e se impor a outros jogadores no contexto do jogo;
- b) conquistadores, que gostam de solucionar desafios, impostos pelo jogo ou por eles mesmos;
- c) exploradores, que preferem explorar os detalhes da mecânica do jogo;
- d) socializadores, que podem estar mais interessados em se relacionar com outros jogadores no contexto do jogo do que em jogá-lo propriamente dito.

Diversos elementos são utilizados pelo desenvolvedor para construir o jogo, sendo que é possível associá-los de inúmeras maneiras diferentes para criar uma série de experiências para o jogador (ZICHERMANN; CUNNINGHAM, 2011). A construção da narrativa do jogo ocorre por meio da inclusão de desafios e missões, que direcionam o jogador ao que ele deve realizar. Os desafios devem atrair o

jogador, de modo que ele sempre tenha algo interessante e substancial para completar (PEDREIRA et al., 2015; RAGUZE; SILVA, 2016; ZICHERMANN; CUNNINGHAM, 2011). À medida que o jogador progride na narrativa, ele passa por diferentes níveis desenvolvidos no jogo. Esses níveis podem regular a dificuldade dos desafios ou somente servir como um marco passivo para que o jogador saiba em que momento da narrativa ele se situa (ZICHERMANN; CUNNINGHAM, 2011).

Elementos como pontos, medalhas e conquistas de modo geral são importantes para recompensar o jogador ou fornecer um *feedback* sobre seu próprio progresso. Pontos são recompensas atribuídas após o cumprimento de um certo comportamento (PEDREIRA et al., 2015). Existem diversos tipos de pontos possíveis de serem conferidos, como pontos de experiência, pontos de habilidade, pontos de reputação, entre outros (ZICHERMANN; CUNNINGHAM, 2011). As medalhas, por sua vez, são recursos utilizados para bonificar o jogador após a obtenção de alguma conquista ao longo do jogo, como a conclusão de algum objetivo (RAGUZE; SILVA, 2016; ZICHERMANN; CUNNINGHAM, 2011).

Também são utilizados elementos para fornecer um *feedback* ao jogador em relação à comparação de seu desempenho frente ao de outros jogadores. Nesse sentido, é bastante frequente o uso de placares, que classificam os jogadores a partir de determinados parâmetros, como pontos ou o progresso em relação aos níveis do jogo (PEDREIRA et al., 2015; RAGUZE; SILVA, 2016).

Premiações podem ser fornecidas aos jogadores pelas suas ações, sendo esses benefícios utilizados na narrativa do jogo ou de modo a transcender a esse contexto. As premiações estão intrinsecamente relacionadas aos desejos dos jogadores, classificados por Zichermann e Cunningham (2011) como sendo desejos de *status*, acesso, poder e itens no geral.

As recompensas de *status* estão relacionadas à posição social do jogador em um determinado grupo. Nesse contexto, a premiação pode ser feita por meio das já citadas medalhas, progressão de níveis e ascensão em placares. Os prêmios de acesso dizem respeito a proporcionar uma experiência exclusiva ao jogador, como, por exemplo, o acesso prioritário a algum tipo de conteúdo. Já as recompensas relacionadas ao poder conferem novas funções, responsabilidades e habilidades ao jogador, como promovê-lo à função de moderador da plataforma, por exemplo. Por fim, premiar o jogador com os itens diversos também pode ser um forte incentivo para seu engajamento ao longo do jogo (ZICHERMANN; CUNNINGHAM, 2011).

Como visto, o processo de desenvolvimento de estratégias baseadas em jogos para fins além do entretenimento é bastante complexo, uma vez que existe uma miríade de elementos do universo dos jogos possíveis de serem utilizados, que podem ser combinados de inúmeras formas dependendo do objetivo pretendido. Para facilitar esse processo, Morschheuser et al. (2018) analisaram diversos estudos científicos sobre o tema e consultaram 25 especialistas, de modo que foi possível que os autores propusessem um método detalhado para o desenvolvimento de estratégias baseadas em jogos para fins além do entretenimento. Nesse método, os autores estabelecem sete fases a serem seguidas, discutidas a seguir:

- a) preparação do projeto: é necessário esclarecer os objetivos pretendidos. Também é importante refletir se de fato uma estratégia baseada em jogos é adequada para o contexto em questão;
- b) análise (do contexto e dos usuários): realiza-se uma análise profunda do público-alvo da ferramenta em desenvolvimento. Também é necessário avaliar o contexto em que o recurso será inserido, levantando aspectos sobre a cultura e organização dos potenciais jogadores, limitações tecnológicas, entre outros;
- c) ideação: é realizada a concepção de ideias para o desenvolvimento da ferramenta. Devem ser avaliados quais elementos da mecânica dos jogos serão utilizados e quais os impactos deles na dinâmica e estética pretendida;
- d) projeto: a partir das informações da etapa de ideação, são desenvolvidos os primeiros protótipos para validar as ideias concebidas. Esses protótipos devem ser frequentemente testados, avaliados e melhorados, com vistas ao cumprimento dos objetivos definidos na primeira fase;
- e) implementação do projeto: nesse momento, é realizado um teste mais aprofundado do protótipo desenvolvido, incluindo avaliações com grupos de jogadores potenciais;
- f) avaliação: a ferramenta desenvolvida é investigada para se averiguar o atendimento aos objetivos especificados na primeira fase de seu desenvolvimento;
- g) monitoramento: após o lançamento da ferramenta, é recomendável que se faça seu acompanhamento periódico. São coletados dados para avaliar se

a experiência proporcionada pelo recurso continua satisfatória, e se há alguma irregularidade em seu funcionamento.

3.5 CRÍTICAS À CONCEPÇÃO MODERNA DO DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIAS BASEADAS EM JOGOS E DESAFIOS ENCONTRADOS NOS ESTUDOS JÁ REALIZADOS

Apesar de todos os benefícios discutidos na seção 3.3 deste capítulo, diversos desafios se interpõem à utilização de estratégias baseadas em jogos para fins além do entretenimento. Caso não consideradas adequadamente, essas barreiras podem causar consequências desastrosas. Juul (2013) cita como exemplo a crise financeira mundial de 2008. Segundo o autor, uma das razões para esse acontecimento foi a estrutura baseada em jogos adotada pelas instituições financeiras, que estimulavam um ambiente competitivo em que seus empregados deveriam aprovar o máximo possível de empréstimos.

Para Juul (2013), a lição aprendida a partir desse e de outros exemplos é que os jogos são de fato excelentes motivadores e influenciadores para o comportamento dos jogadores, mas não podem ser facilmente aplicados a outras áreas além do entretenimento, como o ambiente de trabalho. Na opinião de Morschheuser et al. (2018), é necessário entender que desenvolver estratégias baseadas em jogos não é exatamente igual a desenvolver jogos propriamente ditos.

Dewinter, Kocurek e Nichols (2014) fazem diversas críticas à concepção moderna do desenvolvimento de estratégias baseadas em jogos para fins além do entretenimento, argumentando que atuam de modo similar à ideologia da administração científica³ defendida por Frederick Winslow Taylor. Um dos problemas está na intenção de fazer com que as atividades laborais fiquem mais divertidas por meio dos jogos. A preocupação dos autores reside no fato de que, ao fazer o trabalho se parecer mais com os momentos de entretenimento, inevitavelmente também se faz com que o entretenimento se assemelhe às atividades laborais. Consequentemente, tem-se um estímulo para que essas atividades, geralmente

³ A administração científica, do inglês *scientific management*, é um modelo de administração que teve grande importância no final do século XIX. Tendo Frederick Winslow Taylor como um de seus principais representantes, foi marcada por princípios excessivamente racionais para organização do trabalho. Em busca de melhorar a eficiência na realização das tarefas, utilizava-se de ideias caracterizadas pela carência de estímulos para que os operários refletissem sobre sua própria rotina de trabalho e contribuíssem para a melhoria do processo produtivo (HOPP; SPEARMAN, 2000).

relacionadas a momentos de lazer e descontração, tenham que se tornar produtivas (DEWINTER; KOCUREK; NICHOLS, 2014).

A situação se agrava no caso das ferramentas baseadas em jogos para capacitação da equipe de trabalho desenvolvidas para serem utilizadas pelo trabalhador no seu próprio lar. A princípio, a proposta pode parecer promissora, uma vez que o trabalhador se torna produtivo sem que seja necessário investir em infraestrutura para isso. Contudo, a falta de delimitações espaciais e temporais sobre o que é atividade laboral e o que é momento de lazer causa um colapso nessas definições, de modo que o ato de brincar/jogar pode se tornar estressante, fugindo de sua premissa mais básica de proporcionar sensações de prazer e descontração (DEWINTER; KOCUREK; NICHOLS, 2014).

A ideologia da administração científica e a concepção moderna das estratégias baseadas em jogos para fins além do entretenimento também são similares na maneira racional com que entendem as ações do jogador/operário. Como visto, os jogos, por meio de suas regras e elementos, influenciam o comportamento do jogador, podendo direcioná-lo para exercer e aprender um determinado modo considerado mais eficiente para realizar uma tarefa, por exemplo. Contudo, Dewinter, Kocurek e Nichols (2014) alertam que o modo considerado ideal para a realização de uma tarefa por um jogador pode não ser o mesmo para outro. Assim, segundo esses autores, o que o jogo de fato instrui é o modo mais eficiente considerando a média dos jogadores, e não a maneira mais adequada segundo a perspectiva de cada jogador em particular.

Sicart (2011) também reprova essa forma regrada dos jogos em moldar o comportamento do jogador, denominada pelo autor como uma abordagem proceduralista. Para o autor, a concepção moderna das estratégias baseadas em jogos entende as regras como as responsáveis por dar sentido à experiência do jogo e conduzir o jogador ao seu aprendizado. Assim, cabe ao jogador apenas seguir essas regras, de modo que a sua experiência e aprendizado são predeterminados pelo desenvolvedor do jogo. O referido autor salienta que sua principal crítica a essa abordagem reside no fato de que desse modo se ignora a importância dos jogadores e do ato de jogar enquanto atividades criativas, expressivas e produtivas.

Para Dewinter, Kocurek e Nichols (2014), é necessário adotar uma abordagem mais focada no ato de brincar do que no ato de jogar propriamente dito. Os referidos autores defendem que é preciso explorar a capacidade dos jogadores

em inovar, explorando sua subjetividade e imaginação. Raguze e Silva (2016) afirmam que são as situações fantasiosas que estimulam o imaginário do jogador, garantindo mais emoção e riqueza à experiência no ambiente de jogo.

Além de limitar as formas de expressão do jogador, essa estrutura rígida dos jogos não é eficiente em prever todas as possíveis consequências e cenários resultantes das decisões tomadas pelos jogadores. No caso do estudo realizado por Goulding et al. (2012), por exemplo, os referidos autores relataram alguns desafios no desenvolvimento de um recurso para capacitação de profissionais da construção civil em relação à gestão da segurança no ambiente de trabalho. Nessa ferramenta, ao tomar decisões, o usuário é exposto a diversos possíveis resultados de suas atitudes, promovendo uma oportunidade para que ele possa refletir a respeito delas e aprender com esse processo. Contudo, os próprios autores relatam que tiveram grandes dificuldades para incorporar a vasta série de possíveis desdobramentos das decisões tomadas, ao ponto que precisaram limitar as atitudes dos usuários a um pequeno número de ações pré-definidas.

O agravante existente nessa imprecisão em prever as ações dos jogadores reside na incapacidade do jogo em compreender que a sua estrutura lógica pode não ser ideal e não contemplar todas as possíveis atitudes dos jogadores. Como consequência, se um jogador encontra um modo alternativo para completar o objetivo pretendido não previsto no momento do desenvolvimento da ferramenta, muitas vezes o jogo entende erroneamente que ele falhou em sua missão. Dessa maneira, o que efetivamente ocorre é que, para serem bem-sucedidos, os jogadores necessitam se submeter a lógica do jogo, sendo que o seu potencial para testar soluções inéditas e criativas para os problemas enfrentados ao longo da narrativa não é devidamente explorado (DEWINTER; KOCUREK; NICHOLS, 2014).

Por outro lado, ao vivenciarem uma experiência de fracasso no jogo, os jogadores são capazes de entender que a causa de suas falhas pode estar relacionada às suas próprias habilidades e decisões ou também a circunstâncias incontroláveis, relacionadas ao jogo. Ao passo que se sentem desconfortáveis quando a falha é devido às suas próprias atitudes, tendem a se sentir ainda mais frustrados em situações em que entendam que não são responsáveis pela falha, o que não resulta em uma experiência produtiva e agradável (JUUL, 2013).

É o que ocorre, por exemplo, no relato de Dewinter, Kocurek e Nichols (2014) ao experimentarem o jogo de simulação *The Investigator*®. Os referidos autores

contam que sofreram para progredir em determinado momento da narrativa do jogo. A razão de sua dificuldade residia no fato de que tentaram interagir com personagens da história muito antecipadamente ao que o jogo previa. Assim, falhavam em avançar na narrativa porque tentaram utilizar uma abordagem alternativa à prevista pelo jogo (DEWINTER; KOCUREK; NICHOLS, 2014).

Outro exemplo é uma produção recente da *Netflix*®, o filme interativo *Black Mirror: Bandersnatch*. A obra cinematográfica convida o espectador a assumir um papel mais ativo na narrativa de modo parecido ao de um jogo, tomando decisões capazes de influenciar a continuidade da história. Contudo, essa estratégia causou frustração a diversos espectadores. Muitas vezes, a ineficiência da lógica do filme para entender o comportamento do espectador e a sequência de suas decisões levava a narrativa a becos sem saída, ou gerava *loops* que faziam com que fosse necessário que o espectador assistisse novamente grande parte daquilo que já havia visto (FELIX, 2019).

Outro aspecto debatido no meio científico é a proposta de alguns recursos baseados em jogos de coletar dados de seus jogadores para fornecer *feedbacks* diversos. No caso da ferramenta desenvolvida por Goulding et al. (2012) citada anteriormente, por exemplo, os referidos autores exploram a possibilidade de armazenar o histórico de ações e decisões do usuário para análises posteriores. Contudo, Dewinter, Kocurek e Nichols (2014) questionam se esses dados são de fato confiáveis, uma vez que as pessoas alteram seus comportamentos quando acreditam estarem sendo observadas. Ademais, os autores salientam que a utilização desses dados pressupõe que os jogadores dedicar-se-ão adequadamente ao jogo, o que pode não ocorrer. De fato, contrapondo a experiência de pessoas no mundo real e em jogos e outras ferramentas desenvolvidas no mundo virtual, Lu e Davis (2016) afirmam que as pessoas tendem a exercer um comportamento mais seguro no ambiente real, no qual elas efetivamente podem se ferir caso não tenham uma conduta adequada.

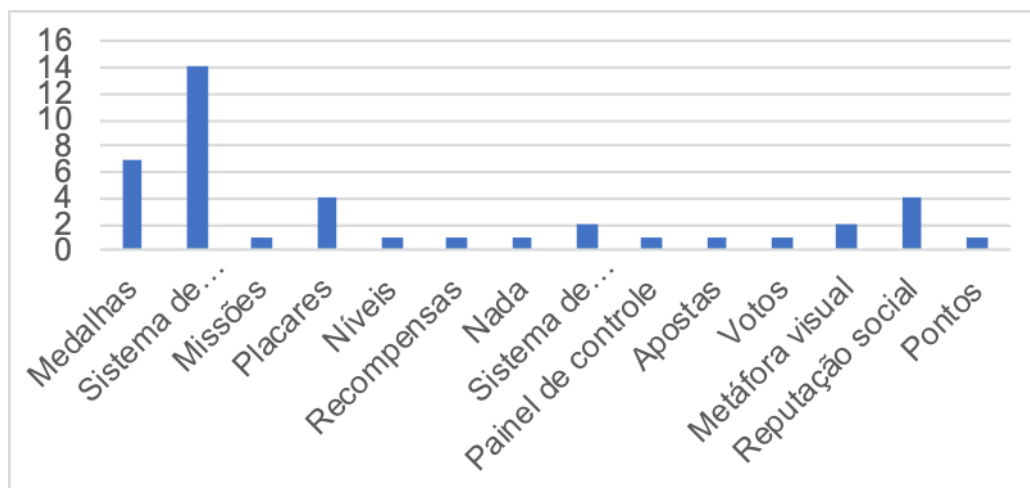
De acordo com Albrechtslund e Dubbeld (2005), esses jogos e ferramentas desenvolvidos com essa funcionalidade de coleta de dados geralmente são conhecidos como *surveillance games* e têm crescido nos últimos anos. Sobre o tema, Dewinter, Kocurek e Nichols (2014) alertam que trabalhadores que são submetidos à utilização dessas ferramentas podem não estar cientes sobre quais informações serão coletadas e onde serão empregadas. Para Albrechtslund e

Dubbeld (2005), é emergente a necessidade de realizar extensas análises e debates para discutir as implicações éticas e morais desses recursos.

É recorrente também a crítica de diversos autores sobre a banalização das estratégias baseadas em jogos para fins além do entretenimento (CHITTARO; BUTTUSSI, 2018; DETERDING et al., 2011; DEWINTER; KOCUREK; NICHOLS, 2014; FARDO, 2013). Em diversas ferramentas desenvolvidas nesse tema, é utilizada uma quantidade limitada de elementos dos jogos, como pontos, medalhas e placares, simplesmente para tornar menos entediante a realização de tarefas cotidianas (FARDO, 2013).

De fato, no levantamento realizado por Pedreira et al. (2015), foram identificados 29 estudos científicos publicados entre 2011 e 2014 relacionados a estratégias baseadas em jogos aplicadas no segmento da engenharia de *software*. Como observado na Figura 1, os resultados do levantamento corroboram com a perspectiva supracitada, uma vez que os elementos de jogos que prevaleceram nos estudos identificados foram o sistema de pontos, medalhas e placares.

Figura 1 – Distribuição dos estudos identificados no levantamento segundo os elementos de jogos que utilizaram



Fonte: Adaptado de Pedreira et al. (2015, p. 163)

Para Deterding et al. (2011) e Dewinter, Kocurek e Nichols (2014), o foco nesses únicos elementos despreza o potencial da arte de jogar enquanto atividade complexa, livre e exploratória. Fardo (2013) adverte que esse não é o caminho a ser seguido, pois os jogos são muito mais do que um sistema de recompensas.

Na opinião de Tesei, Barbieri e Kessel (2012), não é apenas na exploração limitada de elementos de jogos que essas ferramentas são superficiais. Em uma pesquisa conduzida por esses autores entre os anos de 2011 e 2012, observou-se grande dificuldade desses recursos em replicar adequadamente as situações da vida real. Chittaro e Buttussi (2018) também concordam com essa perspectiva. Esses autores desenvolveram um jogo contextualizado no segmento da aviação para abordar aspectos relacionados à segurança no cotidiano do setor. Após a utilização por 40 voluntários, os autores concluíram que é essencial que os jogadores se sintam imersos no jogo, uma vez que a sensação de imersão está relacionada à motivação dos voluntários em participar do jogo. Chittaro e Buttussi (2018) citam inclusive que os jogadores que se sentiram mais imersos no jogo acreditam que experimentaram aprendizados substanciais. Para os referidos autores, uma alternativa promissora para prover esse maior nível de imersão é a utilização de tecnologias emergentes, como a realidade virtual imersiva.

Em vista de todos esses desafios, as estratégias baseadas em jogos para fins além do entretenimento têm encontrado entraves para sua efetiva disseminação. Particularmente no segmento da construção civil, Leite et al. (2016) acreditam que existem barreiras culturais a serem superadas. Os referidos autores desenvolveram um jogo denominado *Sistemas Obras Gamificadas* que também é descrito em Leite, Costa e Durão (2015). Nesse jogo, eram atribuídos pontos, placares e premiações aos trabalhadores por conta de seu engajamento no cumprimento do planejamento da obra em que trabalhavam. Ainda que tenham comprovado melhorias na transparência do planejamento semanal da obra e no desempenho dos operários, Leite et al. (2016) relatam que essas otimizações não foram adequadamente percebidas pelo mestre de obras e por alguns encarregados. Para esses autores, isso evidencia a necessidade de aumentar o envolvimento dos líderes e gestores das obras na implementação de novas tecnologias, uma vez que são eles os principais promotores de mudanças nesse ambiente de trabalho.

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

É evidente a tendência atual da utilização de estratégias baseadas no universo dos jogos para fins além do entretenimento. Diversos estudos científicos

têm relatado benefícios no uso desses recursos, principalmente engajando e motivando trabalhadores no cumprimento de suas atividades cotidianas.

Contudo, o universo dos jogos é complexo, sendo necessário cautela no uso de ferramentas desenvolvidas nesse contexto. Ainda que tragam benefícios, a utilização desses recursos em situações inadequadas também pode trazer consequências preocupantes. Além disso, é preciso repensar a forma com que essas ferramentas têm sido desenvolvidas. Empregadas indevidamente, a mecânica e dinâmica dos jogos podem limitar as capacidades dos jogadores em se expressar e em encontrar maneiras próprias de resolver os problemas aos quais são submetidos no ambiente de jogo.

Assim, é emergente a necessidade de desenvolver novas ferramentas baseadas no universo dos jogos que tenham premissas diferentes dos recursos já desenvolvidos. Desse modo, é possível explorar outras possibilidades nesse universo, superando barreiras e desafios que se interpõem aos recursos já desenvolvidos.

4 REALIDADE VIRTUAL E OUTRAS TECNOLOGIAS APLICADAS À SEGURANÇA DE CANTEIROS DE OBRAS

Como visto no Capítulo 2, o desenvolvimento de novas estratégias de gestão relacionadas à saúde e segurança do trabalho na construção civil é uma necessidade emergente na sociedade. Nesse contexto, a tecnologia da realidade virtual se destaca como uma alternativa promissora para contribuir com as práticas de segurança no canteiro de obra. Assim, para que o leitor compreenda de que forma isso ocorre, diversos aspectos técnicos sobre a criação da tecnologia da realidade virtual, seus componentes e modo de funcionamento serão detalhados a seguir. Também serão apresentadas várias aplicações reais dessa tecnologia relatadas na literatura científica, destacando-se os benefícios obtidos a partir de seu uso e as barreiras e desafios encontrados para a sua disseminação no setor.

4.1 HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE REALIDADE VIRTUAL

Ainda que não seja fácil definir claramente quando os estudos relacionados ao desenvolvimento de sistemas de realidade virtual começaram, alguns autores consideram que a criação do Sensorama® em 1955 tenha sido um importante marco nesse contexto (MEALY, 2018; TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006). Como ilustrado na Figura 2, a invenção do cinematógrafo Morton Heilig se tratava de uma cabine para a veiculação de jogos do tipo fliperama e exibição de pequenos filmes, dotada de dispositivos para estimular os sentidos humanos (MEALY, 2018). Assim, o usuário experimentava movimentos, sons, odores, vento e visão estereoscópica, capazes de causar uma experiência inédita, na qual o espectador se sentia mais imerso na história retratada no filme ou no jogo (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006). Para esses autores, ainda que o Sensorama® não tenha conquistado grande sucesso comercial, foi um importante precursor de ideias para o amadurecimento da tecnologia de realidade virtual.

Figura 2 – O Sensorama®, de Morton Heilig (1955)



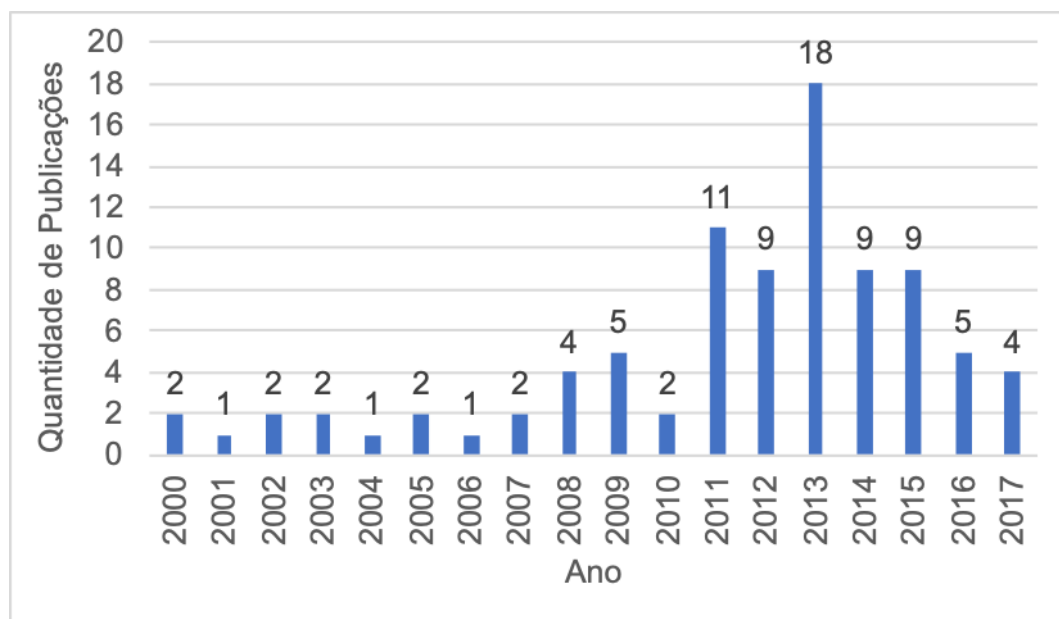
Fonte: Mealy (2018, p.15)

Com o amadurecimento da tecnologia da realidade virtual, seus usos se diversificaram. Desde o início do século XXI, diversos pesquisadores atuantes em áreas altamente dependentes de visualização, comunicação e interação para o desenvolvimento de suas atividades, como educação, medicina e estudos militares, obtiveram sucesso em adaptar e integrar suas práticas à tecnologia da realidade virtual (HEYDARIAN et al., 2015). No segmento industrial, de modo geral, o uso tem sido direcionado à visualização de protótipos, treinamentos da equipe de trabalho, simulações de processos produtivos, avaliação do comportamento físico de componentes, entre outros estudos técnicos de engenharia (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006).

Na indústria da construção civil, o uso da realidade virtual também tem crescido nos últimos anos, devido aos seus benefícios de prover um ambiente altamente imersivo e engajador (WANG et al., 2018). Nesse contexto, as aplicações relacionadas à gestão da segurança do trabalho têm se destacado. Segundo o levantamento realizado por Li et al. (2018) em periódicos científicos de grande impacto (Figura 3), as pesquisas envolvendo o uso de ferramentas baseadas em realidade virtual ou aumentada associadas à gestão da segurança nos canteiros de obras emergiram em 2000. Até o ano de 2007, foram pouco exploradas, sendo

publicados cerca de 1,5 estudos sobre o tema anualmente. Entretanto, a partir de 2008, houve um grande aumento nas discussões sobre o tema, sendo registradas, em média, 8 publicações anuais sobre o assunto nos periódicos analisados. Para Mealy (2018), a tendência é que essas tecnologias alcancem ainda maior protagonismo futuramente, de modo que até 2025 sejam frequentemente empregadas na maioria das atividades cotidianas da sociedade.

Figura 3 – Publicações sobre realidade virtual e aumentada aplicadas à gestão da segurança na construção civil



Fonte: Li et al. (2018, p. 153)

4.2 CONCEITOS E TERMINOLOGIAS COMUMENTE ADOTADAS

O termo realidade virtual (RV), do inglês *virtual reality (VR)*, tem significados diferentes para pesquisadores diferentes (KIM et al., 2013). Para Tori, Kirner e Siscoutto (2006, p. 6),

A realidade virtual é, antes de tudo, uma “interface avançada do usuário” para acessar aplicações executadas no computador, tendo como características a visualização de, e movimentação em, ambientes tridimensionais em tempo real e a interação com elementos desse ambiente. Além da visualização em si a experiência do usuário de RV pode ser enriquecida pela estimulação dos demais sentidos como tato e audição.

Em sua própria definição sobre o termo, Mealy (2018) provê maior enfoque à característica de imersão da tecnologia, considerando-a um recurso no qual o usuário é imerso em um ambiente completamente sintético. Nessa definição,

também se nota uma ênfase ao fato de que o ambiente virtual criado não é dependente da realidade física. Ainda que possa ser baseado em ambientes reais, a existência dos cenários virtuais independe do atual estado desses ambientes no mundo real (MEALY, 2018).

Milgram et al. (1994), Sacks, Perlman e Barak (2013) e Li et al. (2018) não são tão pragmáticos no que diz respeito à relação existente entre as realidades física e virtual, limitando-se a descrever que o cenário virtual criado não necessita necessariamente ser baseado em um ambiente real, podendo ser imaginário. Já em relação ao enfoque dado à característica de imersão da tecnologia, ao passo que Milgram et al. (1994) também a citam como um atributo comum no que se refere à realidade virtual, outros autores afirmam que também existem sistemas desenvolvidos em realidade virtual considerados não-imersivos (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006).

Assim, em vista da pluralidade das definições apresentadas, define-se, para uso neste trabalho, a realidade virtual como sendo: **uma interface avançada de comunicação entre usuário e computador, por meio da qual o usuário pode navegar e interagir com cenários virtuais sintetizados em computador a partir de imaginação ou baseados em cenários reais. A sensação de imersão fornecida pela simulação é dependente dos dispositivos multissensoriais utilizados para propiciar a troca de informações entre usuário e computador.**

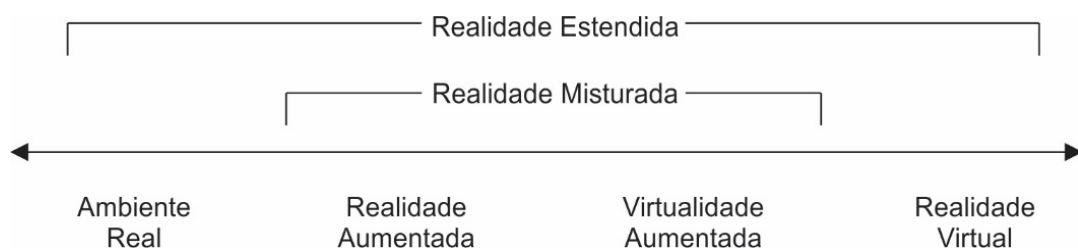
De modo geral, a realidade virtual busca substituir a percepção do usuário a respeito do mundo ao seu redor por um ambiente artificial gerado no computador (LI et al., 2018), de modo que ele possa visualizá-lo a partir de qualquer posição a sua escolha (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006). Assim, o usuário tem a possibilidade de explorar mundos não existentes na realidade física (FREITAS; SANTOS, 2004), sendo considerado por esses autores um meio fascinante de proporcionar uma interação intuitiva entre computador e usuário.

A relação da realidade virtual com outras tecnologias similares, como a realidade aumentada, gera muita confusão, de modo que frequentemente esses conceitos são associados e confundidos entre si. Contudo, Milgram et al. (1994) salientam que existem diferenças substanciais entre essas tecnologias, de modo que

é conveniente considerar que se situam em lados opostos de um *continuum*⁴, batizado pelos autores como *continuum* da Realidade-Virtualidade.

Nesse *continuum*, em um dos extremos, está o ambiente real, em que há completa ausência de elementos virtuais. No lado oposto, está a realidade virtual, na qual o ambiente e seus componentes são completamente virtuais. Entre esses dois extremos, estão outras tecnologias, como a virtualidade aumentada e a realidade aumentada, que misturam elementos do mundo real e virtual. Ao longo dos anos, o *continuum* proposto por Milgram et al. (1994) foi amplamente difundido na literatura (LI et al., 2018; MEALY, 2018; TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006), sendo popularmente conhecido como *continuum* de Milgram. Na Figura 4, apresenta-se uma adaptação do *continuum* de Milgram proposta por Mealy (2018), na qual se utiliza o termo realidade estendida para se referir a todos os conceitos que compõem o *continuum*.

Figura 4 – Adaptação do *continuum* de Milgram



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

As possibilidades de sensações e interações proporcionadas pela realidade virtual estão intimamente associadas à natureza dos dispositivos e sistemas utilizados para sua criação. Dependendo do senso de presença provido ao usuário, a realidade virtual pode ser classificada em imersiva ou não-imersiva. A imersão ocorre quando são utilizados dispositivos multissensoriais para que o usuário seja transportado predominantemente para o ambiente virtual, tendo a sensação de estar, de fato, nesse ambiente. De acordo com Sacks, Perlman e Barak (2013), essa sensação de presença proporcionada pelos ambientes imersivos resulta da

⁴ Termo utilizado para denominar algo que muda gradualmente de características, de modo sutil (CAMBRIDGE DICTIONARY, 2019a).

capacidade desses dispositivos em interagir com os sentidos humanos, ou ainda da sua habilidade de remover a percepção do usuário a respeito do ambiente real.

No tema da realidade virtual imersiva, destacam-se os *head-mounted displays* (HMDs), dispositivos acoplados à cabeça do usuário que ajustam a imagem de modo que ela é projetada de acordo com a posição da cabeça, criando a ilusão de que o usuário está fisicamente presente no ambiente virtual exibido (FERNANDES et al., 2006). Para isso, o dispositivo possui um sensor que rastreia os movimentos do usuário, de modo que, ao mover a cabeça em qualquer direção, é sinalizado ao computador qual imagem deve ser mostrada para corresponder ao seu campo de visão. Assim, permite-se que o usuário veja o cenário virtual como se estivesse dentro dele (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006). Outra opção é o uso de *Cave Automatic Virtual Environments* (CAVEs), ambientes reais em que suas paredes, piso e tetos recebem a projeção sincronizada de parte do mundo virtual. Essas projeções são alteradas a partir da movimentação e interação dos usuários utilizando dispositivos sensoriais apropriados, dando a sensação de estarem, de fato, nesse ambiente virtual (PERLMAN; SACKS; BARAK, 2014; TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006).

No caso dos sistemas não-imersivos, o usuário tem uma sensação limitada sobre sua presença no mundo virtual. É o caso da visualização do mundo virtual em monitores ou tela de projeções: ao desviar sua atenção para fora da projeção, o usuário desconecta-se completamente do mundo virtual (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006). Ainda que possam ser utilizados recursos sensoriais como óculos estereoscópicos e sons espaciais (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006), os sistemas não-imersivos não possuem mecanismos para rastreamento dos movimentos do usuário (WANG et al., 2018). Assim, a maioria das ações no ambiente virtual são conduzidas através do *mouse* e do teclado do computador, sendo que o usuário necessita se basear em suas habilidades de percepção e espacialidade para interagir com a realidade virtual (WANG et al., 2018).

Na Figura 5, são apresentados exemplos de sistemas não-imersivos (a) e imersivos (b).

Figura 5 – Sistemas não-imersivos (a) e imersivos (b) baseados em realidade virtual



Fonte: Tori, Kirner e Siscoutto (2006, p. 8)

Devido às suas capacidades de interação com o ambiente virtual em tempo real, a realidade virtual imersiva é considerada mais vantajosa do que os sistemas não-imersivos. Contudo, uma vez que os dispositivos não-imersivos utilizam essencialmente monitores, teclados e *mouses*, são vantajosos em relação ao custo para sua obtenção, sendo geralmente mais baratos que os demais (WANG et al., 2018).

4.3 BENEFÍCIOS NO USO DE DISPOSITIVOS DE REALIDADE VIRTUAL

Os dispositivos de realidade virtual e aumentada têm se mostrado eficientes, úteis, aplicáveis e acurados para abordar diversas questões relacionadas à gestão da segurança nos canteiros de obras (LI et al., 2018). São observados diversos benefícios para auxiliar na realização de várias tarefas, como enquanto recurso de prototipagem para a identificação de fatores que ofereçam riscos aos trabalhadores e o treinamento e capacitação dos profissionais envolvidos no setor, conforme detalhado a seguir.

4.3.1 Recurso de Prototipagem para a Identificação de Riscos

No que se refere à identificação de riscos em obras, Hadikusumo e Rowlinson (2002) destacam que o método usualmente adotado pelas empresas construtoras

consiste em inspeções ao canteiro de obra e na utilização de projetos e documentos contratuais do empreendimento. Segundo esses autores, esses documentos geralmente representam a obra de forma bidimensional, e são resultado da junção de esforços de diversos profissionais – arquitetos, engenheiros estruturais, engenheiros elétricos, entre outros. Devido às limitações existentes na representação bidimensional do empreendimento e à pluralidade de perspectivas desses profissionais, é difícil traduzir a informação obtida por esses meios para um modelo mental do empreendimento, em que se possa realizar análises relacionadas à gestão da obra.

Ademais, esses métodos tradicionais de identificação de riscos dificilmente refletem as condições reais do canteiro de obra, que são dinâmicas e muitas vezes imprevisíveis (LI et al., 2018). Além da dificuldade em traduzir informações bidimensionais para um modelo mental tridimensional, as informações obtidas são estáticas, representando geralmente a edificação já construída. Assim, há um enfoque muito maior no desempenho físico do projeto, de modo que diversos riscos associados à construção do empreendimento não são devidamente representados (HADIKUSUMO; ROWLINSON, 2002).

Nesse contexto, a tecnologia da realidade virtual fornece uma oportunidade para visualizar problemas de forma mais eficiente do que por meio dessas representações simbólicas (GOULDING et al., 2012). Uma das razões que explicam essa eficiência está relacionada à maneira com que o usuário é convidado a contribuir com a análise do empreendimento. Na realidade virtual, há maior grau de liberdade para a interação com a representação gráfica (WANG et al., 2018), de modo que o usuário deixa de ser apenas um expectador para fazer parte integrante do cenário (FREITAS; SANTOS, 2004). Assim, é possível realizar um passeio interativo pela simulação (FREITAS; SANTOS, 2004), no qual os profissionais responsáveis pelo projeto e gestão da execução do empreendimento podem refletir cuidadosamente sobre as implicações de cada decisão tomada (HADIKUSUMO; ROWLINSON, 2002).

Outra contribuição no uso da realidade virtual reside na maneira com que a representação do projeto é realizada. É possível realizar uma representação dinâmica do processo construtivo, enfatizando operações que dificilmente seriam detalhadas nos desenhos bidimensionais do empreendimento já concluído (HADIKUSUMO; ROWLINSON, 2002). Desse modo, ao associar a

tridimensionalidade à dinâmica da execução do empreendimento, promove-se a compreensão de sistemas complexos de construção até mesmo por pessoas com experiências prévias limitadas sobre esse processo produtivo. Conseqüentemente, é possível avaliar diferentes cenários e antecipar problemas com mais rapidez, permitindo maior precisão na tomada de decisão (FERNANDES et al., 2006); FREITAS; SANTOS, 2004).

Com o intuito de melhor compreender as reais contribuições do uso dessa tecnologia enquanto recurso de prototipagem para a identificação de riscos, Perlman, Sacks e Barak (2014) realizaram um estudo com 61 voluntários que deviam identificar riscos em um projeto construtivo convencional. Além disso, deveriam avaliar também a gravidade e a probabilidade de ocorrência de cada um dos riscos levantados. Alguns voluntários realizaram a identificação de riscos analisando fontes de dados tradicionais do canteiro de obra, como fotos e documentos técnicos do empreendimento. Os demais desenvolveram sua análise a partir de uma exploração virtual ao canteiro de obra utilizando um sistema CAVE para prover a realidade virtual. Os resultados do estudo indicaram que os voluntários que analisaram os riscos no canteiro de obra utilizando a tecnologia de realidade virtual conseguiram identificar maior quantidade de riscos que os demais, principalmente em relação a riscos como objetos em queda livre, uso de ferramentas elétricas, transporte de materiais em *pallets* e ausência no uso de equipamento de proteção individual (PERLMAN; SACKS; BARAK, 2014).

Ainda que tenha sido realizado com uma quantidade limitada de participantes, o estudo realizado por Woksepp e Olofsson (2008) sugere que de fato esses benefícios no uso da realidade virtual para a identificação de riscos são realmente percebidos pelos profissionais envolvidos ao longo de sua utilização. Esses autores entrevistaram doze profissionais, responsáveis pelo projeto e planejamento da construção de um empreendimento, no qual se utilizou a tecnologia da realidade virtual para auxiliar nas tomadas de decisões relacionadas à gestão do projeto.

De acordo com os entrevistados, os modelos virtuais desenvolvidos em realidade virtual proporcionaram uma veiculação de informações do projeto construtivo de forma compreensiva e detalhada. Comparativamente aos documentos tradicionalmente utilizados para a obtenção de informações, os profissionais relataram que por meio da realidade virtual foi possível obter maior entendimento

espacial do projeto, além de facilitar a compreensão de como e quando cada elemento seria construído (WOKSEPP; OLOFSSON, 2008).

Em síntese, essa tecnologia é essencialmente importante para a identificação de riscos em obras porque permite o entendimento de informações relacionadas a sistemas construtivos complexos mesmo por parte de pessoas com conhecimento limitado sobre eles (FERNANDES et al., 2006). Permite também que informações pouco visíveis no mundo real sejam facilmente identificadas por operários e gestores antes da realização de uma atividade, de modo que, uma vez cientes dos riscos existentes, seja possível adotar medidas preventivas adequadas e comportamentos mais seguros.

4.3.2 Treinamento e Capacitação da Equipe de Trabalho

Tradicionalmente, o treinamento da mão de obra no canteiro de obra consiste na exibição de palestras e aulas teóricas aos trabalhadores, além de exercícios práticos no ambiente de trabalho (ZHAO; LUCAS, 2015). Contudo, esses métodos tradicionais de ensino possuem algumas desvantagens. A natureza perigosa do trabalho no canteiro de obra acarreta no prevalectimento de treinamentos fora do ambiente real de trabalho, dificultando que o trabalhador aprenda com seus erros em situações reais (SACKS; PERLMAN; BARAK, 2013). Em contrapartida, quando realizados no próprio ambiente de trabalho, tendem a ser ineficientes ou a expor o trabalhador ao risco, além de interferirem no andamento das atividades construtivas sendo executadas (GUO; YU; SKITMORE, 2017). Ademais, mesmo os treinamentos realizados no próprio local do trabalho nem sempre são devidamente representativos das condições de trabalho, haja vista que muitos imprevistos que necessitam de uma participação mais ativa do trabalhador se revelam somente no ritmo real de produção (WANG et al., 2018).

Situação similar ocorre na capacitação dos profissionais responsáveis pela gestão das obras. Na academia, os alunos carecem de experiências práticas para visualização do conteúdo teórico ministrado em sala de aula. Além dos riscos à segurança dos alunos, a visita a obras reais é dificultada por conta de aspectos logísticos. Por exemplo, os canteiros de obras que permitem a visita dos estudantes podem não se encontrar na fase construtiva ideal para que os alunos visualizem os conceitos e técnicas aprendidos na academia (SAMPAIO; MARTINS, 2014). Além

disso, o perfil dos estudantes da atualidade requer abordagens diferentes das tradicionais. Com o surgimento da Geração Net, termo utilizado para designar os jovens que cresceram juntamente aos avanços das tecnologias de informação, é necessário renunciar às estratégias passivas de ensino para privilegiar modos mais ativos e criativos de estimulação dos alunos (BHOIR; ESMAEILI, 2015).

Nesse contexto, seja para o treinamento da mão de obra ou para a capacitação de gestores, os dispositivos de realidade virtual têm se mostrado adequados para ensinar sobre os riscos à segurança do trabalhador de modo direto e realista, mas sem comprometer a segurança dos envolvidos (SACKS; PERLMAN; BARAK, 2013). Imersos no ambiente virtual criado por meio da tecnologia, os usuários podem ter experiências práticas na simulação do local de trabalho (GUO; YU; SKITMORE, 2017), sendo inclusive expostos a situações perigosas no cenário virtual e sofrendo acidentes, como parte do seu processo de aprendizado (SACKS; PERLMAN; BARAK, 2013).

A interação com os modelos tridimensionais contribui para uma atitude menos passiva do usuário no seu processo de aprendizado (SAMPAIO; MARTINS, 2014). De acordo com Zhao e Lucas (2015), essa mudança de paradigmas na forma de ensinar possibilita melhor compreensão do conteúdo, principalmente na capacitação de adultos. De fato, segundo Edgar (1969 apud ZHAO; LUCAS, 2015, p. 4), a utilização de métodos mais ativos de ensino contribui para que os indivíduos se lembrem mais facilmente do conteúdo ensinado, conforme exposto na Figura 6.

Figura 6 – Pirâmide da eficiência do aprendizado



Fonte: traduzido e adaptado de Edgar (1969 apud ZHAO; LUCAS, 2015, p. 4)

Na realidade virtual, o usuário deixa de ser um expectador e passa a integrar o cenário (FREITAS; RUSCHEL, 2010). Suas habilidades e conhecimentos intuitivos podem ser utilizados para manipular objetos virtuais (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006), realizando tarefas, planejando, avaliando e validando as medidas adotadas para a gestão da segurança do canteiro de obra (LI et al., 2018). O usuário pode avaliar a situação, analisar as consequências de uma ação, implementá-la na simulação e imediatamente observar o resultado (SACKS; PERLMAN; BARAK, 2013). Além disso, a simulação em realidade virtual permite que os usuários explorem o cenário seguindo seu próprio ritmo, com total controle sobre seu progresso (BHOIR; ESMAEILI, 2015).

Essa forma participativa de aprendizado provê maior realismo ao ensino, haja vista que a mensagem de “isso pode acontecer com você” transmitida pela simulação permite com que os usuários façam associações a situações reais. Assim, não se aumenta somente a atenção dos usuários quanto aos possíveis riscos presentes no canteiro de obra, mas também se influenciam os comportamentos e decisões tomadas por eles, visando à promoção de uma cultura de segurança no ambiente de trabalho (ZHAO; LUCAS, 2015). Ademais, esse modo de ensino não enfrenta algumas dificuldades logísticas dos métodos tradicionais. Não há restrições aos treinamentos devido às intempéries, além de que a capacitação pode ser realizada a qualquer momento (BHOIR; ESMAEILI, 2015).

O estudo realizado por Le et al. (2015) sugere que esses benefícios no uso da realidade virtual para o treinamento e capacitação da equipe de trabalho são de fato percebidos pelos envolvidos. Os autores entrevistaram 20 graduandos do quarto ano de um curso relacionado à gestão da construção, além de 5 professores e 1 gestor de segurança atuante no setor. Após participarem de uma capacitação sobre segurança do trabalho na qual foram utilizados dispositivos de realidade virtual e aumentada, os alunos reconheceram as vantagens do uso da tecnologia para seu processo de aprendizado. Consideraram os recursos fáceis de usar, com grau satisfatório de estímulos visuais e com grande potencial para contribuir com a capacidade de estudantes para identificar riscos presentes no canteiro de obras e memorizar as lições aprendidas. Comparativamente aos métodos tradicionais de ensino, avaliaram a nova estratégia como sendo mais útil e prestativa. Na opinião dos professores entrevistados, o conteúdo transmitido de forma visual possuía fidelidade suficiente para retratar realisticamente o canteiro de obra (LE et al., 2015).

No estudo realizado por Sacks, Perlman e Barak (2013), realizou-se uma comparação entre o método tradicional de treinamento da mão de obra e as estratégias de capacitação baseadas na realidade virtual. Um grupo de 66 trabalhadores foi submetido a um ciclo de treinamento sobre segurança do trabalho, sendo que parte deles assistiu a uma capacitação tradicional, enquanto os demais utilizaram recursos em realidade virtual. Os resultados mostraram uma melhoria significativa no aprendizado do segundo grupo em relação a alguns aspectos relacionados à segurança do trabalho. Além disso, os autores notaram uma diferença de comportamento entre os dois grupos, considerada como uma das responsáveis por esse resultado. Nas sessões tradicionais de ensino, os trabalhadores tendiam a perder a concentração após 40 minutos, necessitando deixar a sala de treinamento para espairecer, ou passando a utilizar seus telefones celulares paralelamente à explanação do conteúdo, divergindo sua atenção. Já nas sessões de treinamento realizadas com auxílio da realidade virtual, foi observado foco total dos trabalhadores durante toda a duração da capacitação, relatada como sendo de cerca de uma hora e meia (SACKS; PERLMAN; BARAK, 2013).

4.4 DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE REALIDADE VIRTUAL

Desenvolver sistemas de realidade virtual não é uma tarefa fácil. Com vistas a regular a sensação de imersão e as possibilidades de interação com a simulação, devem ser considerados diversos aspectos técnicos para a composição do sistema, relacionados ao ambiente virtual, ao ambiente computacional e a tecnologia de realidade virtual (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006). A seguir, serão discutidas as possibilidades para abordar cada um desses temas ao longo do desenvolvimento de um sistema em realidade virtual.

A análise do ambiente virtual se refere à maneira com que o cenário tridimensional é desenvolvido, envolvendo os objetos tridimensionais utilizados e o nível de detalhamento em relação às cores, texturas e iluminação projetadas nesse ambiente virtual. Essas características estão intimamente associadas à sensação de realismo experimentada pelos usuários (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006).

Já o ambiente computacional diz respeito ao modo como o ambiente virtual é processado pelo dispositivo computacional para ser apresentado para o usuário. Deve possuir canais de entrada e saída de dados para a comunicação, sendo os

canais de entrada empregados para coletar informações advindas de dispositivos multissensoriais utilizados para rastrear movimentos do usuário, ao passo que os canais de saída comunicam à reação da simulação a esses movimentos, através da transmissão de imagens e emissão de sons (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006).

Devido a sua complexidade, os sistemas de realidade virtual requerem interação constante entre os componentes de *hardware* e *software* do computador. O desempenho requerido dos componentes de *hardware* é substancialmente dependente da qualidade e complexidade desejada para a simulação, além da própria demanda do *software* utilizado. Em relação aos *softwares* empregados para o desenvolvimento do sistema de realidade virtual, sua função é relacionada à elaboração dos sistemas, envolvendo a modelagem tridimensional, preparação e manipulação de texturas, sons e animações, entre outros. Também atuam na fase de execução da simulação, funcionando como um mecanismo de suporte para que a simulação possa ser exibida pelo dispositivo computacional (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006).

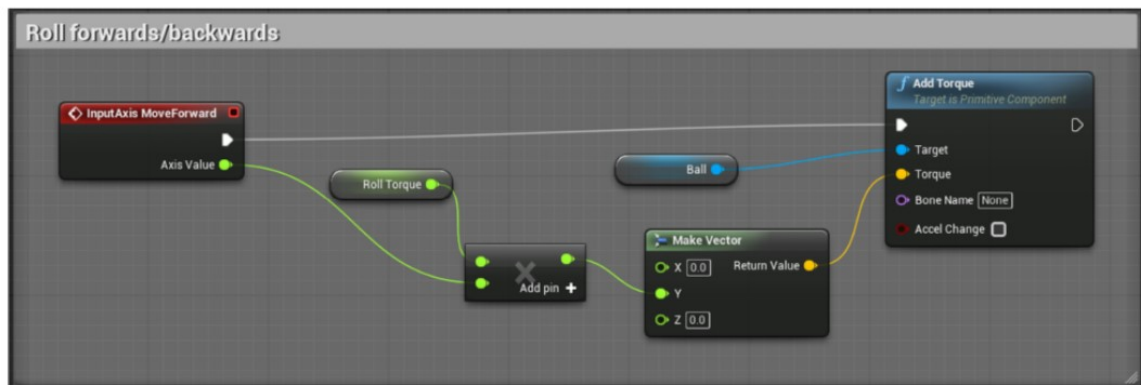
Devido a limitações de tempo e custo, muitas vezes não é considerado viável utilizar *softwares* para desenvolver todo o código de programação necessário para criar a simulação com qualidade suficiente para atender às expectativas do usuário. Nesse contexto, destacam-se as *game engines*, entendidas como um conjunto de componentes de *software* integráveis e reutilizáveis, empregadas para criar as simulações (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006). Por meio delas, é possível modelar e renderizar os objetos do cenário tridimensional, além de estabelecer interações entre computador e usuário por meio dos canais de entrada e saída disponíveis no ambiente computacional (BHOIR; ESMAEILI, 2015). Amplamente utilizadas na criação de jogos, essas ferramentas possibilitam alto desempenho à simulação, provendo uma experiência realista ao usuário (HILFERT; KÖNIG, 2016).

Existem diversas *game engines* disponíveis para uso, com diferentes níveis de experiência e conhecimento necessários para desenvolver o ambiente virtual (BHOIR; ESMAEILI, 2015). A *Unity*® e a *Unreal Engine*® são duas das mais populares *game engines* disponíveis ao público geral, sendo utilizadas para a criação de sistemas mais simples, como aplicativos para *smartphones*, e também para desenvolvimento de sistemas mais complexos, como jogos de alto desempenho e qualidade (MEALY, 2018). Para Hilfert e König (2016), a *Unity*® é

mais madura, mas a *Unreal Engine*® permite gráficos mais detalhados e é uma aplicação de código aberto⁵ para seus inscritos.

A *Unreal Engine*® possui um editor para criar e gerenciar as cenas. Assim, é possível conceber materiais, personagens e animações, entre outros componentes importantes para a simulação. Uma das maiores vantagens na utilização dessa *game engine* se refere ao fato de que a programação para a criação da simulação pode ser feita por meio de um sistema denominado *Blueprints*®. Como observado na Figura 7, o modo de programação por meio das *Blueprints*® consiste em uma estrutura lógica e visual de comandos, que acionam eventos que devem acontecer na simulação. Diversos tipos de eventos já estão criados e prontos para serem utilizados, disponíveis no banco de dados da *Unreal Engine*®, enquanto outros eventos mais específicos podem ser customizados pelo desenvolvedor da simulação. Por meio desse modo de programação visual, é possível que mesmo pessoas sem experiências prévias com programação computacional possam desenvolver suas aplicações com renderização realista (HILFERT; KÖNIG, 2016).

Figura 7 – Exemplo de programação desenvolvida por meio do sistema de *Blueprints*® na *Unreal Engine 4*®



Fonte: Hilfert e König (2016, p. 6)

Outro aspecto que precisa ser considerado no desenvolvimento de sistemas em realidade virtual diz respeito à tecnologia de realidade virtual a ser utilizada, envolvendo todos os dispositivos multissensoriais usados pelo usuário para

⁵ Do inglês *Open Source Software (OSS)*, as aplicações em código aberto são *softwares* distribuídos gratuitamente, incluindo seu código de programação. Assim, os direitos autorais para uso da aplicação permitem que qualquer usuário analise, modifique e redistribua o *software* (BOURNE, 2014).

participar do ambiente virtual (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006). Nesse contexto, destacam-se os já citados *head-mounted displays* (HMDs), que permitem que o usuário tenha novas vistas da simulação a partir do movimento da sua cabeça (BHOIR; ESMAEILI, 2015). Existe uma série de modelos de HMDs disponíveis atualmente para o mercado consumidor: o *Google Daydream*®, *Samsung Gear VR*® (Figura 8) e o *Google Cardboard*® são exemplos de dispositivos em que a simulação é transmitida por meio de um *smartphone*, enquanto que o *Oculus Rift*®, *HTC Vive*®, *Windows Mixed Reality*® e *Playstation VR*® necessitam de outros dispositivos computacionais mais complexos e robustos para seu funcionamento (MEALY, 2018).

Figura 8 – Samsung Gear VR®, da Samsung®



Fonte: Mealy (2018, p. 37)

Sobre esses dispositivos, Mealy (2018) faz as seguintes considerações:

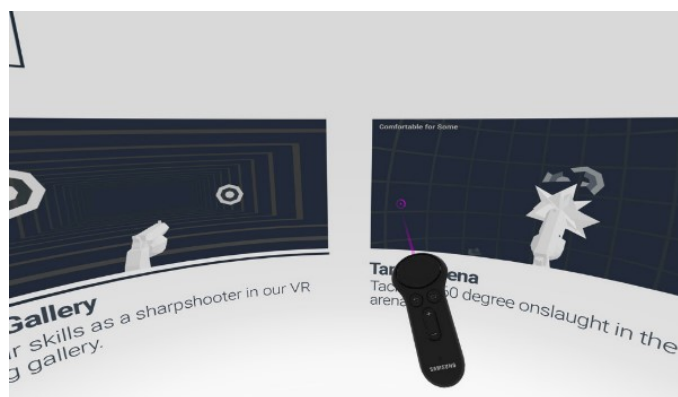
- a) *Oculus Rift*® e *HTC Vive*®: fornecem a melhor qualidade gráfica entre os HMDs disponíveis atualmente ao consumidor. Oferecem experiências realistas ao usuário, mas envolvem custos elevados para sua aquisição e compra de um dispositivo computacional com *hardware* com desempenho adequado para sua utilização;
- b) *Windows Mixed Reality*®: não é uma marca de dispositivo propriamente dita, mas sim arcabouço de especificações necessárias para que empresas desenvolvedoras de tecnologia possam criar seus próprios dispositivos *Windows Mixed Reality*®;
- c) *Playstation VR*®: geralmente, é utilizado associado a um console de jogos da linha *Playstation*®, não necessitando de um computador de fato para seu funcionamento. Apesar da facilidade de uso e preço mais acessível,

sofre com problemas relacionados ao nível de imersão provido pela simulação e possibilidades de interação do usuário;

- d) *Google Daydream®* e *Samsung Gear VR®*: ainda que não tenham um desempenho tão satisfatório quanto os dispositivos anteriormente citados, são considerados uma boa escolha para usuários iniciantes, haja vista que necessitam apenas de um *smartphone* compatível para seu funcionamento;
- e) *Google Cardboard®*: assim como o *Windows Mixed Reality®*, refere-se a um conjunto de especificações desenvolvido pela *Google®* para a criação de um HMD de baixo custo. De maneira geral, é o dispositivo que oferece a experiência mais simples ao usuário. Contudo, é bastante versátil, de modo que praticamente qualquer *smartphone* atual, com sistema *iOS®* ou *Android®*, é compatível.

Sobre esse último dispositivo, Du et al. (2018) salientam que o *Google Cardboard®* não possui um controle associado a ele. Sua forma de interação com a simulação consiste no uso de um botão magnético presente nos óculos que imita o toque na tela do *smartphone*. Assim, é necessário que a tela da simulação possua botões para serem clicados para ativar os comandos de interação. Outros HMDs, como o *Samsung Gear VR®*, possuem integração nativa com controles (Figura 9), facilitando a comunicação do usuário com a simulação. Desse modo, é possível associar comandos aos botões do controle, sem que qualquer botão virtual seja necessário na própria tela de transmissão da simulação.

Figura 9 – Representação virtual do controle da *Samsung®*, compatível com o *Samsung Gear VR®*



Fonte: Mealy (2018, p. 42)

Além dos HMDs, outros dispositivos multissensoriais também podem ser utilizados para auxiliar na interação com a realidade virtual. O uso de luvas virtuais, equipadas com sensores para rastrear o movimento das mãos e dedos dos usuários, provê *feedback* háptico (BHOIR; ESMAEILI, 2015). Nesse contexto, um dispositivo que tem sido amplamente utilizado é o *Leap Motion Controller*®, um sensor acoplado a mão e aos dedos para interação com realidade virtual e aumentada. O sensor tem precisão milimétrica para rastrear o movimento dos dedos, permitindo que diversos gestos do usuário, como deslocamento de objetos, criação de formas virtuais, ampliação e diminuição de componentes do cenário virtual, sejam reconhecidos pela simulação. Contudo, o alcance de seu sistema de rastreamento é curto, permitindo somente pequenos movimentos (ASGARI; RAHIMIAN, 2017).

Finalmente, em relação às formas de interação com a simulação, há uma miríade de possibilidades. O usuário pode observar passivamente o funcionamento do ambiente virtual animado, ou ser um agente atuante no cenário, interferindo em seu funcionamento (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006). Esses autores citam quatro modos principais de interação: navegação, seleção, manipulação e controle do sistema.

A navegação consiste na movimentação do usuário no cenário tridimensional, sendo considerada a forma mais simples de interação. Dessa forma, o usuário pode explorar o ambiente virtual, tendo como resposta a visualização do cenário em diferentes perspectivas. A definição do trajeto a ser percorrido é um processo de tomada de decisão do usuário, dependente de seu comportamento e conhecimento. Nesse tipo de interação, não há mudanças no ambiente virtual, apenas um passeio exploratório (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006).

A seleção se refere à escolha de um objeto virtual a ser manipulado. Essa escolha é feita por meio dos dispositivos sensoriais, ocorrendo comumente por apontamento ou toque do objeto. Uma vez selecionado, o sistema geralmente emite alguma reação para confirmar que a escolha foi de fato feita, como piscar, emitir sons ou mudar de cor. Já a manipulação desse objeto está relacionada à alteração de suas características, de modo que esse elemento pode ser transladado, rotacionado, aumentado, reduzido ou sofrer mudanças de cor, transparência e textura. Além disso, o objeto pode ser ainda apagado, copiado, duplicado, entre outras ações (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006).

Por fim, o usuário também pode controlar configurações do sistema. Esses comandos geralmente são emitidos por voz, acesso a *menus* gráficos ou comandos gestuais (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006).

As formas de interação disponíveis em um sistema de realidade virtual são substancialmente dependentes do tipo de dispositivos multissensoriais utilizados para coletar os comandos do usuário. O rastreamento do movimento da cabeça presente nos HMDs permite uma forma natural de o usuário navegar e examinar o cenário virtual (HILFERT; KÖNIG, 2016). A captura de gestos das luvas virtuais permite que o sistema entenda ações relacionadas à seleção e manipulação dos objetos, como puxar, empurrar, girar, agarrar, soltar, tocar, entre outros (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006). Muitos controles integrados aos HMDs possuem a opção de vibrar em algumas situações, de modo que é possível utilizar essa funcionalidade para sinalizar quando a simulação capta que o usuário executou alguma ação, como pegar um objeto, pressionar um botão, fechar uma porta (MEALY, 2018).

Devido a seu baixo custo e popularidade, *gamepads*⁶ também são uma alternativa promissora para propiciar várias formas de interagir com o sistema. A vantagem é que usuários familiarizados com os consoles de jogos têm grande facilidade em seu manuseio, e a diversidade de botões existentes pode ser associada à execução de múltiplos comandos. Contudo, os controles desenvolvidos especificamente para os HMDs têm maior integração à simulação, uma vez que permitem seis níveis de liberdade de movimentos. Assim, é possível que o sistema capte comandos a partir da movimentação do controle para cima (1), para baixo (2), para frente (3), para trás (4), para a esquerda (5) ou para a direita (6). Além disso, como já ilustrado na Figura 9, é possível visualizar um modelo virtual desse controle no ambiente de realidade virtual, facilitando a orientação do usuário (MEALY, 2018).

Existem também outras formas mais simples de utilizar os dispositivos sensoriais para interagir com o sistema, como é o caso do botão físico existente no *Google Cardboard*® e a utilização de miras virtuais. No caso do botão físico, seu funcionamento é bastante simples: ao pressioná-lo, ações previamente programadas na simulação são executadas. Essa forma de interação com o sistema tem compreensão imediata, mesmo por usuários inexperientes. Já no caso da utilização

⁶ *Gamepads* são controles tipicamente utilizados em jogos eletrônicos, segurados em duas mãos (CAMBRIDGE DICTIONARY, 2019b).

de miras virtuais, mais conhecidas pelo termo em inglês *gaze controls*, o sistema monitora um ponto fixo na visão do usuário utilizando um HMD. Ao desejar selecionar um objeto ou executar uma ação, o usuário aponta a sua visão para esse objeto ou para um botão virtual presente na tela e aguarda um tempo pré-definido. Ao verificar que a mira permaneceu fixa nesse local durante esse tempo, o sistema executa a ação desejada. Apesar de simples, as miras virtuais também podem ser utilizadas em conjunto com outros modos de interação, permitindo a realização de comandos mais complexos (MEALY, 2018).

4.5 DESAFIOS ENCONTRADOS NOS ESTUDOS JÁ REALIZADOS

Nas últimas décadas, surgiram novas formas para contribuir com a gestão das operações da indústria da construção civil, sendo a realidade virtual uma das alternativas encontradas. Contudo, essa nova abordagem tem sido adotada muito lentamente no setor (HEYDARIAN et al., 2015). Para Zhou, Irizarry e Li (2013), esse fato se deve, entre outras razões, ao foco dado pelos estudos científicos realizados nesse tema. Segundo esses autores, as aplicações dessa tecnologia já realizadas têm se limitado a análises acadêmicas, carecendo de reais implementações da realidade virtual em práticas relacionadas ao gerenciamento da construção civil.

Nesse sentido, Zhou, Irizarry e Li (2013) acreditam que os pesquisadores deveriam direcionar seu foco para a investigação de como realizar a transição do uso da tecnologia do meio científico para a prática do mercado de trabalho. Bhoir e Esmaeili (2015) corroboram com essa perspectiva, salientando que poucos estudos investigaram sistematicamente o impacto que a introdução dessa tecnologia causa às práticas de gestão na construção civil.

De fato, no estudo realizado por Kim et al. (2013), foram revisados 150 artigos científicos sobre realidade virtual e outras tecnologias similares, publicados entre 2005 e 2011. Os resultados revelaram que apenas 7,3% dos artigos envolveram a aplicação do estudo em projetos e participantes efetivamente relacionados ao segmento industrial. Assim, de acordo com esses autores, os estudos já publicados relacionados à temática são, em sua maioria, de pequena escala e não envolvem a indústria.

Diversos outros aspectos também contribuem para a deficiência no atual uso da tecnologia de realidade virtual na indústria da construção. No estudo realizado

por Fernandes et al. (2006) que consultou empresas sobre as principais barreiras que afetam a introdução bem-sucedida dessa tecnologia, destacou-se a falta de apoio da gerência das empresas. De acordo com esses autores, os gestores das corporações muitas vezes consideram demasiadamente arriscado o uso da tecnologia, devido aos grandes esforços financeiros e de tempo necessários para sua implementação.

Além de aspectos relacionados ao tempo e investimento financeiro despendido, existem outras limitações dependendo do uso que é dado a tecnologia. Conforme será discutido a seguir, ao ser utilizada enquanto recurso de prototipagem para a identificação de riscos, capacitação da equipe de trabalho ou ao explorar diferentes tipos de dispositivos e *softwares*, a tecnologia apresenta particularidades que necessitam ser superadas para que seja possível sua disseminação no setor.

4.5.1 Recurso de Prototipagem para a Identificação de Riscos

Como visto na subseção 4.3.1 deste capítulo, a utilização da realidade virtual para a construção de protótipos virtuais para a identificação preliminar de riscos à segurança dos trabalhadores nos canteiros de obras é uma das aplicações mais comuns da tecnologia (FREITAS; SANTOS, 2004). A título de exemplo, Hadikusumo e Rowlinson (2002) desenvolveram uma ferramenta utilizando realidade virtual para contribuir com o processo de projeto do empreendimento a ser construído e o planejamento de sua construção. O recurso possibilitava ao usuário caminhar virtualmente no ambiente a ser construído, de modo a investigar e avaliar o que foi projetado e comparar alternativas passíveis de serem implementadas. Outro exemplo é o estudo de Chantawit et al. (2005), que utilizaram a realidade virtual para integrar os planos relacionados à segurança do canteiro de obra com objetos tridimensionais no ambiente virtual. Assim, a ferramenta desenvolvida por esses autores possibilitava identificar o momento ideal para a implementação de alguma estratégia relacionada à segurança dos trabalhadores.

Entretanto, Bhoir e Esmaeili (2015) salientam que, ainda que estes e outros estudos similares tenham sido bem-sucedidos em demonstrar que o uso da realidade virtual é útil para contribuir com a gestão dos canteiros de obras, também é possível observar algumas limitações. O principal desafio a ser superado diz respeito à praticidade no uso de realidade virtual para a análise preliminar de riscos em obras

reais, uma vez que o desenvolvimento do ambiente tridimensional é um processo que requer grande quantidade de recursos e experiência (BHOIR; ESMAEILI, 2015).

A quantidade substancial de tempo, experiência e investimento financeiro necessários para a construção de modelos tridimensionais para análise preliminar de riscos nos canteiros de obras é uma preocupação constante na literatura científica (DU et al., 2018; HILFERT; KÖNIG, 2016; LE et al., 2015; WOKSEPP; OLOFSSON, 2008). A cada mudança ocorrida no projeto e planejamento do empreendimento, é necessário realizar adaptações no ambiente de realidade virtual, processo muito trabalhoso e custoso (HILFERT; KÖNIG, 2016). De fato, essa é uma das razões para inibir o uso da realidade virtual nos canteiros de obras. No estudo realizado por Woksepp e Olofsson (2008) que investigou a experiência de profissionais da construção civil que faziam uso da tecnologia, observou-se que muitas das práticas relacionadas ao planejamento das operações da obra ainda eram realizadas do modo tradicional. Segundo esses autores, uma das razões para essa situação era que os modelos em realidade virtual não estavam disponíveis, uma vez que não havia tempo suficiente para o desenvolvimento e apresentação dos modelos virtuais à equipe de planejamento.

Com o intuito de automatizar as atualizações no ambiente de realidade virtual, Du et al. (2018) desenvolveram um sistema de sincronização em tempo real entre os projetos desenvolvidos com tecnologia BIM e o ambiente de realidade virtual. A ferramenta, denominada BVRS, utiliza *cloud servers*⁷ para constantemente requisitar acesso aos dados do *software* compatível com tecnologia BIM utilizado para o projeto do empreendimento, de modo extrair possíveis mudanças ocorridas no projeto. Essas alterações são transmitidas automaticamente ao *software* de desenvolvimento do ambiente virtual.

Ainda que tenha contribuído substancialmente para a agilidade no desenvolvimento de modelos em realidade virtual, o recurso desenvolvido por Du et al. (2018) enfrenta limitações. Como discutido pelos próprios autores, ao lidar com projetos muito complexos e com muitas informações, o fluxo de dados que transita pelo *cloud server* é intenso, de modo que é necessário boa conexão com a *internet* para que seja possível utilizar a ferramenta (DU et al., 2018). Além disso, o teste realizado pelos autores para validar a eficiência da ferramenta na atualização

⁷ *Cloud servers* são servidores computacionais em que a veiculação de informações é realizada essencialmente por meio da *internet* (MICROSOFT, 2019).

automática do ambiente virtual consistiu na modificação de algumas características de um elemento pré-existente no cenário virtual – no caso, os autores alteraram o modelo de uma cadeira e de um armário. Assim, não é esclarecido se também seria possível utilizar o recurso para incluir ou excluir automaticamente elementos do cenário tridimensional, funcionalidade essencial para a automação do processo de atualização do ambiente de realidade virtual.

Outra limitação observada nos estudos relacionados a essa temática diz respeito ao realismo presente na cena. Uma vez que o objetivo pretendido é de constatar riscos em um projeto real, é necessário que a simulação represente adequadamente as condições desse projeto. Contudo, muitas vezes, a simulação é desenvolvida sob a premissa de que todas as circunstâncias são ideais, de modo que não há interrupções externas, como falhas humanas e intempéries, que poderiam interferir na análise do ambiente de trabalho (GOULDING et al., 2012).

A situação oposta também é um problema enfrentado: muitas vezes, os desenvolvedores do ambiente de realidade virtual permitem que situações de insegurança improváveis aconteçam na realidade virtual, de modo a não representar fielmente o que ocorre no canteiro de obra. É o caso do estudo realizado por Lu e Davis (2016), em que os usuários de um sistema de realidade virtual deveriam mover certa quantidade de tijolos para um determinado local. Como possíveis rotas para realizar esse deslocamento, eles poderiam utilizar um caminho mais longo ou atravessar o local de uma escavação por meio de uma prancha estreita desprotegida. Como constatado pelos próprios autores do estudo, em um projeto real de canteiro de obra seria inaceitável permitir que um risco como esse existisse.

4.5.2 Uso da Tecnologia de Jogos

Como ressaltado na subseção 4.5.1 deste capítulo, uma das limitações envolvendo o uso da tecnologia de realidade virtual diz respeito à necessidade de habilidades avançadas em programação para criar o ambiente virtual. Nesse cenário, as *game engines* têm se revelado uma alternativa promissora para lidar com esse problema (BHOIR; ESMAEILI, 2015).

Entretanto, o uso que tem sido dado às *game engines* se restringe, principalmente, a sua utilização unicamente enquanto facilitadoras do processo de desenvolvimento do ambiente virtual. Assim, há uma carência de estudos que

transcendam a essa funcionalidade e utilizem conscientemente estratégias baseadas em jogos, como as destacadas no Capítulo 3 deste trabalho, para enriquecer a experiência do usuário durante a simulação. De fato, Lu e Davis (2016) salientam que, apesar de existirem diversos jogos para a simulação de operações relacionadas à construção civil, poucos estudos científicos têm realmente utilizado esses recursos para pesquisas relacionadas à gestão da segurança na construção civil.

4.5.3 Treinamento e Capacitação da Equipe de Trabalho

Como visto na subseção 4.3.2 deste capítulo, a tecnologia da realidade virtual apresenta grandes benefícios para ser utilizada no treinamento e capacitação da equipe de trabalho. No entanto, poucos estudos exploram seu potencial para esse fim (LE et al., 2015; SACKS; PERLMAN; BARAK, 2013).

O desenvolvimento de sistemas de realidade virtual para a capacitação de profissionais não encontra tantos entraves relacionados ao tempo e esforço necessário para a construção do cenário virtual. Diferentemente do uso para análise preliminar de riscos em obras reais, nesse caso a simulação pode ser realizada com cenários fictícios desenvolvidos especialmente para essa finalidade. Assim, não há necessidade de refazê-los ou atualizá-los constantemente, haja vista que não se possui necessariamente vínculo com empreendimentos reais. Contudo, há desafios a serem superados em relação à habilidade necessária para manipulação da simulação, uma vez que os trabalhadores da construção civil geralmente não possuem conhecimento aprofundado no uso de aplicações computacionais (BHOIR; ESMAEILI, 2015).

Outra deficiência constatada nos estudos já realizados é a falta de meios para mensurar adequadamente a contribuição do uso da tecnologia da realidade virtual para a transferência e retenção do conhecimento (BHOIR; ESMAEILI, 2015; SACKS; PERLMAN; BARAK, 2013). De acordo com Bhoir e Esmaeili (2015), é necessário encontrar meios mais objetivos para realizar essa mensuração. A título de exemplo, cita-se o estudo de Zhao, Lucas e Thabet (2009), que desenvolveram uma simulação virtual de treinamento para promover a percepção dos trabalhadores quanto a situações de riscos associados a acidentes elétricos. Para Bhoir e Esmaeili (2015), apesar de os autores do estudo terem considerado que a ferramenta criada

contribui para melhorar a compreensão dos usuários sobre as situações simuladas no ambiente virtual, ainda é necessário validar devidamente a real eficiência dessa ferramenta para promover o aprendizado da equipe de trabalho.

A falta de meios objetivos para mensurar a eficiência do uso da realidade virtual para capacitação da equipe de trabalho gera ceticismo nos profissionais atuantes no setor. Bhoir e Esmaeili (2015) consultaram centros de treinamentos e profissionais especializados em capacitações relacionadas à segurança dos trabalhadores sobre sua percepção no uso da tecnologia para esse fim. Contrariamente aos benefícios relatados na literatura, os entrevistados relataram acreditar que somente a experiência prática no ambiente de trabalho seria de fato eficiente para realizar essa capacitação.

Por fim, é importante ressaltar que o uso da tecnologia de realidade virtual para treinamentos e capacitações também esbarra em dificuldades operacionais. Ao utilizar a tecnologia para capacitar um grupo de trabalhadores, Sacks, Perlman e Barak (2013) relataram dificuldades para lidar com um grande número de usuários. Segundo esses autores, o máximo efeito de imersão do usuário ocorre quando ele experiencia o ambiente virtual individualmente, possuindo todo o controle para realizar interações com o cenário virtual. Contudo, no caso do estudo realizado, o uso individual da ferramenta não era possível por restrições de tempo, de modo que era necessário realizar o treinamento com 10 a 12 usuários simultaneamente. Assim, a cada momento, um usuário diferente possuía o controle sobre as interações com o ambiente virtual, sendo que os demais usuários tinham sua experiência restrita a somente acompanhar os comandos dados pelo controlador da simulação (SACKS; PERLMAN; BARAK, 2013).

4.5.4 Comparação entre Dispositivos

Como visto, um dos desafios enfrentados no uso da tecnologia de realidade virtual se refere ao acesso limitado aos dispositivos necessários. Para a visualização de modelos muito detalhados, é necessário grande capacidade de processamento dos dispositivos computacionais, além de *softwares* de realidade virtuais bastante robustos (WOKSEPP; OLOFSSON; JONGELING, 2005). Apesar de já existirem diversos equipamentos capazes de desempenhar essa tarefa, seus custos geralmente são elevados (WANG et al., 2018). Evidencia-se, assim, a necessidade

de explorar dispositivos de baixo custo que possam fornecer uma experiência segura com interações satisfatórias (KIM et al., 2013).

Nesse contexto, observa-se que o desenvolvimento de novos recursos baseados na tecnologia de realidade virtual tem sofrido uma transição. Os dispositivos que necessitam de um computador para projeção da simulação têm dado espaço aos dispositivos portáteis, que utilizam o *smartphone* para projetar o ambiente virtual com características de imersão e interatividade satisfatórias (WANG et al., 2018). Para Li et al. (2018), o uso desses dispositivos portáteis de realidade virtual parece ser inevitável, com grande potencial para enriquecer a maneira com que as informações são acessadas e processadas nas tarefas cotidianas.

De fato, essa tendência de transição dos dispositivos mais robustos para os recursos portáteis tem se evidenciado no mercado consumidor. Como observado na Tabela 1, os usuários têm renunciado à alta qualidade de simulação e interação dos HMDs de maior prestígio, como o *HTC Vive®* e o *Oculus Rift®*, optando pela flexibilidade e simplicidade de dispositivos mais baratos, como o *Google Cardboard®* e *Samsung Gear VR®* (MEALY, 2018).

Tabela 1 – Previsão de vendas de dispositivos de realidade virtual reportadas pelo portal Statista a partir de Novembro/2017

Dispositivo	Unidades Vendidas
<i>HTC Vive®</i>	1,35 milhões
<i>Oculus Rift®</i>	1,1 milhões
<i>Sony Playstation VR®</i>	3,35 milhões
<i>Samsung Gear VR®</i>	8,2 milhões
<i>Google Daydream®</i>	2,35 milhões
<i>Google Cardboard®</i>	Mais de 10 milhões

Fonte: Mealy (2018, p. 28)

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Dinâmica, inovadora e cativante, a tecnologia da realidade virtual tem amadurecido ao longo dos anos. O ritmo com que seu desenvolvimento tem ocorrido, assim como os diversos benefícios relatados pelos seus usuários, evidenciam uma tendência de que essa tecnologia ganhe ainda maior espaço e protagonismo na sociedade nos próximos anos.

Contudo, do ponto de vista do desenvolvedor de sistemas de realidade virtual, é necessário ter cautela e foco na criação de novos recursos baseados nessa tecnologia. Como visto, a realidade virtual envolve diversos aspectos técnicos complexos que precisam ser considerados para que seja possível proporcionar uma experiência agradável ao usuário.

Ademais, é necessário encontrar soluções para os diversos desafios e limitações relatados pelos seus usuários. É preciso prover maior flexibilidade e simplicidade à tecnologia, facilitando seu uso e possibilitando preços mais acessíveis. Desse modo, promove-se sua disseminação no mercado consumidor, contribuindo para que seu protagonismo na sociedade possa de fato ocorrer.

5 MÉTODO DE PESQUISA

O presente estudo busca discutir diretrizes para o desenvolvimento de recursos de realidade virtual e jogos para capacitação de gestores da construção. Para fundamentar sua discussão, relata o processo de criação de um simulador nesse contexto. Assim, evidenciam-se contribuições teóricas (as diretrizes) e práticas (o simulador) à área do conhecimento. Nesse sentido, nota-se que a estratégia de pesquisa denominada *Design Science Research* (DSR) é bastante adequada para ser utilizada, pois permite que o pesquisador não se limite à descrição de um determinado fenômeno, mas também projete soluções para os problemas encontrados, justamente fomentando contribuições teóricas e práticas (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015).

Lacerda et al. (2013) e Dresch, Lacerda e Miguel (2015) orientam a respeito de cinco etapas a serem seguidas na aplicação da *Design Science Research*, a saber: conscientização (1), sugestão (2), desenvolvimento (3), avaliação (4) e conclusão (5). Nas fases (1) e (2), é necessário se conscientizar sobre o problema sendo estudado e explicitar soluções para lidar com o tema. Além de identificar claramente o problema de interesse, é necessário compreender todas as suas dimensões e inter-relações com o contexto em que está inserido (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015; LACERDA et al., 2013).

Na etapa (3) é desenvolvida uma possível solução para o problema estudado, denominada artefato (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015; LACERDA et al., 2013). De acordo com Weber (2018), a literatura sobre DSR aponta que esses artefatos podem assumir quatro formas: constructos, modelos, métodos ou instanciações. Contudo, esse autor explica que, no desenvolvimento de estudos envolvendo a criação de *hardwares* e *softwares*, o artefato produzido pode ser entendido sinteticamente como o agrupamento indissociável de dois componentes: o *software/hardware* gerado e a teoria que embasa a criação desta ferramenta. Assim, o resultado da etapa (3) é o artefato em seu estado funcional (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015; LACERDA et al., 2013).

Nas fases (4) e (5), avalia-se se o comportamento do artefato no ambiente para o qual foi projetado de fato atende ao objetivo para o qual ele foi concebido. A partir da avaliação realizada, extraem-se reflexões e considerações. Faz-se, assim,

a formalização geral do processo, que constitui a conclusão (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015; LACERDA et al., 2013).

As cinco etapas propostas por Dresch, Lacerda e Miguel (2015) e Lacerda et al. (2013) foram utilizadas para estruturar o método desta pesquisa, conforme fluxograma exibido na Figura 10. Ressalta-se que na Figura 10 se apresenta o delineamento geral do método desta pesquisa de modo bastante sintético, para que o leitor se situe a respeito das inter-relações entre os diversos estudos e fases que constituem esta pesquisa. Cada uma dessas etapas será adequadamente discutida posteriormente, nas seções 5.1 a 5.3 deste trabalho.

Figura 10 – Delineamento geral do método de pesquisa
CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA (1) E SUGESTÃO DE SOLUÇÃO (2)



Fonte: o próprio autor

5.1 CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA E SUGESTÃO DE SOLUÇÃO

Para o profundo entendimento do problema sendo abordado, foi realizada uma extensa revisão bibliográfica sobre o assunto. Foram consultados artigos científicos publicados em periódicos científicos nacionais e internacionais, além de trabalhos publicados em anais de eventos, livros, dissertações e teses. A busca foi realizada nos indexadores *Scielo*, *Science Direct*, *Google Scholar*, Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES e Plataforma CAPES Periódicos. A revisão bibliográfica, resultante dessa análise, foi apresentada nos Capítulos 1 a 4 deste trabalho.

Procurou-se enfatizar o atual estado da arte e as deficiências apresentadas na gestão da segurança dos canteiros de obras da construção civil. Ademais, estabeleceu-se foco nos aspectos técnicos relacionados ao desenvolvimento de ferramentas baseadas na tecnologia da realidade virtual e no universo dos jogos, assim como estudos já realizados nessa temática, aplicados na construção civil ou em outras indústrias, explicitando suas principais contribuições e limitações.

Paralelamente à análise da literatura, desenvolveu-se um estudo de caráter exploratório, denominado Estudo I, para vivenciar na prática os benefícios e limitações do uso da tecnologia da realidade virtual na gestão da segurança na construção civil. O método utilizado para a realização deste estudo em particular será relatado a seguir, na subseção 5.1.1 deste trabalho. Os resultados obtidos, por sua vez, encontram-se descritos na subseção 6.1.1.

A partir das reflexões compreendidas com base na análise da literatura e da realização do Estudo I, foi possível estabelecer premissas para a concepção de um recurso de simulação denominado Projeto Obra Segura. Este simulador foi idealizado a partir do uso associado de estratégias baseadas em jogos e da tecnologia da realidade virtual com o propósito de capacitar gestores de obras da construção civil em relação à gestão da segurança do ambiente de trabalho. As premissas estabelecidas são descritas na subseção 6.1.2 deste trabalho.

5.1.1 Estudo I

No momento da realização do Estudo I, todavia não se havia compreendido a relevância da associação do arcabouço teórico do universo dos jogos com a

tecnologia da realidade virtual para o enriquecimento da experiência do usuário. Assim, as estratégias baseadas em jogos não foram conscientemente exploradas neste estudo. Ademais, nesse momento da realização da pesquisa, tinha-se a pretensão de utilizar a tecnologia da realidade virtual para auxiliar gestores na antecipação de fatores que ofereceriam risco em etapas futuras da execução da obra em que esses profissionais estariam envolvidos (uso enquanto recurso de prototipagem). Como será adequadamente discutido na subseção 6.1.2 deste trabalho, foi somente após este estudo que a pesquisa foi delimitada com foco na capacitação do gestor de obra e no uso associado de estratégias baseadas em jogos e da tecnologia da realidade virtual.

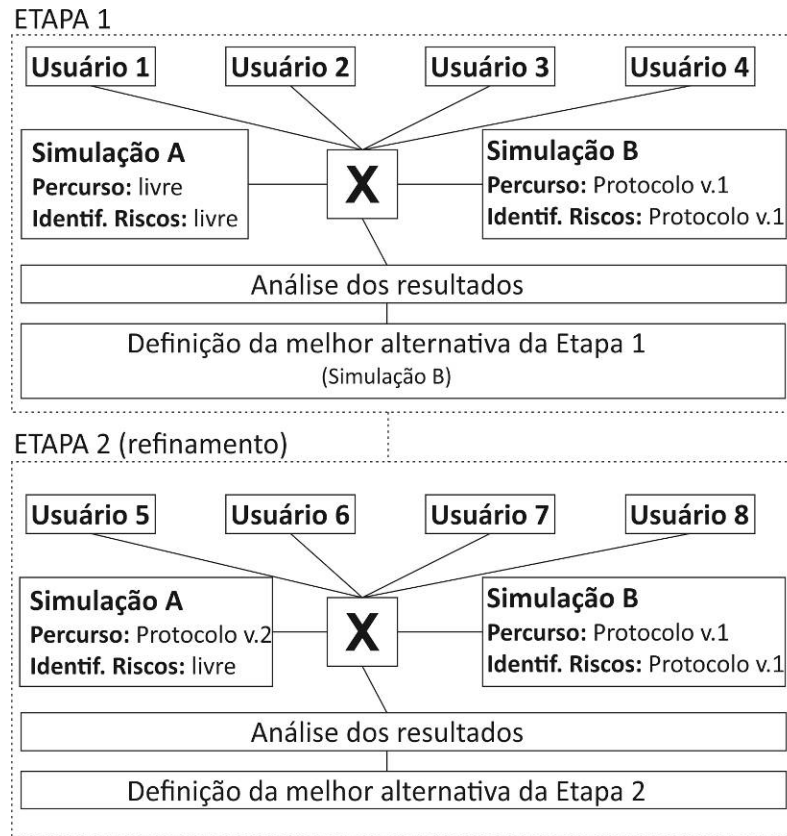
A realização do presente estudo foi dividida em duas etapas. Na Etapa 1, foram convidados quatro usuários para participar de duas simulações de canteiros de obras em ambiente de realidade virtual, sendo que em cada simulação se utilizava uma dinâmica diferente de exploração do ambiente virtual. Em ambas as simulações, o objetivo do usuário era explorar a simulação e identificar riscos à segurança dos trabalhadores, verbalizando-os em voz alta para o pesquisador autor deste trabalho, que atuou como instrutor ao longo do processo de simulação. Na Simulação A, o usuário possuía autonomia total para percorrer o canteiro de obras, visitando as áreas do canteiro e identificando os riscos relativos à segurança dos trabalhadores da maneira que fosse de sua preferência. Já na Simulação B, a autonomia do usuário para explorar a simulação era mínima, de modo que ele deveria se locomover e identificar riscos no canteiro de obras seguindo rigidamente as orientações de um protocolo desenvolvido pelo autor deste estudo (Protocolo v.1), verbalizado pelo instrutor no momento da simulação.

Na Etapa 2, devido aos resultados obtidos na Etapa 1 que apontaram a preferência dos usuários pelo modo de Simulação B (conforme será discutido em detalhes na subseção 6.1.1 deste trabalho), realizou-se uma nova rodada de simulações com outros quatro usuários, para que fosse feito um refinamento do protocolo desenvolvido. A segunda etapa do estudo seguiu a mesma dinâmica da Etapa 1, diferenciando-se no modo de Simulação A, em que o usuário deveria seguir as orientações de uma versão alternativa do protocolo (Protocolo v.2) em que se regulava sua locomoção no canteiro, mas se conferia autonomia para decidir como identificar os riscos em cada ambiente visitado. Na Simulação B, foi mantido o protocolo utilizado na Etapa 1 (Protocolo v.1), em que também se estabelecia

instruções rigorosas em relação ao modo com que os riscos deveriam ser identificados na simulação.

Em síntese, o método utilizado no Estudo I é apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Método utilizado no Estudo I



Fonte: o próprio autor

Como já discutido no Capítulo 1 deste trabalho, a exploração das simulações de canteiros de obras em ambiente de realidade virtual utilizadas neste estudo foi direcionada a usuários que atuassem como gestores das obras de construção civil, por serem estes profissionais os principais responsáveis pela gestão da segurança dessas obras. Outra importante premissa para a seleção dos participantes de estudo estava relacionada à intenção de que o recurso fosse adequado para ser utilizado por gestores com diferentes níveis de experiência no mercado de trabalho, abrangendo desde gestores que estão iniciando suas carreiras até os profissionais com anos de experiência na profissão.

Assim, foram convidados para participar do estudo oito profissionais que fossem gestores (ou potenciais gestores) de obras da construção civil. Destes,

quatro eram engenheiros civis com experiência prática na gestão de obras, enquanto que os outros quatro eram acadêmicos do curso de engenharia civil (considerados futuros gestores de obras) que já haviam concluído a disciplina que aborda o conteúdo de saúde e segurança do trabalho em sua formação acadêmica.

Considerando os componentes de um ambiente de realidade virtual descritos por Tori, Kirner e Siscoutto (2006), tecem-se as seguintes considerações sobre elementos que foram utilizados para compor o sistema de realidade virtual utilizado no Estudo I:

- a) ambiente computacional: a simulação foi realizada utilizando um dispositivo móvel com sistema operacional iOS®, por meio de um aplicativo instalado no dispositivo para este fim. O aplicativo permitia inserir modelos tridimensionais desenvolvidos em *softwares* tradicionalmente utilizados na área da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), de modo a visualizá-los sob a perspectiva de realidade virtual;
- b) tecnologia de realidade virtual: para a visualização da modelagem no ambiente de realidade virtual, o dispositivo móvel mencionado na alínea ‘a’ foi acoplado aos óculos de realidade virtual compatíveis com a tecnologia *Google CardBoard®*, conforme Figura 12. Esses óculos possibilitam visualizar o modelo tridimensional em ambiente de realidade virtual por meio da tela do dispositivo móvel, e interagir com a simulação utilizando um botão na estrutura dos óculos;

Figura 12 – Óculos de realidade virtual utilizados na simulação



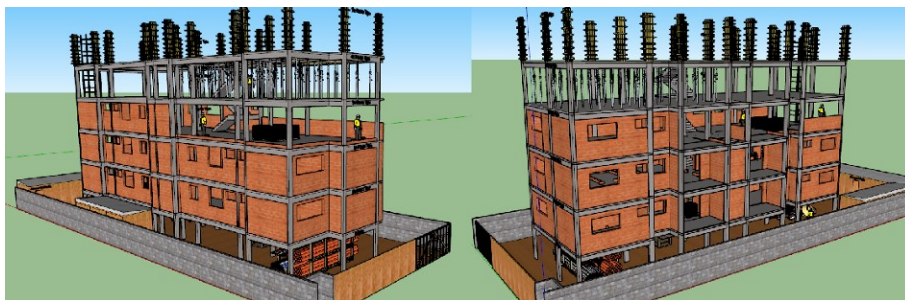
Fonte: o próprio autor

- c) forma de interação: a combinação do ambiente computacional descrito na alínea ‘a’ com o dispositivo sensorial detalhado na alínea ‘b’ possibilitou realizar a simulação dos modelos tridimensionais em ambiente de realidade

virtual, de modo que o usuário poderia visualizar qualquer região do cenário tridimensional sob diferentes perspectivas, rotacionando sua cabeça. Além disso, ao pressionar o botão existente nos óculos, o usuário também podia caminhar pelo canteiro de obras, explorando todos os locais do cenário tridimensional;

- d) ambiente virtual: dois canteiros de obras referentes à execução de dois edifícios residenciais compostos por térreo e cinco pavimentos tipo foram modelados. O canteiro de obra A, utilizado nas Etapas 1 e 2 para a Simulação A, é apresentado à esquerda na Figura 13, enquanto o canteiro de obra B, utilizado nas Etapas 1 e 2 para a Simulação B, é ilustrado à direita na Figura 13.

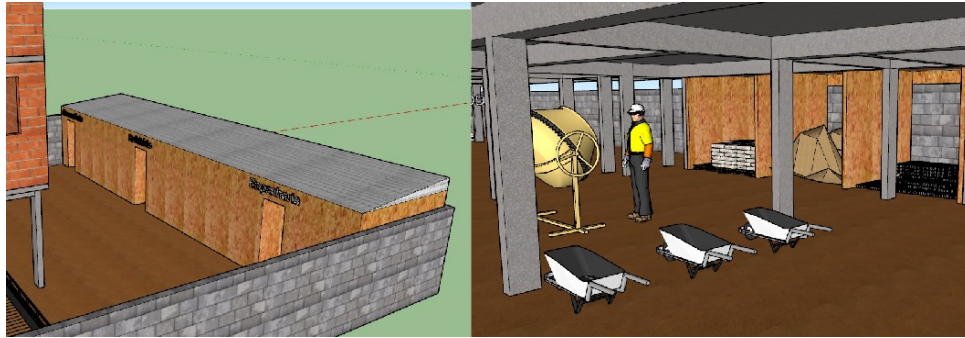
Figura 13 – Canteiros de obras A (esquerda) e B (direita)



Fonte: o próprio autor

Ambos os canteiros de obras foram modelados representando uma fase da construção do empreendimento em que se executava a elevação de alvenaria interna nos dois primeiros pavimentos tipo, elevação de alvenaria externa no terceiro tipo, retirada de escoras que apoiavam a laje no quarto tipo e desforma de pilares no último pavimento. No pavimento térreo, foram representadas diversas áreas de apoio à produção, como central de carpintaria, central de argamassas, refeitório, sala de engenharia, almoxarifado e estoques diversos, como ilustrado na Figura 14.

Figura 14 – Áreas de apoio à produção



Fonte: o próprio autor

Com o intuito de enriquecer os cenários tridimensionais com detalhes que possibilitassem maior realismo ao longo da simulação, também foram incluídos nas modelagens diversos elementos como estoques temporários de materiais, equipamentos, ferramentas, veículos e avatares de trabalhadores, conforme apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Detalhes das modelagens



Fonte: o próprio autor

Ressalta-se que, apesar de os canteiros de obras A e B terem sido modelados seguindo as mesmas fases construtivas do empreendimento, áreas de apoio à produção e detalhamentos da execução da obra, os dois modelos resguardavam entre si substanciais diferenças relacionadas ao *layout* do canteiro de obras e dos próprios empreendimentos a serem construídos. Também se salienta que, antes de iniciar cada simulação, os usuários foram informados sobre a situação do canteiro que iriam explorar por meio de um breve resumo apresentado oralmente pelo instrutor da simulação, além de fotos ilustrativas de cada canteiro de obras.

Conforme já relatado, foram desenvolvidos dois protocolos para guiar as simulações realizadas:

- a) Protocolo v.1: utilizado na Simulação B das Etapas 1 e 2;
- b) Protocolo v.2: utilizado na Simulação A da Etapa 2.

O Protocolo v.1 tinha como premissa ser bastante rígido na maneira com que o usuário se deslocava no cenário tridimensional e no modo com que ele identificava os riscos existentes no ambiente de trabalho. Dessa forma, o algoritmo utilizado para seu desenvolvimento consistia em guiar o usuário para cada estação de trabalho do canteiro de obra, solicitar que ele observasse o local por todas as perspectivas possíveis e questioná-lo sobre a possível existência de riscos à segurança dos trabalhadores, considerando as categorias de risco expostas por Albert et al. (2014). No Quadro 4, apresenta-se parte do Protocolo v.1.

Quadro 4 – Excerto do Protocolo v.1

Inicie sua inspeção no térreo do canteiro de obras, na central de carpintaria. Olhe para todas as direções, inclusive para cima e para baixo.

- Existe possibilidade de queda de algum elemento sobre os trabalhadores ali presentes?
- Existe alguma chance de colisão com elementos em movimento?
- Existe possibilidade de o operário se machucar ao realizar o movimento necessário para a execução do seu trabalho?
- Existe possibilidade de acidente mecânico por conta de algum equipamento ou ferramenta sendo utilizado no local?
- Existe alguma chance de choque elétrico?
- Existe algum perigo associado a elementos pressurizados, quentes, frios, inflamáveis, radioativos, tóxicos, poeira excessiva ou com qualquer outra característica que possa causar danos à saúde humana?
- Existe algum tipo de elemento orgânico (animais, plantas, água, alimento) que, nas condições em que se encontram, possam causar dano ao trabalhador?
- Existe algum tipo de fonte emissora de ruídos que seja incômoda ao trabalhador?

Vá para a central de argamassas e faça o mesmo processo [...]

Fonte: o próprio autor

O Protocolo v.2 foi desenvolvido com a premissa de ser uma versão alternativa ao Protocolo v.1, não tão rígida quanto essa versão anterior. Desse modo, manteve-se o rigor na maneira com que o usuário deveria se deslocar no canteiro de obra, mas, uma vez situado em cada estação de trabalho, este poderia identificar os riscos à segurança dos operários conforme sua preferência. No Quadro 5, expõe-se parte do Protocolo v.2.

Quadro 5 – Excerto do Protocolo v.2

Inicie sua inspeção no térreo do canteiro de obras, na central de carpintaria. Olhe para todas as direções, inclusive para cima e para baixo. Consegue perceber algum fator que ofereça risco à saúde e segurança dos trabalhadores que executam operações nesse local?

Vá para a central de argamassas e faça o mesmo processo [...]

Fonte: o próprio autor

Em cada etapa da realização do estudo, para que fosse possível avaliar qual simulação obteve melhor desempenho em relação à exploração virtual do canteiro de obra para a identificação de riscos aos trabalhadores, observaram-se algumas fontes de evidência. Durante cada simulação, foi cronometrado o tempo utilizado pelos usuários para explorar todo o canteiro de obra. Além disso, os riscos levantados por cada usuário também foram quantificados e categorizados a partir da classificação proposta por Albert et al. (2014). Por meio de observação direta e de uma entrevista realizada com os usuários após as simulações, também foram registradas as manifestações dos usuários sobre as dificuldades, facilidades e sugestões para utilização do dispositivo de realidade virtual.

5.2 DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

5.2.1 Caracterização do Artefato Desenvolvido

O artefato, na ótica da DSR, é um dos principais componentes dos estudos baseados nessa estratégia de pesquisa. Por meio dele, expressa-se a solução proposta para a problemática sendo discutida. É importante ressaltar, todavia, que o desenvolvimento do artefato, *per se*, não caracteriza um estudo como DSR – é

necessário testá-lo e extrair reflexões, que também são importantes produtos resultantes de investigações baseadas na *Design Science Research* (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015).

De modo geral, os artefatos são constituídos por constructos, modelos, métodos ou instanciações, mas também podem incluir inovações (PEFFERS et al., 2007). Assim, para esses autores, uma definição mais genérica para os artefatos é entendê-los como um determinado recurso projetado como solução para a problemática em foco, assim como a contribuição científica intrínseca ao processo de desenvolvimento desse recurso. Weber (2018) também corrobora com essa definição, ao afirmar que a DSR produz um conjunto indissociável de dois elementos: o recurso desenvolvido e a teoria que é aplicada para seu desenvolvimento.

No presente trabalho, relata-se o processo de desenvolvimento de um recurso de simulação denominado “Projeto Obra Segura”. Ao ser avaliado, foram extraídas reflexões para esclarecer quais estratégias adotadas em sua concepção foram importantes para capacitar os usuários para a finalidade pretendida. Essas reflexões embasaram a concepção de diretrizes para desenvolvimento de recursos baseados em jogos e realidade virtual para capacitação de gestores de obras, que constituem uma importante contribuição científica para a abordagem da problemática em foco neste trabalho. Assim, entende-se que o artefato desta pesquisa é caracterizado pelo conjunto composto pelo recurso de simulação “Projeto Obra Segura” e pelas diretrizes intrínsecas ao seu processo de desenvolvimento.

5.2.2 Processo de Desenvolvimento do Projeto Obra Segura

As constatações da realização do Estudo I e da revisão de literatura permitiram estabelecer premissas (que serão relatadas na subseção 6.1.2 deste trabalho) para o desenvolvimento do Projeto Obra Segura. A criação do recurso se deu em três etapas, a saber:

- a) criação de um protótipo do Projeto Obra Segura, limitado aos três primeiros níveis do simulador (cenas 1, 2 e 3);
- b) estudo, de caráter exploratório, para verificar a convergência da estratégia estabelecida para o desenvolvimento do recurso e o objetivo estabelecido

(Estudo II). Este segundo estudo será adequadamente descrito na subseção 5.2.3 deste trabalho;

- c) melhorias nas três primeiras cenas do simulador conforme *feedback* fornecido no Estudo II e criação das demais cenas.

Considerando os componentes de um sistema de realidade virtual descritos por Tori, Kirner e Siscoutto (2006), tecem-se as seguintes considerações sobre o Projeto Obra Segura:

- a) ambiente computacional: o simulador foi desenvolvido utilizando a *game engine Unreal Engine®*, versão 4.20.3. Como visto no Capítulo 4 deste trabalho, esta ferramenta permite que usuários com pouco conhecimento sobre fundamentos de programação computacional criem recursos, como jogos e simuladores, imersivos e realistas. O projeto desenvolvido na *Unreal Engine®* foi exportado para ser utilizado como um aplicativo compatível com dispositivos móveis que empregam sistema operacional *Android®*;
- b) tecnologia de realidade virtual: o Projeto Obra Segura foi concebido de forma a ser necessária a utilização dos mesmos óculos de realidade virtual utilizados no Estudo I, compatíveis com a tecnologia *Google CardBoard®*, para a visualização do simulador. Assim, o dispositivo móvel mencionado na alínea 'a' necessitava ser acoplado aos óculos para permitir a utilização do simulador. Além disso, para facilitar a execução de ações, como caminhar e interagir com os trabalhadores virtuais no cenário tridimensional, concebeu-se o simulador de forma a ser imperativo o uso de um *gamepad*, como o mostrado na Figura 16;

Figura 16 – Exemplo de *gamepad* a ser utilizado para interação com o Projeto Obra Segura



Fonte: o próprio autor

- c) forma de interação: o simulador foi programado de forma a permitir duas formas de interação do usuário com o ambiente virtual. Uma das possibilidades de interação era a navegação pelo cenário tridimensional, caminhando pela cena ilustrada e observando-a em diferentes perspectivas, sendo também possível caminhar sobre botões virtuais presentes na cena, o que acionava a execução de animações e dava continuidade à narrativa. A outra forma de interação consistia na interação com trabalhadores presentes na cena, pressionando o botão esquerdo no *gamepad*, o que acionava a reprodução de falas previamente programadas dos trabalhadores virtuais, enriquecendo as informações sobre a situação que eram fornecidas ao usuário;

Cabe ressaltar que, por obrigações éticas e morais, tomou-se os devidos cuidados, ao longo do desenvolvimento do simulador, para que fossem utilizados elementos cujos direitos autorais permitissem sua reprodução. Assim, todos os elementos tridimensionais, animações, efeitos sonoros, texturas e *softwares* utilizados se enquadravam em uma das seguintes condições:

- a) eram de autoria própria;
- b) eram de domínio público;
- c) possuíam licença que permitiam sua utilização em projetos de terceiros.

5.2.3 Estudo II

O Estudo II foi realizado em meio ao processo de desenvolvimento do artefato, quando as três primeiras cenas já estavam finalizadas. A intenção do estudo era compreender se a estratégia utilizada para a concepção do Projeto Obra Segura estava adequada ao objetivo de capacitação de gestores de obras em relação ao reconhecimento e assessoramento de riscos no ambiente de trabalho.

Foram consultados dois engenheiros civis com experiência na gestão de obras da construção civil e profundo conhecimento teórico sobre saúde e segurança do trabalho na construção civil⁸, sendo esses profissionais denominados **Especialista 1 e Especialista 2**. É importante ressaltar que esses mesmos profissionais haviam participado como usuários no Estudo I, de forma que foi

⁸ Os profissionais possuíam especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho e experiência prática de mais de cinco anos como gestores de obras.

possível que eles estabelecessem comparações entre os recursos de realidade virtual utilizados nos dois estudos e avaliassem a evolução do pesquisador em vista do objetivo pretendido.

Os especialistas foram consultados individualmente. Inicialmente, o pesquisador autor deste trabalho, que atuou como instrutor no decorrer deste estudo, apresentou uma breve contextualização sobre as reflexões desenvolvidas a partir do primeiro estudo realizado e de que forma essas reflexões e a análise da literatura influenciaram no desenvolvimento do simulador. Em seguida, foi solicitado que os especialistas experimentassem, enquanto usuários, o protótipo do Projeto Obra Segura desenvolvido para este segundo estudo, composto por três cenas virtuais criadas para o simulador. Posteriormente, foi realizada uma entrevista com os especialistas, a fim de entender a percepção deles sobre a ferramenta após seu uso.

A fim de promover manifestações espontâneas dos especialistas em relação às suas percepções sobre o simulador, não foi utilizado qualquer tipo de estruturação, como questionários e formulários, para conduzir a entrevista. Entretanto, cabe ressaltar que, no decorrer da conversa com os especialistas, o pesquisador buscou elucidar os seguintes aspectos sobre o simulador desenvolvido:

- a) o conteúdo apresentado nas cenas do simulador representa adequadamente a realidade?
- b) o *layout* adotado para a cena é rápido de ser compreendido e explorado?
- c) as formas de interação com o sistema, por meio de botões no *gamepad* e acesso a botões virtuais dispostos na cena, é prático e fácil de ser utilizado?
- d) a utilização de estímulos sonoros, animações e textos de fato influem na sensação de imersão do usuário e enriquecem a compreensão das circunstâncias apresentadas em cada cena?
- e) os relatos de acidentes ocorridos no Brasil⁹ sensibilizam o usuário a respeito da efetiva possibilidade de esses acidentes acontecerem na situação, além da gravidade de sua ocorrência?
- f) comparativamente ao sistema de realidade virtual utilizado no Estudo I, as adequações promovidas no simulador do Estudo II (protótipo do Projeto

⁹ Essa fonte de informações que foi incorporada ao simulador será adequadamente apresentada ao leitor na subseção 6.2.1 deste trabalho.

Obra Segura) se mostram mais adequadas para o atendimento do objetivo pretendido?

- g) o protótipo do Projeto Obra Segura, como um todo, aparenta ser adequado para promoção da capacitação de gestores em relação às suas habilidades de reconhecimento e assessoramento de riscos no canteiro de obras?

As percepções dos especialistas foram sintetizadas na subseção 6.2.2 deste trabalho. Ressalta-se que essas contribuições influenciaram no processo de desenvolvimento do simulador, resultando em melhorias nas três primeiras cenas já concebidas e sendo também incorporadas nas demais cenas desenvolvidas posteriormente, conforme detalhado na subseção 6.2.2 deste trabalho.

5.3 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

A avaliação do artefato permitiu compreender a adequabilidade do simulador e, conseqüentemente, da abordagem do uso conjugado de realidade virtual e jogos para a capacitação de gestores de obras em relação à gestão da segurança ocupacional defendida por este trabalho. Ademais, desta etapa, abstraíram-se reflexões imperativas para o estabelecimento das diretrizes relacionadas ao uso de jogos e realidade virtual nesse contexto, que constituem o objetivo geral desta pesquisa. A seguir, descrevem-se os procedimentos adotados para a realização do terceiro e último estudo apresentado neste trabalho, denominado Estudo III, que consiste no teste e avaliação do Projeto Obra Segura.

5.3.1 Estudo III

O terceiro estudo relatado neste trabalho teve por objetivo entender se o simulador desenvolvido de fato capacita aos gestores de obras da construção civil. Caso constatada a capacitação, também se buscou compreender quais as características do simulador que foram majoritariamente responsáveis por isso.

Foram convidados a participar deste estudo engenheiros civis ou graduandos em Engenharia Civil que atuem ou almejem atuar como gestores de obras da construção civil, com diferentes níveis de experiência exercendo essa função. Os

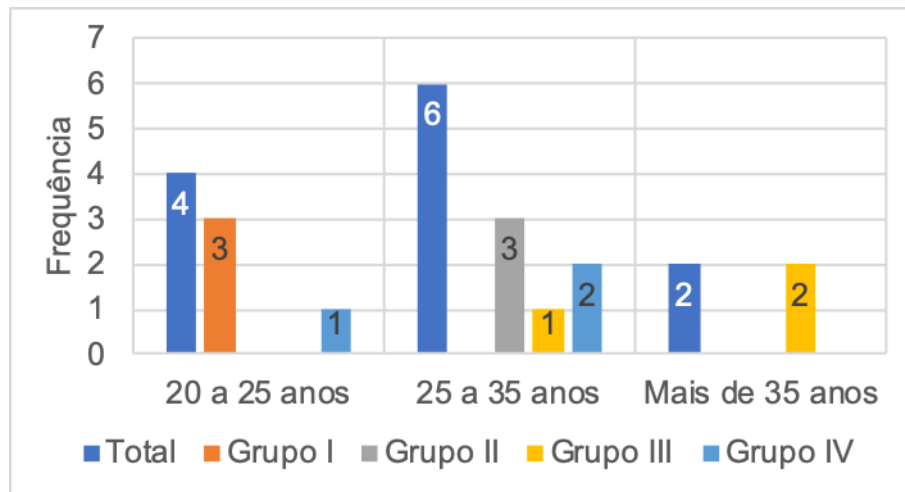
participantes foram considerados elegíveis para contribuir com o estudo caso se enquadrassem em somente um dos seguintes grupos:

- a) Grupo I: graduandos em Engenharia Civil que já cursaram a disciplina correspondente ao conteúdo de Saúde e Segurança do Trabalho em sua formação curricular;
- b) Grupo II: engenheiros civis sem especialização em segurança do trabalho e com pouca experiência (0 a 5 anos) atuando como gestores de canteiros de obras multipavimentos;
- c) Grupo III: engenheiros civis sem especialização em segurança do trabalho e com vasta experiência (mais que 5 anos) atuando como gestores de canteiros de obras multipavimentos;
- d) Grupo IV: engenheiros de segurança do trabalho ou pós-graduandos nessa especialidade.

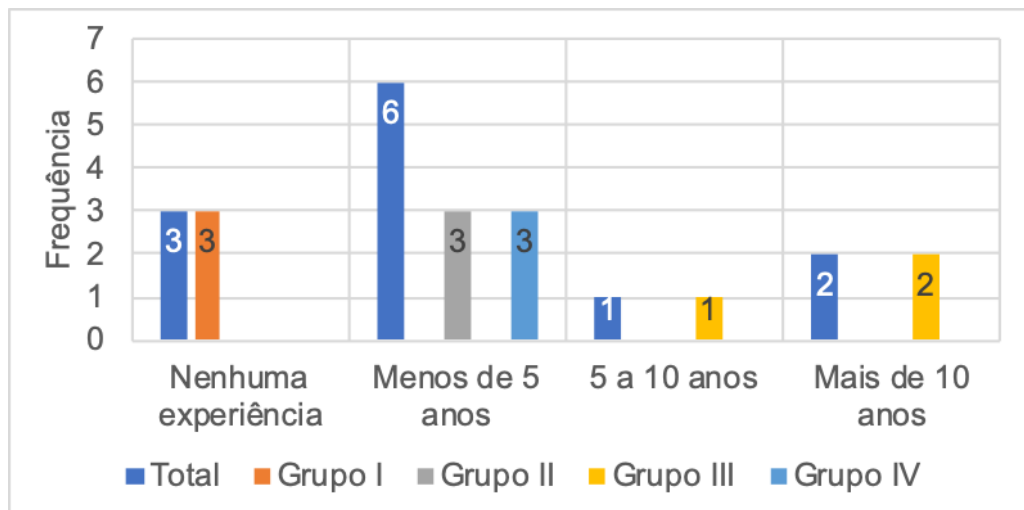
Selecionaram-se três voluntários para cada grupo, totalizando-se doze participantes. A decisão por esses grupos de interesse decorreu da necessidade de compreender qual perfil de profissional seria mais beneficiado pela experiência no simulador. Assim, caracterizaram-se grupos de futuros profissionais com pouca experiência prática e teórica (Grupo I), profissionais com experiência teórica satisfatória e pouca experiência prática (Grupo II), com experiência teórica satisfatória e vasta experiência prática (Grupo III) e vasta experiência teórica (Grupo IV).

Cabe ressaltar que o número de participantes selecionados para este estudo foi definido considerando-se, dentre outros fatores, a disponibilidade de voluntários aptos a participar. Ademais, entendeu-se que a quantidade de participantes foi satisfatória uma vez que não se pretendeu realizar análises caracterizadas por inferências estatísticas, que certamente requereriam amostras maiores para maior precisão dos dados inferidos. Conforme discutido no início deste capítulo, a etapa de avaliação em pesquisas baseadas na abordagem da *Design Science Research* tem por função, essencialmente, suscitar reflexões sobre a adequabilidade do artefato para contribuir com o objetivo pretendido. Assim, não se trata de validar o artefato, mas de avaliar e discutir seu desempenho frente à situação designada.

Em relação às idades e experiências como gestores de obras, os participantes se caracterizavam pela distribuição apresentada nas Figuras 17 e 18.

Figura 17 – Idades dos participantes

Fonte: o próprio autor

Figura 18 – Experiências dos participantes como gestores de obras

Fonte: o próprio autor

Previamente à realização dos testes, os participantes foram informados que sua contribuição seria anônima e voluntária, sendo possível que eles desistissem da participação a qualquer momento que desejassem. Os testes foram realizados individualmente, em locais sugeridos pelos participantes e em ambientes tranquilos e silenciosos em que não houvesse distrações.

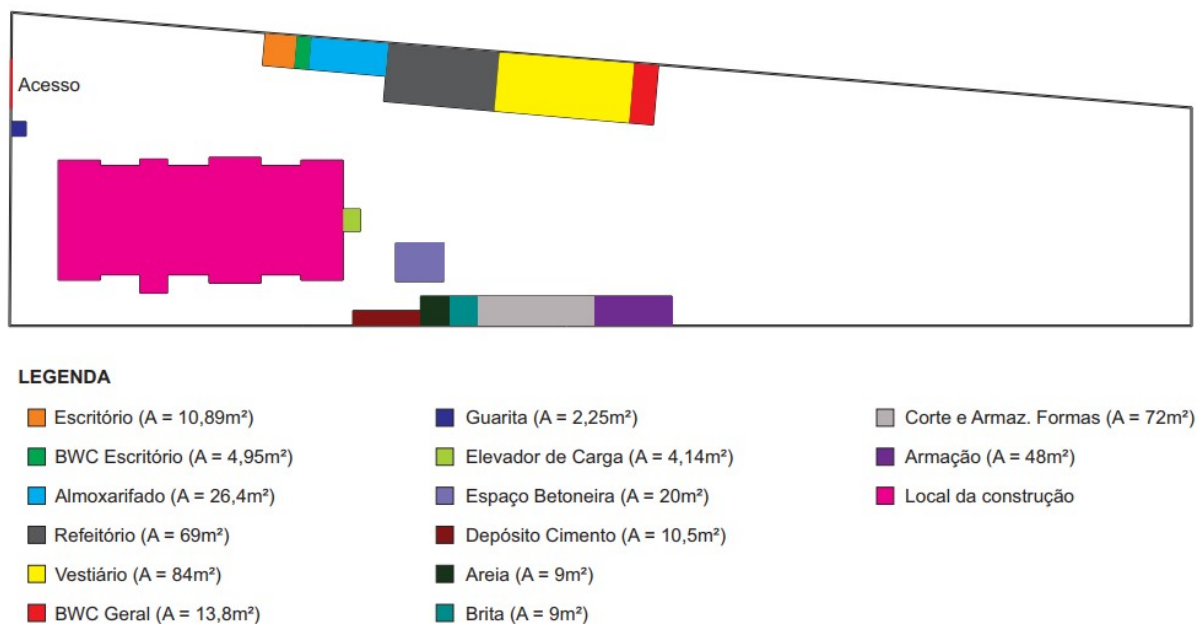
O estudo foi dividido em três etapas. **Na Etapa 1**, foi apresentado aos participantes um projeto fictício da execução de um empreendimento da construção civil. Este empreendimento consistia em duas torres residenciais que possuíam térreo e mais 8 pavimentos, com 6 apartamentos por pavimento. A tecnologia

construtiva adotada consistia em um sistema apertado com vigas, lajes e pilares em concreto armado moldado *in loco*. As vedações, por sua vez, eram de alvenaria de tijolos cerâmicos. O estacionamento dos veículos se situava no térreo da edificação, portanto, não havia subsolos.

Solicitou-se aos participantes que realizassem uma análise dos riscos à mão de obra existentes em alguns momentos específicos da execução do empreendimento. Para realizar a análise, os voluntários tiveram acesso a três fontes de dados do empreendimento, a saber:

- projeto arquitetônico 2D do empreendimento;
- linha de balanço do planejamento da execução da obra;
- croqui 2D do canteiro de obras (Figura 19).

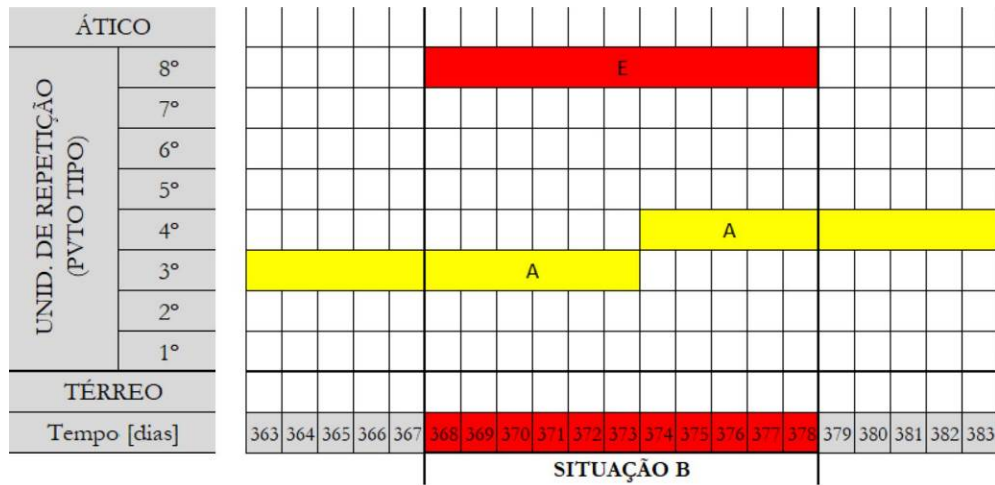
Figura 19 – Croqui do canteiro de obras utilizado no Estudo III



Fonte: o próprio autor

O projeto arquitetônico fornecido era oriundo de um empreendimento real já construído. A linha de balanço e o croqui do canteiro de obras foram elaborados de forma simplificada por uma graduanda em Engenharia Civil participante do Grupo de Pesquisa de Gestão de Processos da Construção Civil (GPCC) da Universidade Estadual de Londrina (UEL), ao qual o pesquisador autor deste trabalho também está vinculado.

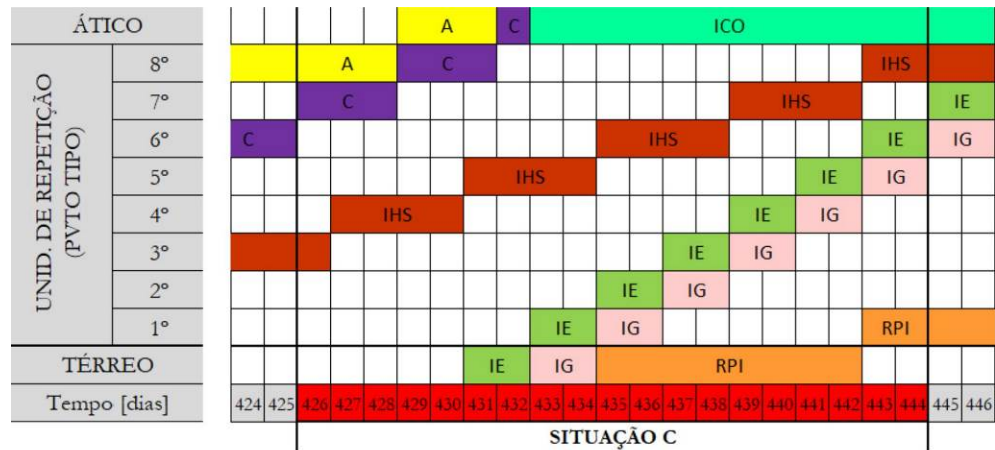
Figura 21 – Trecho da linha de balanço relacionada à Situação B



LEGENDA	
CÓDIGO	ATIVIDADE
E	Estrutura
A	Alvenaria

Fonte: o próprio autor

Figura 22 – Trecho da linha de balanço relacionada à Situação C



LEGENDA	
CÓDIGO	ATIVIDADE
A	Alvenaria
C	Contramarcos
ICO	Impermeabilização e cobertura (ático)
IHS	Instalações hidrossanitárias e prevenção contra incêndio
IE	Instalações elétricas
IG	Instalações de gás
RPI	Revestimento de paredes internas

Fonte: o próprio autor

Em cada uma das situações, os participantes deveriam identificar os possíveis riscos aos quais os trabalhadores estariam expostos. Em seguida, necessitavam classificar sua severidade em leve, sério ou grave. Por fim, deveriam propor medidas que diminuíssem os riscos identificados ou ao menos amenizassem suas possíveis consequências. Essa análise foi registrada por meio do preenchimento de um questionário, apresentado no Apêndice A deste trabalho.

Na Etapa 2 do Estudo III, os participantes eram convidados a vivenciar a experiência de capacitação utilizando o simulador Projeto Obra Segura. Em vista da dinâmica do simulador, que será adequadamente apresentada na seção 6.2 deste trabalho, os voluntários inicialmente assistiram a um vídeo tutorial que instruía como utilizar o recurso. Em seguida, experimentaram os cinco níveis do simulador, em que refletiram sobre riscos presentes nos canteiros de obras. Ao longo do processo, o pesquisador autor deste trabalho, atuando como instrutor no decorrer deste estudo, podia visualizar as mesmas imagens que o usuário presenciava no simulador, por meio do espelhamento da tela do dispositivo móvel (componente do sistema RV adotado) para um computador.

Cabe ressaltar que os participantes foram avisados de que, devido ao cansaço ou mal-estar passíveis de serem gerados pela experiência prolongada com a tecnologia de realidade virtual imersiva, poderiam solicitar uma pausa a qualquer momento. Ademais, quando desejassem, poderiam optar pela continuidade da experiência no simulador por meio de tecnologia de realidade virtual não imersiva, em que o cenário virtual era apresentado na tela do computador e os movimentos do usuário eram realizados por meio de *mouse* e teclado.

Finalmente, **na Etapa 3**, em vista dos possíveis aprendizados com a experiência no simulador, foi solicitado que os participantes voltassem ao questionário preenchido na Etapa 1 com o objetivo de aperfeiçoar seu preenchimento, se assim desejassem. Nesse sentido, foi permitido que os voluntários:

- incluíssem novos riscos;
- alterassem a avaliação da severidade dos riscos já identificados;
- incluíssem novas medidas preventivas/mitigadoras;

Ao final da Etapa 3, o pesquisador autor deste trabalho conduziu uma entrevista não estruturada com os participantes. O objetivo dessa entrevista foi

identificar os motivos que levaram os voluntários a modificar, na Etapa 3, sua análise realizada na Etapa 1 (caso isso houvesse ocorrido), possivelmente estabelecendo contribuições por conta do uso do simulador. Nesse sentido, caso fossem constatadas alterações na análise de riscos do participante entre as Etapas 1 e 3, o instrutor questionava se essas alterações, na opinião do voluntário, decorreram de fato da experiência no simulador ou se foi uma mera coincidência. Também se questionou se os participantes acreditavam que as modificações geradas na análise por conta da experiência no simulador decorreram do aprendizado de uma informação nova ou se eles lembraram algo que permitiu a percepção de riscos outrora ignorados.

Cabe ressaltar ainda que, para análise dos dados, o questionário preenchido pelos participantes no decorrer das Etapas 1 e 3 deste estudo passou por um refinamento. Foram desconsideradas respostas que aludiam ao mesmo evento inseguro ou ação preventiva, garantindo o mesmo peso na análise para os diferentes tipos de riscos e medidas. Ademais, respostas incompreensíveis ou demasiadamente genéricas que impossibilitassem a interpretação do evento de insegurança apontado pelo participante também foram desconsideradas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

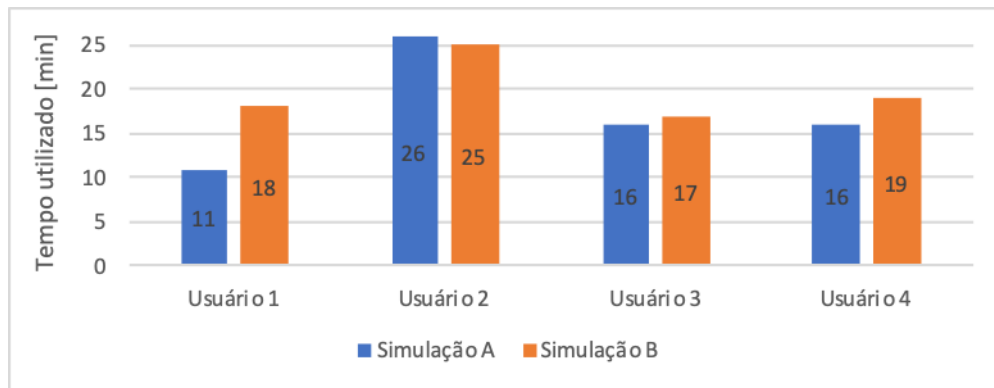
De modo geral, as informações e reflexões da etapa de conscientização do problema e sugestão de solução permitiram estabelecer importantes premissas para o desenvolvimento de recursos baseados em jogos e em realidade virtual para a capacitação dos gestores de obras em relação à segurança do trabalho, conforme objetivo desta pesquisa. Essas premissas fundamentaram as estratégias utilizadas na etapa de desenvolvimento do artefato. Na etapa de avaliação do artefato, foi possível verificar, de forma prática, a importância dessas premissas na capacitação dos gestores. A seguir, são detalhados os resultados obtidos nas etapas de conscientização do problema e sugestão de solução (seção 6.1) e desenvolvimento do artefato (seção 6.2), além dos resultados obtidos na etapa de avaliação do artefato (seção 6.3) e a abstração das diretrizes para o desenvolvimento de recursos baseados em realidade virtual e jogos para a capacitação de gestores (seção 6.4).

6.1 CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA E SUGESTÃO DE SOLUÇÃO

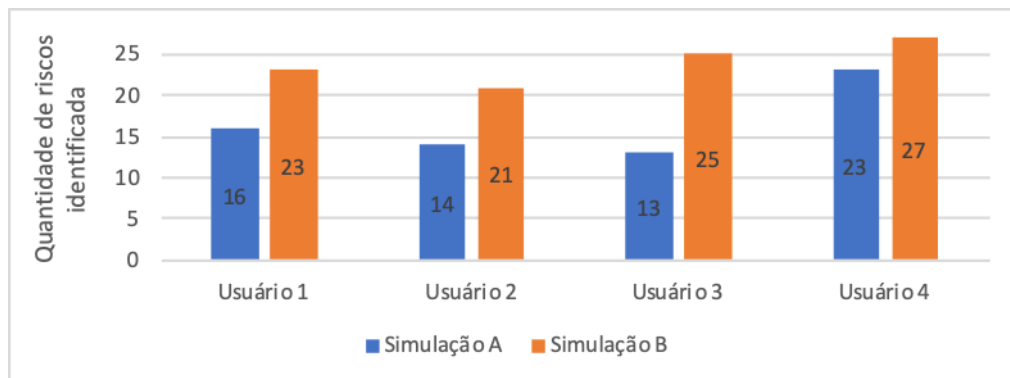
As reflexões propiciadas pelo Estudo I sobre o uso de realidade virtual na gestão da segurança dos canteiros de obras foram consonantes com as lacunas de conhecimento apontadas pela literatura, possibilitando o estabelecimento de premissas a serem adotadas na etapa de desenvolvimento do artefato. A seguir, essas reflexões são devidamente detalhadas.

6.1.1 Estudo I

Ao longo da Etapa 1 da realização do Estudo I, foram comparadas as experiências dos usuários realizando a exploração de um ambiente de realidade virtual de forma livre e sem intervenções substanciais do instrutor (Simulação A) e de forma padronizada, seguindo um protocolo de ações a serem seguidas (Simulação B). Nas Figuras 23 e 24, são apresentados respectivamente os dados referentes ao tempo utilizado e a quantidade de riscos identificados pelos usuários em cada simulação.

Figura 23 – Tempo utilizado pelos usuários nas simulações na Etapa 1

Fonte: o próprio autor

Figura 24 – Quantidade de riscos identificada pelos usuários nas simulações na Etapa 1

Fonte: o próprio autor

Em média, foi utilizada uma quantidade ligeiramente maior de tempo na Simulação B. Na percepção do autor desse estudo, isso decorreu, principalmente, do fato de que o protocolo utilizado nessa simulação exigiu que os usuários cumprissem diversos procedimentos obrigatórios em sua exploração ao canteiro, como passar por todos os ambientes de trabalho e analisar todas as categorias de risco propostas. Já na Simulação A, por ter maior autonomia sobre sua inspeção ao canteiro de obra, o usuário poderia decidir explorar rapidamente os locais que considerasse que dificilmente ofereceriam riscos aos trabalhadores.

De fato, na Simulação A, observou-se que os usuários não dedicaram grande quantidade de tempo para explorar ambientes de trabalho muito similares a outros que já haviam sido explorados. Foi o caso da exploração do segundo pavimento tipo, que se encontrava em uma fase construtiva bastante parecida a do pavimento

imediatamente inferior, sendo que em ambos estava sendo executada a elevação da alvenaria interna do pavimento. Na Simulação A, a maioria dos usuários concluiu que os riscos presentes nesse local eram análogos ao do pavimento anterior, e rapidamente prosseguiu para a análise dos pavimentos seguintes. Na Simulação B, ainda que apresentassem essa mesma percepção, os usuários eram obrigados a percorrer todo o pavimento e analisar todas as categorias de risco novamente, o que despendia mais tempo.

Na opinião do autor desse estudo, apesar de essa rapidez na análise do modo de Simulação A conferir maior dinamicidade e praticidade à exploração virtual do canteiro de obra, acarreta-se em prejuízos à identificação de riscos pois, ao negligenciar áreas que se julgue menos importantes na exploração do canteiro, permite-se que passem despercebidos alguns riscos presentes exclusivamente nesses ambientes. No exemplo citado, isso de fato ocorreu: ao serem obrigados, pelo modo de Simulação B, a percorrer áreas muito similares a outras já percorridas, os usuários muitas vezes identificaram riscos que haviam passado despercebidos até então, como locais com possibilidade de queda do trabalhador ou ainda a disposição de materiais em locais inadequados, atrapalhando a circulação dos operários e oferecendo riscos à sua segurança, à medida que poderiam se chocar com esses elementos durante sua circulação no local de trabalho.

Como observado na Figura 24, de fato se identificou uma maior quantidade de riscos na Simulação B em todos os testes realizados, o que corrobora com a reflexão supracitada. Entretanto, é importante salientar que esses dados não são suficientes para afirmar que a Simulação B é mais eficiente que a Simulação A para identificar riscos. Isso porque esse desempenho já era esperado, haja vista que todos os usuários já haviam participado da Simulação A quando iniciaram a exploração da Simulação B. Assim, apesar de os canteiros de obras de ambas as simulações serem diferentes, alguns riscos existentes eram comuns a ambos, de modo que, ao participar da Simulação B, o usuário trazia seus aprendizados da simulação anterior, o que facilitava a identificação de riscos.

A influência desse efeito de aprendizagem já havia sido prevista pelo autor desse estudo antes do início das simulações. Como métodos alternativos para eliminar essa influência, haviam sido propostas duas possibilidades:

- a) utilizar usuários diferentes para as Simulações A e B, de modo que nenhum usuário passasse por duas simulações;

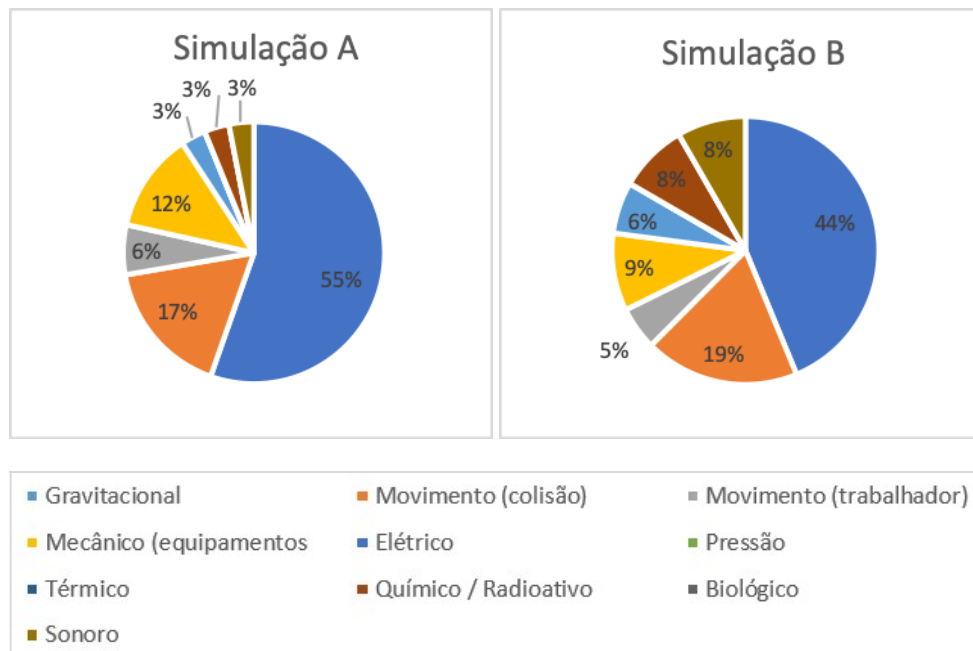
- b) alternar a ordem em que as Simulações A e B eram realizadas entre os usuários, isto é, para metade dos usuários a Simulação A antecederia a Simulação B, e para os demais seria o contrário.

Contudo, caso fosse utilizada a proposta da alínea 'a', não seria possível coletar dados comparativos sobre a percepção dos usuários em relação às Simulações A e B, uma vez que eles não teriam experimentado ambas as simulações para que fosse possível estabelecer comparações. Em relação à proposta da alínea 'b', observou-se que realizar a Simulação B antes da Simulação A não eliminaria o efeito de aprendizagem do teste. Além disso, poderia agravá-lo, haja vista que, ao realizar a simulação que provia maior autonomia por último, o usuário teria maior flexibilidade para aproveitar os aprendizados obtidos com a primeira simulação. Assim, considerados os efeitos das três possibilidades de condução do experimento, decidiu-se prosseguir com aquela detalhada na subseção 5.1.1 deste estudo, ainda que se observasse a influência do efeito de aprendizagem.

Apesar da influência desse efeito, a substancial diferença na quantidade de riscos identificada em cada simulação também tem sua explicação pautada na contribuição do protocolo para a identificação de riscos. De acordo com o relato dos usuários, o uso do protocolo proveu maior foco à exploração do canteiro de obra, de modo que se desperdiçava menor quantidade de tempo em análises que não resultavam na identificação de riscos. Além disso, a consideração sistemática das várias categorias de risco apresentadas no protocolo dificultou que os riscos passassem despercebidos pelos usuários durante a simulação.

Outro aspecto em que os modos de Simulação A e B se diferenciaram está relacionado à natureza dos riscos que foram identificados pelos usuários. Sobre o tema, na Figura 25 se apresenta a quantidade de riscos que foi identificada em cada uma das simulações, divididas entre as categorias de risco propostas por Albert et al. (2014).

Figura 25 – Quantidade de riscos identificada em cada simulação na Etapa 1, por categoria



Fonte: o próprio autor

Nota-se que, na Simulação A, os riscos do tipo ‘gravitacional’, facilmente identificáveis visualmente nos canteiros de obras, foram a maioria (55%). Já aqueles associados a fenômenos que não eram diretamente observáveis em uma simulação estática do ambiente de trabalho, como elétricos, químicos e sonoros, não foram significativamente notados (3% em cada caso). Na Simulação B, ainda que os riscos gravitacionais fossem maioria (44%), houve uma menor discrepância na proporção em relação aos riscos elétricos, químicos e sonoros (6%, 8% e 8%, respectivamente). Nesse cenário, nota-se novamente a relevância do protocolo utilizado no modo de Simulação B. De acordo com os relatos dos usuários, as informações contidas no protocolo induziram a reflexão sobre riscos menos evidentes, como aqueles relacionados a perigos do tipo elétrico, químico ou sonoro, e assim possibilitaram identificá-los mais facilmente.

Assim, conclui-se que o modo de Simulação B (com protocolo) de fato se mostrou superior ao modo de Simulação A (sem protocolo) nessa primeira etapa do Estudo I. Ademais, a eficiência na identificação de riscos observada no uso do protocolo está intimamente associada aos estímulos sensoriais fornecidos pela tecnologia de realidade virtual utilizada. Dessa maneira, a principal contribuição do protocolo se deu pela indução do usuário a refletir sistematicamente sobre os vários

tipos de riscos relatados na literatura. Já o dispositivo de realidade virtual exerceu importante papel para fornecer informações, essencialmente visuais, para que, ao refletir sobre determinada classe de risco, fosse possível que o usuário o notasse mais facilmente no ambiente de trabalho sendo analisado. Portanto, entende-se que é a associação do protocolo de exploração com a tecnologia de realidade virtual que torna o modo de Simulação B mais eficiente do que o modo de Simulação A.

A título de exemplo, citam-se alguns riscos identificados pelos usuários utilizando o modo de Simulação B no decorrer da Etapa 1 desse estudo:

- a) colisão com escoras adjacentes durante sua remoção no quarto pavimento tipo, devido à alta densidade de escoras presentes;
- b) insolação e ofuscamento do operário durante o processo de desforma dos pilares do último pavimento (ainda sem laje de cobertura);
- c) colisão com obstáculos no ambiente de trabalho, devido à circulação estreita;

Entende-se que foi a tecnologia de realidade virtual, associada ao protocolo utilizado para exploração virtual do canteiro que facilitaram a identificação dos exemplos dispostos nas alíneas 'a', 'b' e 'c', uma vez que estes riscos não haviam sido constatados no modo de Simulação A. No que diz respeito à tecnologia de realidade virtual, ao inserir o usuário no cenário virtual tridimensional, possibilita-se que informações veiculadas de modo essencialmente abstrato em projetos e documentos impressos da obra, como a distância entre escoras (alínea 'a') ou a largura do corredor de circulação (alínea 'c'), sejam transmitidas de um modo visual e intuitivo ao observador.

Além disso, a apresentação conjunta das informações técnicas do projeto e de dados relacionados ao ambiente de trabalho e aos materiais e equipamentos a serem utilizados para a produção é substancialmente importante. Desse modo, provê-se maior nível de detalhes à análise, facilitando a identificação de riscos derivados da interação entre essas informações. É o caso, por exemplo, do risco detalhado na alínea 'b', que resulta da atividade sendo executada (desforma de pilares) associada à fase construtiva do empreendimento (ausência da laje de cobertura) e aos fatores climáticos do ambiente (radiação solar).

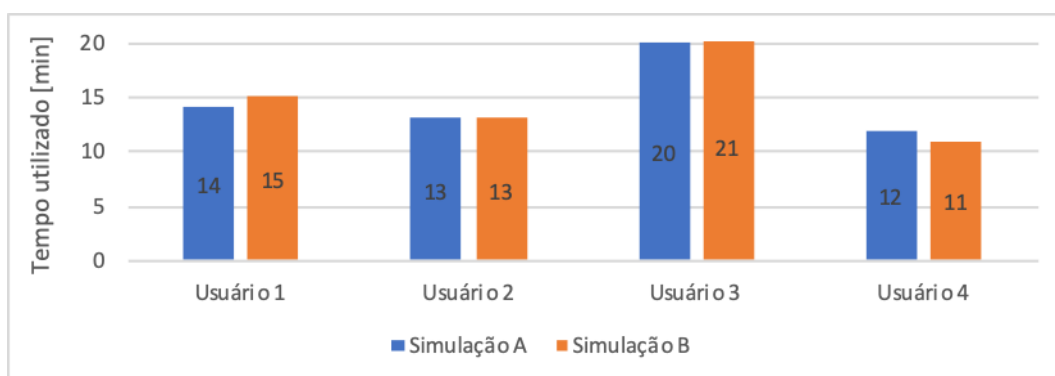
Finalmente, em relação à contribuição do protocolo, destaca-se que os riscos exemplificados nas alíneas 'a', 'b' e 'c' não são evidentes somente por meio da

exploração (virtual ou real) do canteiro de obra, de modo que sua constatação não é trivial e geralmente requer experiência do gestor da obra a partir de projetos executados anteriormente. A consideração sistemática das categorias de risco, induzida pelo protocolo, faz com que o usuário dedique maior tempo analisando e refletindo sobre o ambiente explorado, de modo que esses riscos sejam notados mais facilmente.

Em síntese, as evidências coletadas na Etapa 1 do Estudo I possibilitaram a conclusão de que a utilização de dispositivos de realidade virtual para a identificação de riscos requer que o usuário seja guiado ao longo da exploração do ambiente virtual. Desse modo, induz-se o usuário a considerar sistematicamente os possíveis riscos, facilitando sua identificação no canteiro de obra.

A Etapa 2 do Estudo I foi realizada para se comparar o modo de simulação melhor avaliado na fase anterior (Simulação B) com uma terceira alternativa (Simulação A da Etapa 2), em que o usuário possuía um nível intermediário de autonomia para explorar o ambiente virtual (utilizando o Protocolo v.2). Como ambos os modos de simulação nessa etapa eram baseados em protocolos com procedimentos obrigatórios a serem cumpridos, o tempo utilizado para as Simulações A e B foram muito semelhantes, como apresentado na Figura 26.

Figura 26 – Tempo utilizado pelos usuários nas simulações na Etapa 2

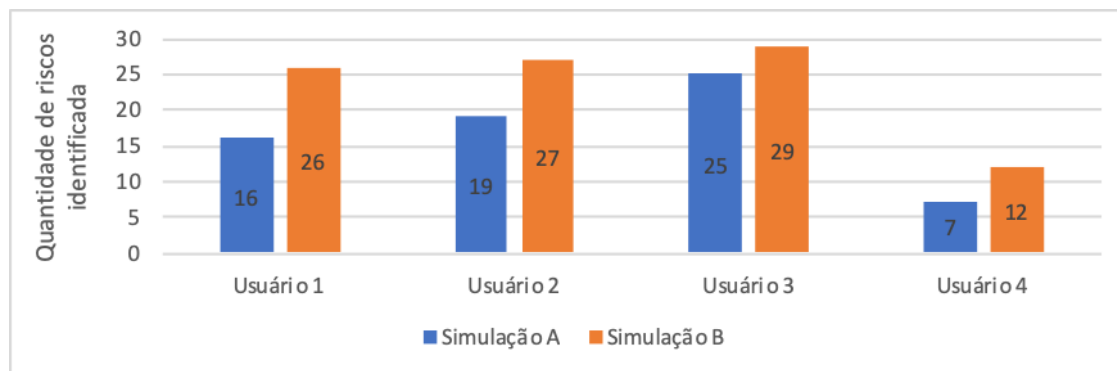


Fonte: o próprio autor

No entanto, novamente, a simulação realizada com um protocolo mais rígido e, conseqüentemente, mais detalhado (Simulação B) obteve melhores resultados em relação à quantidade de riscos identificada (Figura 27). Assim, apesar da existência da influência do efeito de aprendizagem, tem-se novos indícios que sugerem que, de fato, é o detalhamento das categorias de risco presentes no protocolo que fornece

informações úteis para a identificação de riscos no canteiro, visto que induz o usuário a notar a presença de riscos não evidentes.

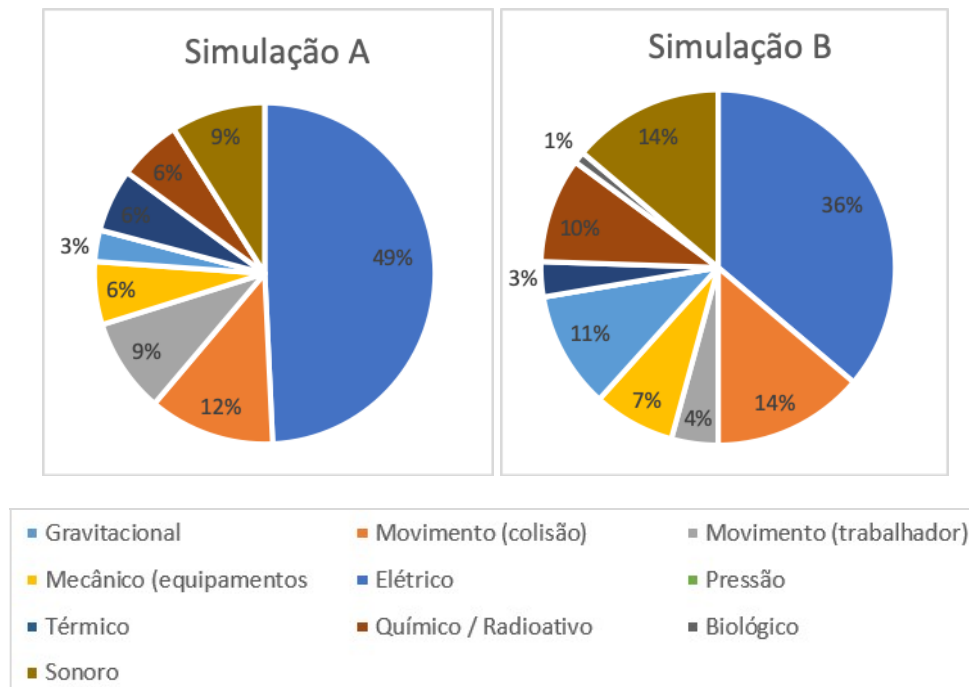
Figura 27 – Quantidade de riscos identificada pelos usuários nas simulações na Etapa 2



Fonte: o próprio autor

De fato, a importância do maior nível de detalhamento do protocolo, especialmente em relação à obrigatoriedade da consideração sistemática das várias categorias de risco, evidencia-se na quantidade de riscos que foram identificadas por categoria nessa segunda etapa do estudo. Observa-se que, ao ter autonomia para decidir sua própria metodologia para realizar a identificação de riscos (Simulação A), o usuário tende a notar, principalmente, os riscos mais visíveis, como os gravitacionais. Na Simulação B, ao ser questionado sobre as várias classes de risco, o usuário é induzido a refletir também a respeito de riscos menos evidentes e a notá-los no canteiro de obra. Essa estratégia de identificação de riscos de fato é importante, uma vez que, conforme observado na Figura 28, identificaram-se outros tipos de riscos menos notados na simulação anterior.

Figura 28 – Quantidade de riscos identificada em cada simulação na Etapa 2, por categoria



Fonte: o próprio autor

Assim, entende-se que a Etapa 2 do Estudo I foi essencial para confirmar a importância do nível de detalhamento e rigor do algoritmo do protocolo, regulando o caminho a ser percorrido pelo usuário e, principalmente, a maneira com que ele deve analisar os possíveis riscos. Ademais, notam-se novos indícios de que, de fato, é a associação da tecnologia de realidade virtual com o protocolo rígido de exploração do ambiente virtual que torna a identificação de riscos mais eficiente. Como visto, na Simulação A, os principais riscos notados pelo usuário eram facilmente observáveis devido aos estímulos visuais do dispositivo de realidade virtual, de modo que se entende que a versão mais flexível do protocolo utilizada nessa simulação exerceu pouca contribuição nesse caso. Os usuários passaram a identificar maior quantidade de riscos de outras categorias quando a tecnologia de realidade virtual foi acompanhada do protocolo detalhado da Simulação B, evidenciando a importância da associação desses dois elementos.

6.1.2 Premissas a serem adotadas no desenvolvimento do artefato

Nesta subseção do trabalho, será relatado de que forma as percepções do Estudo I e da análise da literatura contribuíram para a concepção do artefato relatado neste trabalho.

Como visto no Capítulo 4 deste trabalho, diversos autores relatam dificuldades no uso da realidade virtual enquanto recurso de prototipagem para identificação preliminar de riscos no canteiro de obra. As principais queixas se referem à tarefa de modelar o ambiente de trabalho no ambiente virtual, que implica na utilização intensa de recursos financeiros e de tempo. De fato, essa limitação ficou evidente na realização do Estudo I, em que foi necessária a dedicação de diversas horas para o desenvolvimento dos dois cenários virtuais utilizados. Ademais, os resultados do estudo evidenciaram a importância do enriquecimento dos modelos com um maior nível de detalhes, uma vez que os riscos que foram percebidos pelos usuários que participaram dos testes se restringiram, principalmente, às circunstâncias que se mostravam bastante evidentes na cena apresentada.

Em vista desses fatores, percebeu-se que a realidade virtual, em seu atual estado de desenvolvimento tecnológico, tem seu potencial melhor aproveitado de outra forma. Acredita-se que seja melhor aplicada para a representação de situações que não necessitem reproduzir fielmente situações do mundo real, como ocorrido no seu uso enquanto recurso de prototipagem para realizar a análise preliminar de riscos de obras. Nesse sentido, concluiu-se que a realidade virtual se mostra mais adequada para ser utilizada para a capacitação de profissionais – percepção que gerou mudanças nos estudos relatados neste trabalho que sucedem o Estudo I, assim como no próprio objetivo e delineamento geral desta pesquisa.

Usada para a capacitação de profissionais, ainda se explora a principal característica da tecnologia de mimetizar o mundo real de modo que o usuário se sinta presente na simulação. Porém não se tem obrigações relacionadas à inclusão de detalhes na cena trabalhosos de serem modelados, uma vez que o cenário virtual não necessita ser uma representação fiel de um ambiente real, podendo representar uma situação fictícia. Dessa maneira, a utilização da tecnologia para essa finalidade acarreta também em outra vantagem: as circunstâncias fictícias representadas na cena não precisam sofrer atualizações, diferentemente do uso enquanto recurso de

prototipagem, que necessita ser atualizado conforme o projeto real no qual ele é baseado também sofre alterações.

A mudança da finalidade do uso da realidade virtual a partir do Estudo I implica em entender de que forma as percepções resultantes desse primeiro estudo se refletem na utilização da tecnologia para essa nova função. Os resultados do Estudo I revelaram a importância da adoção de um roteiro (denominado Protocolo v.1 ao longo da realização desse primeiro estudo) para guiar o usuário ao longo de sua experiência. Esse roteiro proveu foco à exploração do ambiente virtual pelo usuário, induzindo-o a reconhecer riscos nas situações apresentadas por meio da consideração sistemática de diversos tipos de riscos relatados na literatura. Enquanto recurso de prototipagem para a análise preliminar de riscos, era importante que as contribuições da literatura sobre riscos na construção civil, incorporadas ao roteiro utilizado, fossem apresentadas ao usuário concomitantemente ao seu processo de reconhecimento de riscos, facilitando a identificação destes.

A finalidade de capacitação de profissionais, no entanto, possui um caráter mais educativo, de forma que é conveniente que essas informações sejam de fato repassadas ao usuário (haja vista a importância desse repasse, conforme observado no Estudo I), porém em um momento posterior à sua análise do cenário virtual sendo explorado. Dessa forma, é possível construir um momento de diálogo e reflexão com o usuário. Em um primeiro momento, ele pode utilizar seus próprios conhecimentos para reconhecer possíveis acidentes na cena à sua frente. Em seguida, são repassadas as contribuições da literatura, de modo que o usuário pode estabelecer comparações com a sua própria análise, identificando divergências e convergências e, principalmente, promovendo a capacitação.

Como visto, outra importante contribuição do uso do roteiro no Estudo I foi a promoção de um maior foco à experiência do usuário. Ao ser constantemente instruído sobre as ações que deveria executar ao longo de sua exploração do ambiente virtual, a experiência do usuário era enriquecida. No entanto, relatos da literatura evidenciam que é necessário se ter atenção para a sensação de imersão do usuário no cenário virtual, de modo que se evite utilizar estímulos do mundo real, para que ele se sinta substancialmente presente na realidade virtual. A utilização do roteiro, pelo fato de ser um estímulo externo à simulação, vai de encontro à essa orientação. Nesse contexto, observam-se benefícios na incorporação de elementos

de jogos na experiência do usuário. Há uma relação intrínseca entre a função exercida pelo roteiro ao longo do primeiro estudo, relacionada a guiar as ações a serem executadas pelo usuário, e os elementos de jogos, como missões e desafios que, essencialmente, possuem essa mesma proposta. Assim, conclui-se que o uso de elementos baseados no universo dos jogos, nesse contexto, pode exercer papel semelhante ao desempenhado pelo roteiro utilizado no Estudo I, propiciando interatividade com o usuário e foco à sua experiência. Porém, os elementos de jogos possuem a vantagem de serem mais facilmente incorporados à realidade virtual, maximizando a sensação de presença do usuário no mundo virtual.

A compreensão da semelhança existente na mecânica e dinâmica dos jogos com o contexto pretendido da utilização da realidade virtual nesta pesquisa também possibilita observar outras contribuições que os fundamentos dos jogos podem exercer. Como visto no Capítulo 3 deste trabalho, ainda que os jogos sejam bastante adequados para instruir os usuários no cumprimento de tarefas no ambiente virtual, é necessário cautela com a rigidez excessiva comumente presente nas dinâmicas dos jogos. A literatura aponta que é necessário conduzir adequadamente os usuários na experiência do jogo, porém sem inibir seu papel criativo e ativo para atuar na narrativa. Essa recomendação é consonante com a premissa anteriormente estabelecida sobre o modo com que se pretende repassar as informações da literatura sobre segurança do trabalho ao usuário. Ao proporcionar um momento de reflexão no qual o usuário compara sua própria análise de uma dada situação com as informações da literatura, objetiva-se enriquecer seu conhecimento, agregando mais informações sobre o tema, sem a intenção de corrigir sua análise prévia.

Em termos práticos, isso significa não estabelecer respostas “certas” ou “erradas” para a análise do usuário sobre os possíveis acidentes que poderiam ocorrer no cenário virtual presenciado por ele. Caso o usuário deixe de reconhecer riscos aos trabalhadores que a literatura relate existir nas situações ilustradas, não significa que ele fracassou em sua missão – mesmo porque é possível que o ambiente virtual não tenha sido adequadamente desenvolvido para lhe fornecer todas as informações necessárias para a percepção de todos os riscos existentes. Também há oportunidade para que o usuário transcenda à literatura e identifique outros riscos ou maneiras criativas de lidar com eles, uma vez que ele não é condicionado às recomendações da literatura. Em síntese, a proposta é que o

usuário agregue as contribuições da literatura a seus próprios conhecimentos, experiências e ideias, promovendo, assim, sua capacitação.

Finalmente, algumas premissas de caráter mais técnico precisam ser estabelecidas para guiar o desenvolvimento do artefato relatado neste trabalho. Como visto, a sensação de imersão ao longo da experiência do usuário é essencial, sendo essa percepção influenciada, principalmente, pelo realismo da cena e as formas de interação do usuário com a realidade virtual. Em vista das preferências do mercado consumidor e das limitações de custo de outras tecnologias, este trabalho foi delineado de modo a optar pela utilização de dispositivos de realidade virtual de baixo custo. Contudo, ainda que esses recursos tenham vantagens relacionadas à simplicidade e praticidade, também se enfrentam desafios para proporcionar experiências altamente imersivas e interativas. De fato, no Estudo I, essas limitações ficaram evidentes, à medida que os voluntários consultados no estudo não perceberam riscos que seriam mais facilmente observados a partir da análise do movimento e sons emitidos pelos trabalhadores e equipamentos do canteiro de obras. Assim, para suprir essas deficiências, julga-se importante diversificar as fontes de informação presentes no cenário virtual, outrora exclusivamente visuais, incorporando também estímulos sonoros, textos e animações, conforme possível.

A experiência vivenciada no Estudo I também contribuiu para entender que o próprio cenário virtual precisa ser focado à experiência do usuário, sem repetir situações muito similares àquelas já analisadas (o que não geraria grande aprendizado). Entretanto, os resultados desse primeiro estudo também evidenciam a importância do estabelecimento de um *layout* do ambiente virtual em que os usuários não se esqueçam de explorar aspectos da cena sendo ilustrada. Em síntese, é necessário que o cenário do ambiente virtual seja enxuto, de modo que os usuários possam rapidamente compreendê-lo, em sua totalidade.

6.2 DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

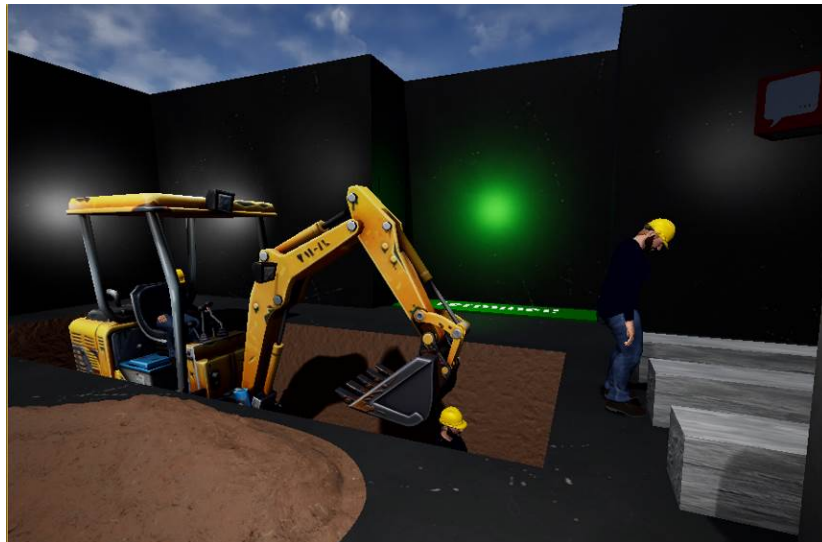
O desenvolvimento do artefato relatado nesta seção está dividido em duas etapas. Na subseção 6.2.1, relatam-se as ideias iniciais para concepção do protótipo do artefato, que foi utilizado no Estudo II. Já na subseção 6.2.2, descrevem-se as contribuições dos especialistas após utilizarem o recurso, assim como as

modificações que foram realizadas na ideia descrita na subseção anterior, constituindo, enfim, a versão final do artefato (contemplada neste trabalho).

6.2.1 Ideação e Estruturação do Artefato

Considerando a proposta de concepção do Projeto Obra Segura, relacionada a aprimorar as capacidades do gestor de obra sobre reconhecimento e assessoramento de possíveis acidentes no ambiente de trabalho, observou-se a necessidade de que o usuário vivenciasse diversas situações rotineiras do canteiro de obras rapidamente. Assim, para a criação do cenário do simulador, optou-se pela utilização de vários níveis a serem explorados no decorrer da experiência do usuário, sendo que cada um ilustrava uma área ou situação rotineira do trabalho na indústria da construção civil. No Apêndice B deste trabalho, descrevem-se as circunstâncias representadas em cada nível do Projeto Obra Segura. Na Figura 29, apresenta-se a Cena 4, em que os trabalhadores estão laborando junto a máquinas em atividades relacionadas à escavação e estruturas.

Figura 29 – Cena 4 do Projeto Obra Segura

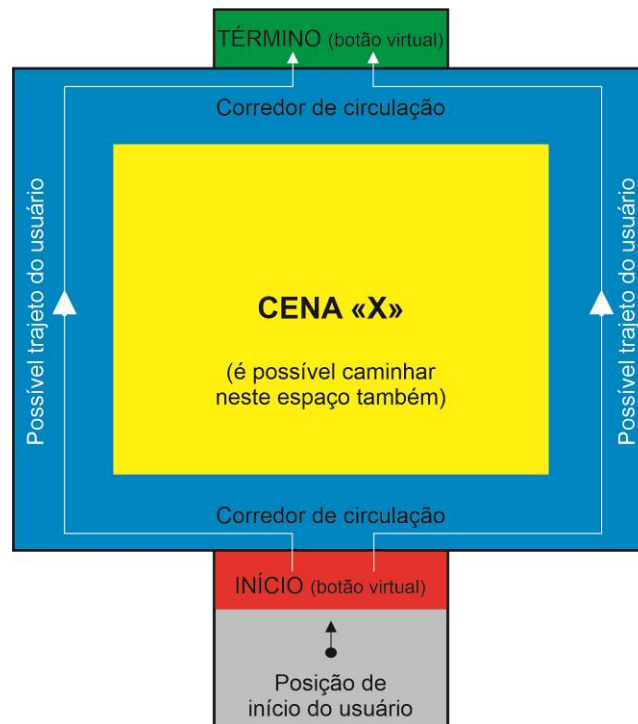


Fonte: o próprio autor

Em vista das premissas anteriormente estabelecidas que orientavam para a concepção de um *layout* do ambiente virtual que fosse rápido de ser explorado e que

não houvesse como o usuário não passar despercebido por algum local, todos os níveis criados foram baseados no croqui apresentado na Figura 30.

Figura 30 – *Layout* base dos níveis do Projeto Obra Segura



Fonte: o próprio autor

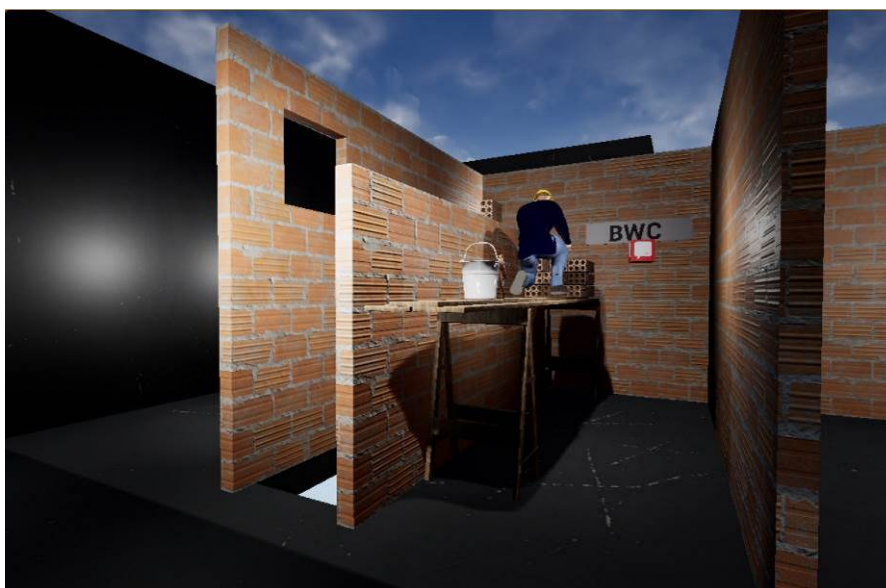
A partir da análise da Figura 30, nota-se que o usuário não é estimulado de outras formas que não pelos elementos presentes na cena, localizada no centro do cenário tridimensional. É possível que ele observe a cena a partir de qualquer perspectiva que queira, uma vez que há como ele caminhar por todo seu contorno – acredita-se que a análise da cena sob diferentes perspectivas poderia revelar riscos que uma perspectiva única de análise ocultaria. Além disso, é inevitável que ele passe por toda a cena, uma vez que ela se encontra como obstáculo entre seu ponto de início e de término, de modo que é necessário contorná-la para prosseguir na narrativa do simulador.

As premissas estabelecidas na subseção 6.1.2 também destacam a importância de prover realismo à cena, para que o usuário se sinta de fato presente na realidade virtual. Em vista disso, a composição das cenas foi baseada em relatos de auditores fiscais do trabalho sobre acidentes ocorridos na construção civil brasileira entre os anos de 2006 e 2014, descritos em Araújo (2016). Cabe ressaltar

que esse autor reúne em sua obra relatos de acidentes ocorridos em outras atividades econômicas, de modo que coube ao pesquisador autor deste trabalho selecionar os casos relacionados à construção civil, resultando em 139 relatos. Também se salienta que as cenas do Projeto Obra Segura, ainda que baseadas nesse histórico, não constituem representações fiéis desses relatos. Ademais, alguns dos relatos selecionados inicialmente não foram utilizados, haja vista que não se enquadravam no contexto das cenas desenvolvidas.

Além dos objetos e elementos tridimensionais presentes nas cenas, ilustrados na Figura 29, também se diversificaram as fontes de informações veiculadas ao usuário por meio de animações, efeitos sonoros e textos. A título de exemplo, na Figura 31 se retrata a Cena 1, na qual, por meio do simulador, é possível observar o operário se curvar para pegar uma lajota cerâmica na pilha à sua direita, em seguida caminhar segurando a lajota até o local desejado e, finalmente, fixá-la neste local, para compor a parede de alvenaria. Espera-se que, por meio desta animação, o usuário seja capaz de observar riscos de acidentes e relacionados à saúde do operário, como a execução do trabalho repetitivo em posição anti-ergonômica e a possibilidade de o trabalhador se desequilibrar ou tropeçar, de modo a cair da plataforma de trabalho.

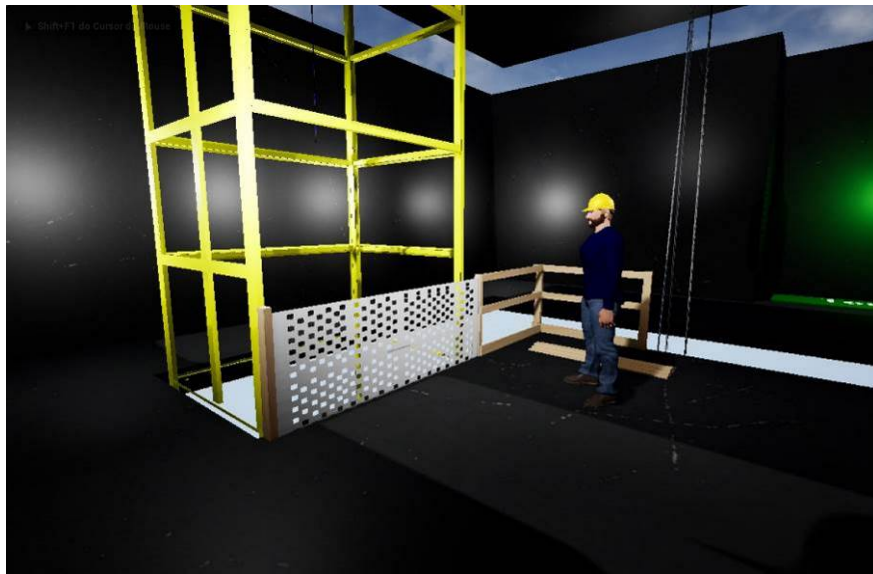
Figura 31 – Cena 1 do Projeto Obra Segura



Fonte: o próprio autor

Efeitos sonoros foram utilizados em duas situações: para representar ruídos resultantes da operação de máquinas ou da execução de tarefas no canteiro de obras, ou para introduzir falas aos trabalhadores da cena sendo representada. Na Figura 32, por exemplo, ilustra-se a Cena 3, na qual se exhibe a animação de um trabalhador abrindo a cancela do elevador de obra e projetando-se para dentro do poço do elevador, a fim de descobrir em que pavimento o elevador se encontra.

Figura 32 – Elevador de obra na Cena 3 do Projeto Obra Segura



Fonte: o próprio autor

Ao se aproximar da situação, o usuário recebe dois estímulos sonoros:

- a) escuta o ruído resultante da operação do elevador, possibilitando que ele perceba que o elevador está operante, ainda que ele possa não estar presente na cena (uma vez que a animação desenvolvida faz com que ele constantemente se desloque do pavimento em que a cena é ilustrada para pavimentos inferiores);
- b) escuta a queixa do trabalhador que aguarda o elevador, transcrita a seguir:

“- preciso falar com o operador do elevador para que leve essa madeira para o térreo, mas não sei em que pavimento ele está”.

Assim, ao observar os estímulos visuais da cena, a animação e os efeitos sonoros reproduzidos, espera-se que o usuário compreenda que o trabalhador

aguarda impacientemente o elevador de obra para transportar alguns materiais, e por isso projeta-se no poço do elevador, com a expectativa de chamá-lo.

São utilizados elementos de jogos como missões para conduzir o usuário ao longo da narrativa, mantendo-o focado na proposta do simulador. Dessa forma, o usuário vivencia quatro estágios no decorrer de cada nível do Projeto Obra Segura. No primeiro estágio, ao atravessar o botão virtual de início da cena (Figura 30), um narrador apresenta a primeira missão do usuário: ele deve analisar a cena a fim de identificar possíveis acidentes e situações que possam causar danos à saúde do trabalhador, sendo que, ao terminar, deve ir ao botão virtual de término, ao final do cenário (Figura 30). Ao completar a primeira missão, o usuário procede para o Estágio II, em que o narrador relata a análise de possíveis acidentes presentes na cena realizada pelo pesquisador autor deste trabalho, baseada na literatura e nos casos de acidentes descritos em Araújo (2016) que inspiraram a concepção das cenas. É nesse momento também que o usuário toma conhecimento de que as cenas ilustradas foram baseadas em acidentes reais, sendo apresentado a eles, de forma resumida, as circunstâncias reais em que esses acidentes que inspiraram a cena ocorreram.

No Estágio III, no qual o usuário é automaticamente inserido após o término do Estágio II, o narrador apresenta a segunda missão a ser realizada: o usuário deve propor medidas para prevenir os acidentes previstos por ele e descritos pelo narrador, além de sugerir meios para mitigar suas consequências, caso venham a ocorrer. Ao concluir sua missão, o usuário deve novamente se dirigir ao botão de término no final do cenário. Ao pressioná-lo, o usuário acessa o Estágio IV, no qual o narrador apresenta as medidas de prevenção, gestão e controle dos acidentes sugeridas pelo pesquisador, a partir da análise da literatura.

De forma sintética, a dinâmica de cada nível do Projeto Obra Segura é apresentada na Figura 33.

Figura 33 – Dinâmica dos níveis do Projeto Obra Segura

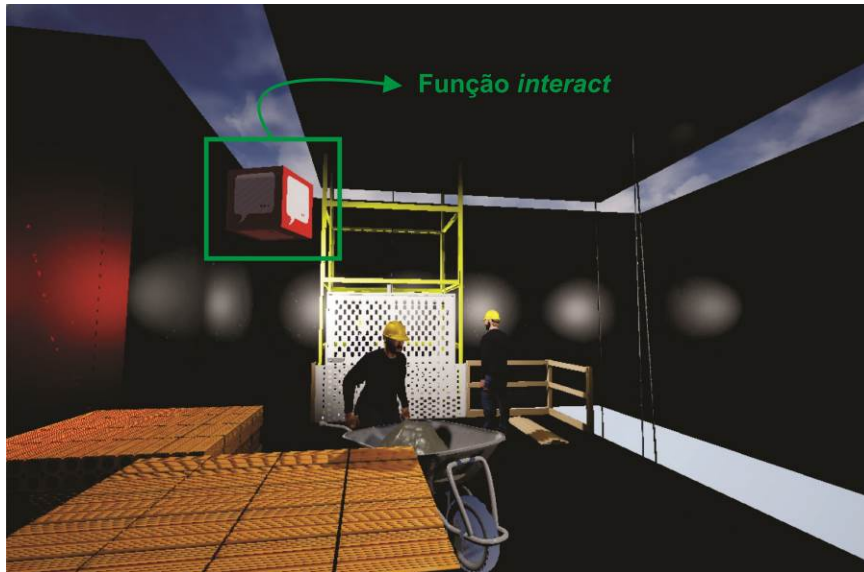


Fonte: o próprio autor

O usuário possui várias formas de interagir com o simulador. A maneira mais simples é a navegação, caminhando por todo o cenário, sem que seja possível de fato modificá-lo. Outro modo é a utilização dos botões virtuais “início” e “término”, acionados ao se colocar sobre eles. A ativação desses botões traz consequências à narrativa, como a passagem do Estágio I para o Estágio II e do Estágio III para o Estágio IV, descrita na Figura 33. Além disso, ao adentrar em cada nível, é o acionamento do botão “início” que ativa a reprodução das animações da cena e do narrador, que apresenta a missão 1 ao usuário.

Outra importante interação do usuário com o ambiente virtual consiste no acionamento da reprodução das falas dos operários presentes na cena. Utilizou-se um volume invisível do tipo “acionador” para sinalizar o momento em que o usuário se encontrasse próximo a um dos operários da cena. Na medida em que o acionador é ativado, um cubo com ilustrações de fala surge no cenário (Figura 34), ao mesmo tempo em que é emitido um efeito sonoro similar a uma campainha. A partir desses dois estímulos (visual e sonoro), o usuário toma conhecimento de que é possível interagir com o operário presente na cena, sendo que para isso ele deve pressionar o botão esquerdo de seu *gamepad*. Ao pressioná-lo, é reproduzida a fala previamente programada para o trabalhador situado naquele ambiente. Cabe ressaltar que, na utilização do simulador, é proposto que o usuário seja informado previamente sobre esse recurso, denominado **função *Interact*** ao longo deste trabalho, para que esteja ciente do que deve fazer para o acionamento do recurso.

Figura 34 – Função *Interact* no Projeto Obra Segura



Fonte: o próprio autor

Em cenas que representavam situações acontecendo em pavimentos superiores, utilizaram-se aberturas no cenário que permitiam, inclusive, a queda do usuário. Esse recurso foi usado para garantir que se percebesse o risco iminente de queda em altura na situação. Caso o usuário caia pela abertura, um algoritmo previamente programado no simulador ativa um comando de teletransporte do usuário para o início do cenário.

A fim de facilitar a reprodução da dinâmica adotada no desenvolvimento deste artefato por outros pesquisadores, no Apêndice C são apresentados os principais algoritmos computacionais utilizados no decorrer do desenvolvimento do Projeto Obra Segura.

6.2.2 Estudo II

No segundo estudo relatado neste trabalho, três cenas do Projeto Obra Segura foram exibidas aos especialistas. O Especialista 1 necessitou de cerca de dez minutos para completar cada nível do simulador. Ao final de sua experiência, relatou que, de modo geral, acredita que o Projeto Obra Segura de fato contribuirá para o aprendizado dos gestores de obras. Fundamentou sua opinião baseado no fato de que seu conhecimento sobre a temática da saúde e segurança do trabalho na construção civil é bastante profundo, e ainda assim a dinâmica do Projeto Obra

Segura possibilitou se conscientizar sobre riscos em cada cena exibida que, a princípio, o especialista não havia identificado.

Comparativamente ao simulador utilizado no Estudo I, do qual também participou, o Especialista 1 relatou de fato observar avanços em relação ao objetivo pretendido com a pesquisa como um todo. Na sua opinião, a modificação do *layout* do cenário tridimensional de fato contribuiu para uma experiência mais focada do usuário. Também relatou que a inspiração no histórico de acidentes ocorridos no Brasil sensibiliza o usuário, uma vez que é possível estabelecer relações sólidas entre o que é exibido na realidade virtual e situações vividas diariamente nos canteiros de obras. A inclusão de animações e efeitos sonoros também foi bem avaliada pelo Especialista 1, que acredita que dessa forma é possível contribuir com a capacitação de usuários que se sentem mais confortáveis com estímulos visuais, assim como aqueles que têm sua experiência de aprendizado intensificada com estímulos sonoros.

O Especialista 1 também fez algumas sugestões para refinamento do simulador. Na sua opinião, é recomendável um treinamento do usuário previamente ao uso da ferramenta em que seja exibida uma figura ilustrativa do *layout* base dos níveis, além de instruções para seu deslocamento no ambiente virtual. Ademais, o especialista relatou a necessidade do treinamento do uso da função *Interact*, destacando que o usuário deve ser alertado de que a função não estará disponível para todos os trabalhadores virtuais, para que o usuário não crie expectativas ao se aproximar de todos eles. Também foram relatadas dificuldades de visualização de textos apresentados no simulador em um plano horizontal.

Em relação aos estágios que compõem a dinâmica do Projeto Obra Segura, o Especialista 1 sugeriu uma alteração. A princípio, nos Estágios I e III, o usuário deveria levantar os riscos presentes na cena e propor medidas mitigadoras. Contudo, não havia necessidade de que ele verbalizasse sua análise, podendo simplesmente realizar uma reflexão mental. Para o Especialista 1, a verbalização é necessária, haja vista que, dessa forma, há uma cobrança maior para que o usuário concretize e formalize uma análise sobre a situação. Além disso, a verbalização da análise ao instrutor do uso da ferramenta permite coletar informações para que, imediatamente após a experiência do usuário, seja realizada uma reflexão mais aprofundada sobre o aprendizado obtido com o uso do simulador.

O relato do Especialista 2 após experimentar as três primeiras cenas do Projeto Obra Segura foi consonante com a análise do primeiro especialista. Suas observações reafirmaram a percepção de que o artefato é adequado para prover uma experiência de aprendizado, uma vez que se tem a oportunidade de agregar as visões de outras pessoas à própria perspectiva de análise do usuário, em relação à situação sendo ilustrada.

Questionado sobre os avanços conquistados comparativamente à ferramenta utilizada no Estudo I (do qual ele também participou), o Especialista 2 acredita que a incorporação de elementos de jogos, como as missões 1 e 2 presentes nos Estágios I e III da dinâmica do simulador, foi uma importante contribuição para maximizar o aprendizado do usuário. Também enalteceu a qualidade gráfica do cenário virtual exibido, assim como a inclusão das falas dos operários por meio da função *Interact* que, segundo ele, é bastante útil para facilitar o entendimento da cena.

Devido ao depoimento anterior do Especialista 1, questionou-se o Especialista 2 sobre a sua opinião sobre a necessidade da verbalização dos possíveis acidentes identificados na cena, assim como as medidas para sua gestão. O segundo especialista concordou com a análise anterior de que a verbalização é essencial para que o usuário se sinta instigado a concretizar uma análise sobre a situação sendo ilustrada.

A experiência do Especialista 2 em cada cena durou cerca de quinze minutos. Por essa razão, o segundo especialista expressou preocupação com o número de cenas que irão compor a versão final do Projeto Obra Segura. Segundo ele, após a análise da terceira cena, já se sentiu cansado da experiência. Desse modo, recomendou que a versão final do artefato não seja constituída por demasiados níveis.

A partir das constatações e recomendações dos relatos dos dois especialistas, estabeleceu-se as seguintes modificações a serem incorporadas no Projeto Obra Segura para as etapas seguintes da pesquisa:

- a) inclusão de um treinamento do usuário para uso do simulador: previamente à sua experiência nos níveis do Projeto Obra Segura, o usuário deverá assistir a um vídeo explicativo em que se mostra o *layout* base dos níveis do simulador (Figura 30), assim como o caminho a ser percorrido pelo usuário para transitar entre os Estágios I a IV relacionados à dinâmica do Projeto Obra Segura. Nesse vídeo, o

usuário também é instruído sobre como utilizar a função *Interact*, sendo exibidos os estímulos visuais (Figura 34) e sonoros que informam a possibilidade do uso do recurso na cena. Além disso, são dadas instruções sobre o uso do *gamepad* para o deslocamento do usuário e para o acionamento da função *Interact*;

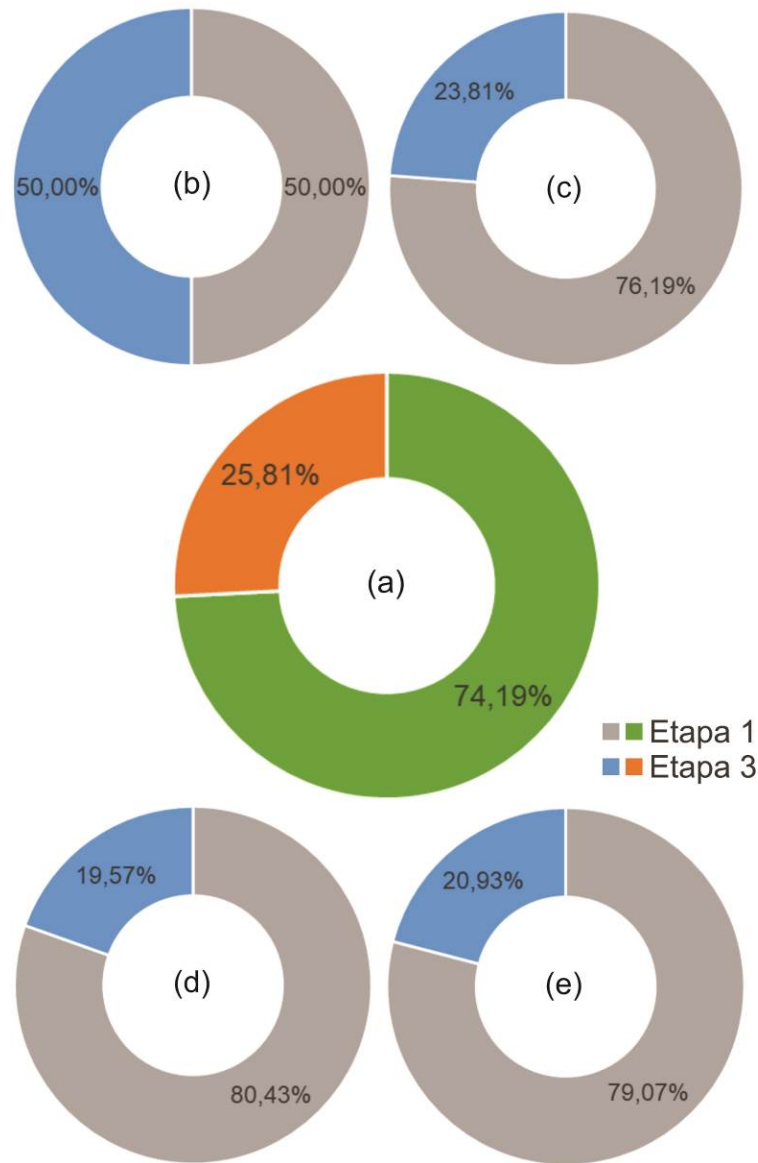
- b) rotação de textos que eram exibidos em plano horizontal, de modo que se tornem mais visíveis, sendo agora exibidos preferencialmente em plano vertical;
- c) obrigatoriedade de verbalização dos possíveis acidentes identificados pelo usuário no Estágio I e das medidas propostas para sua gestão no Estágio III. Além disso, inclusão de um momento de reflexão após a experiência do usuário com o artefato, de modo que o instrutor que auxilia na utilização do recurso retome a análise verbalizada pelo usuário nos Estágios I e III, compare com as informações veiculadas pelo simulador nos Estágios II e IV e discuta com o usuário quais aprendizados podem ser gerados a partir dessa comparação.

6.3 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO (ESTUDO III)

Nesta seção, relatam-se as reflexões realizadas após o teste da versão final do simulador com doze gestores (ou potenciais gestores) de obras que se voluntariam a participar da experiência, subdivididos entre os Grupos I (alunos), II (engenheiros novatos), III (engenheiros experientes) e IV (engenheiros de segurança).

De modo geral, os relatos dos participantes sobre a experiência com o simulador e demais dados coletados sugerem que o recurso e a abordagem adotada sejam de fato adequados para a capacitação dos profissionais. Na Figura 35, apresenta-se, em relação à quantidade total de riscos identificados pelos participantes, o percentual destes que foram identificados na Etapa 1 (antes da utilização do simulador) e na Etapa 3 (somente após a utilização do simulador).

Figura 35 – Percentual de riscos identificados nas Etapas 1 e 3 por todos os participantes (a) e especificamente pelos participantes do Grupo I (b), Grupo II (c), Grupo III (d) e Grupo IV (e)



Fonte: o próprio autor

Nota-se que, em todos casos, uma parcela sensível dos riscos identificados foi acrescida somente na Etapa 3 do estudo. Questionados pelo pesquisador a respeito da razão pela qual acrescentaram novos riscos no decorrer da terceira etapa, os participantes foram unânimes em relatar que a experiência no simulador foi a principal responsável para que esses riscos, outrora não notados, fossem efetivamente reconhecidos no projeto fictício sendo analisado.

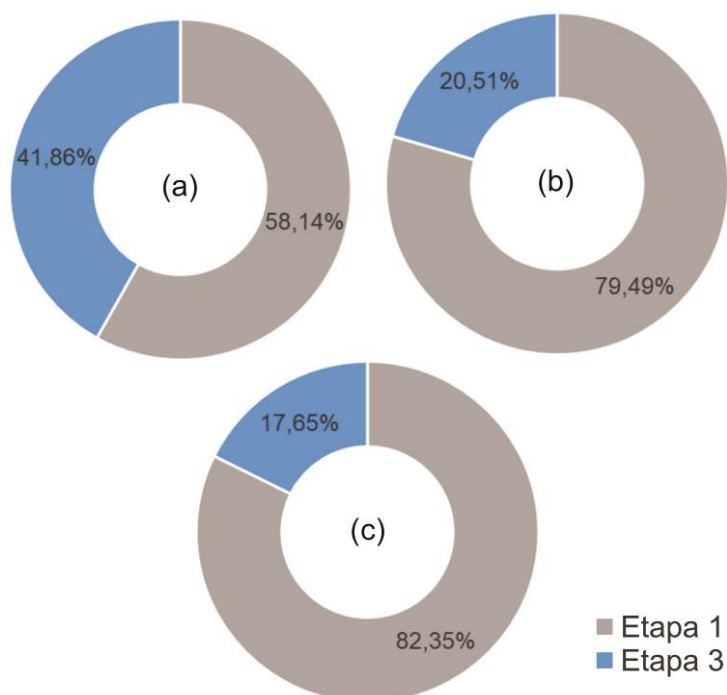
Além disso, o pesquisador perguntou aos participantes se essa contribuição do simulador notada por eles foi devido ao aprendizado de uma nova informação ou

se a contribuição aconteceu por conta de suscitar a recordação de informações que já eram conhecidas, porém que não haviam sido lembradas. Novamente, os voluntários foram unânimes em apontar que o simulador os fez recordar um conhecimento que eles já sabiam, porém não se lembraram no momento da análise.

Considerando-se os preceitos da abordagem da gestão de competências debatidos no Capítulo 2 deste trabalho, têm-se indícios de que o recurso desenvolvido e a abordagem adotada atuam principalmente na **habilidade** dos participantes em aplicar um conhecimento em um contexto específico. Essa constatação é corroborada pelo desempenho apresentado pelo Grupo I (Figura 35b), que foi o grupo em que mais se identificaram riscos após a utilização do simulador. Comparativamente aos demais grupos, o Grupo I é aquele em que os participantes naturalmente tiveram menos vivências práticas profissionais em que necessitassem aplicar os conhecimentos teóricos aprendidos em sala de aula para um contexto específico, exercitando menos essa habilidade.

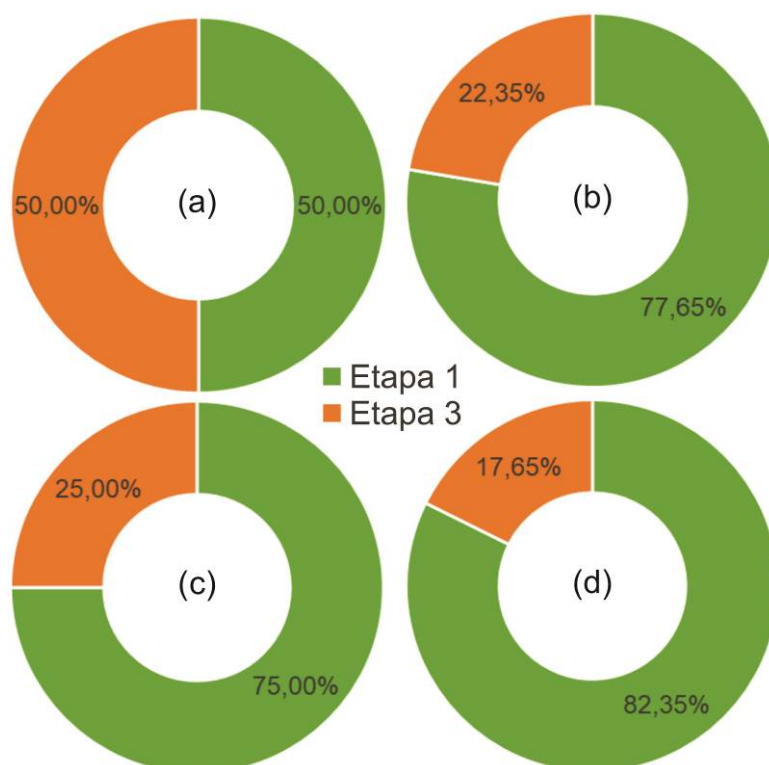
Esse comportamento é novamente notado caso os desempenhos dos participantes sejam reagrupados em fatores comuns, como idade e experiência como gestores, conforme Figuras 36 e 37. Destaca-se ainda que, com exceção dos grupos de estudantes ou com baixa experiência na função ou de pouca idade, os demais grupos apresentaram desempenhos muito similares. Isso indica que, uma vez que se tinha experiência teórica e/ou prática razoável no que diz respeito à gestão da segurança dos canteiros de obras, o tipo de abordagem adotada pelo simulador para capacitar esse participante já não foi tão expressivo.

Figura 36 – Percentual de riscos identificados nas Etapas 1 e 3 pelos participantes com 20 a 25 anos (a), 25 a 35 anos (b) e mais de 35 anos (c)



Fonte: o próprio autor

Figura 37 – Percentual de riscos identificados nas Etapas 1 e 3 pelos participantes com nenhuma experiência na função (a), menos de 5 anos de experiência (b), de 5 a 10 anos de experiência (c) e mais de 10 anos de experiência (d)

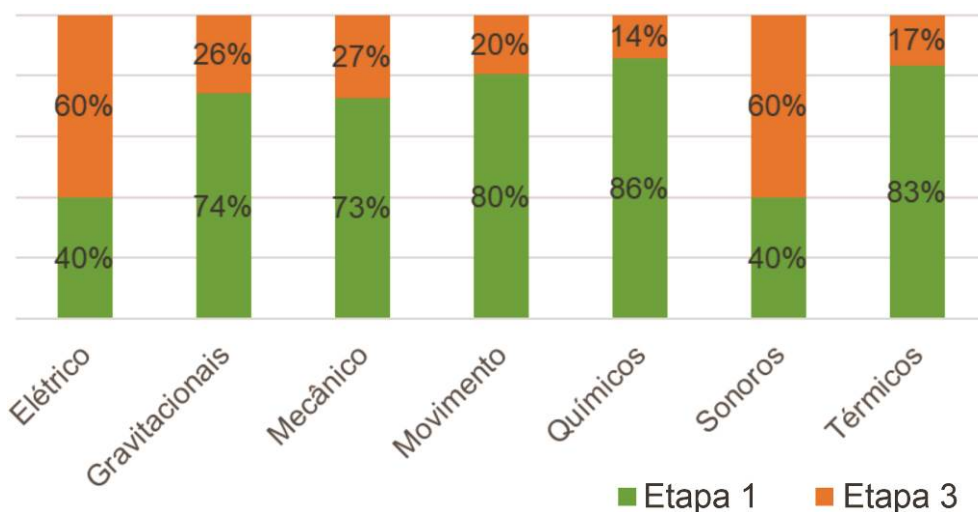


Fonte: o próprio autor

Em suma, o que se observou é que a estratégia de capacitação adotada tem grande potencial para contribuir com o nivelamento de profissionais com grande déficit em alguma das capacidades necessárias para tomada de decisões competentes. Em especial, notou-se contribuição no exercício da habilidade de utilizar um conhecimento prévio em um contexto específico. No estudo realizado, o simulador foi mais expressivo em contribuir com capacitações de nível básico, sendo menos significativo na capacitação dos profissionais que necessitavam apenas de um aprofundamento em suas capacidades de gestão de segurança.

No que diz respeito à tipologia dos riscos identificados pelos participantes, as respostas dadas pelos usuários foram agrupadas conforme as categorias de riscos sugeridas por Albert et al. (2014). Na Figura 38, mostra-se, para cada categoria, o percentual de riscos identificados na Etapa 1 e na Etapa 3 considerando todos os participantes do estudo.

Figura 38 – Percentual de riscos identificados pelos participantes nas Etapas 1 e 3 em cada categoria



Fonte: o próprio autor

A exemplo do Estudo I, o simulador contribuiu expressivamente na identificação de riscos menos evidentes nas fontes de dados tradicionalmente consultadas na gestão de obras, como projetos 2D e documentos técnicos. Destacase, por exemplo, as categorias de riscos elétricos e sonoros. Em ambas, a maioria dos riscos foram percebidos pelos participantes apenas após a utilização do simulador.

Outro aspecto que corrobora com a perspectiva de que foi o simulador que contribuiu com a identificação dos riscos percebidos na Etapa 3 é que as categorias que tiveram aumento mais expressivo nessa etapa foram justamente aquelas mais enfatizadas pela narrativa da simulação. Riscos elétricos e sonoros, por exemplo, foram bastante abordados nas cenas, nas seguintes situações:

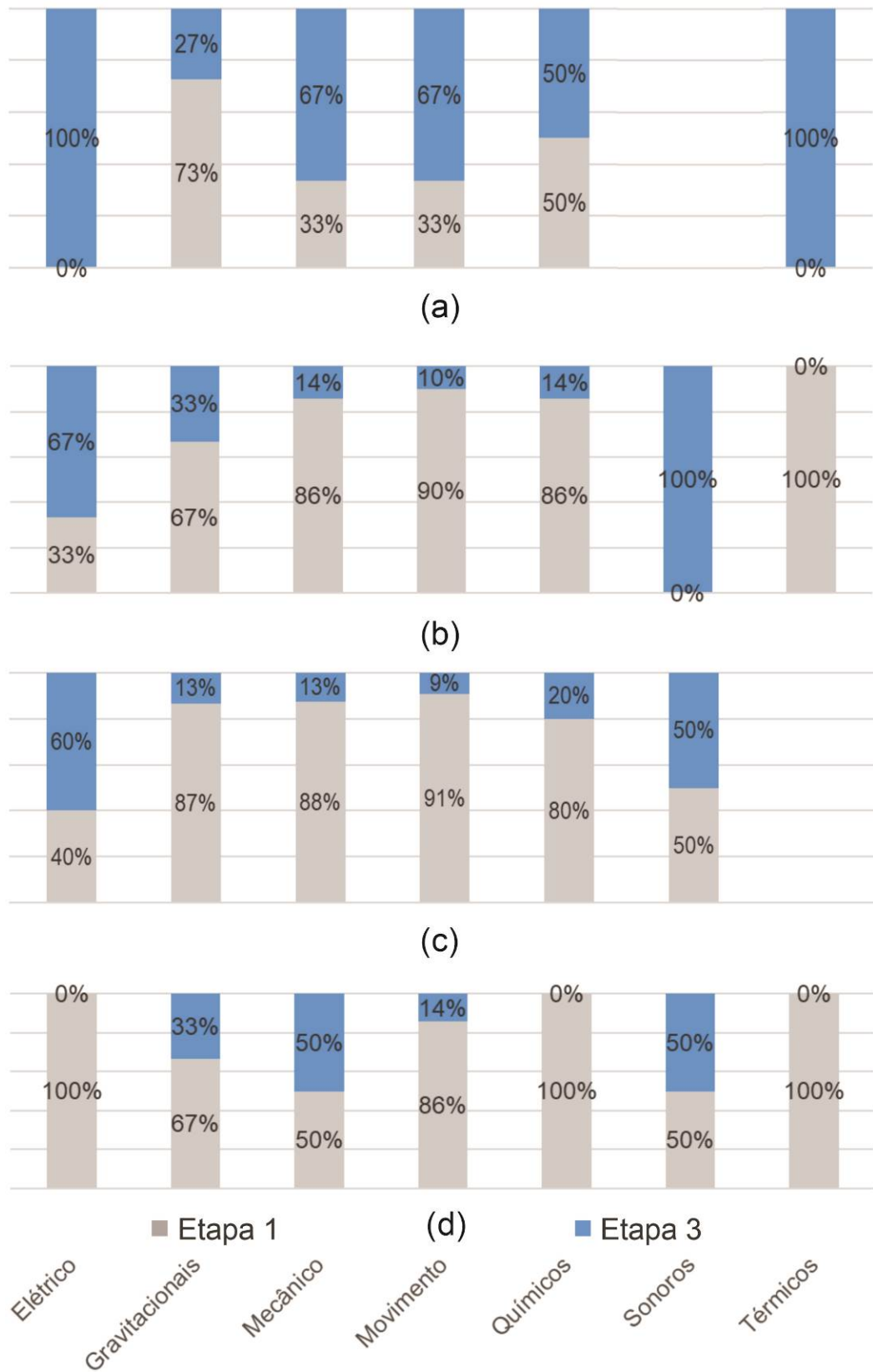
- Cena 2: usuário escuta os barulhos de operação da betoneira e serra circular e é alertado sobre esse risco;
- Cena 4: usuário escuta o barulho das máquinas e é alertado sobre esse risco;
- Cena 5: usuário observa a presença de redes elétricas de alta tensão e é alertado sobre esse risco;
- Cena 6: usuário observa trabalhadores operando equipamentos conectados na energia elétrica e é alertado sobre esse risco.

Além disso, nas Cenas 3 a 5 são apresentados diversos relatos de acidentes relacionados a interações com máquinas, queda em altura e colisões de trabalhadores com objetos em movimento. Na Etapa 1, os usuários já haviam destacado diversos riscos associados a essas situações, enquadradas nas categorias de riscos mecânicos, gravitacionais e de movimento. Ainda assim, na Etapa 3, ocorreu a identificação de novos riscos, sendo essas categorias (riscos mecânicos, gravitacionais e de movimento) a 3^a, 4^a e 5^a que mais sofreram acréscimos de riscos na análise dos participantes após o uso do Projeto Obra Segura.

Tipologias de riscos menos abordadas no simulador também tiveram uma participação menos expressiva na identificação de riscos realizada na Etapa 3. Essa percepção fortalece a ideia de que foi o simulador que de fato contribuiu para os riscos que foram identificados na terceira etapa do estudo. É o caso, por exemplo, dos riscos do tipo químico. No simulador, a única menção a esses riscos diz respeito à inalação do pó de cimento ou de cal pelos trabalhadores. Conforme Figura 38, essa foi a categoria em que, proporcionalmente, houve menor contribuição na identificação de riscos na Etapa 3.

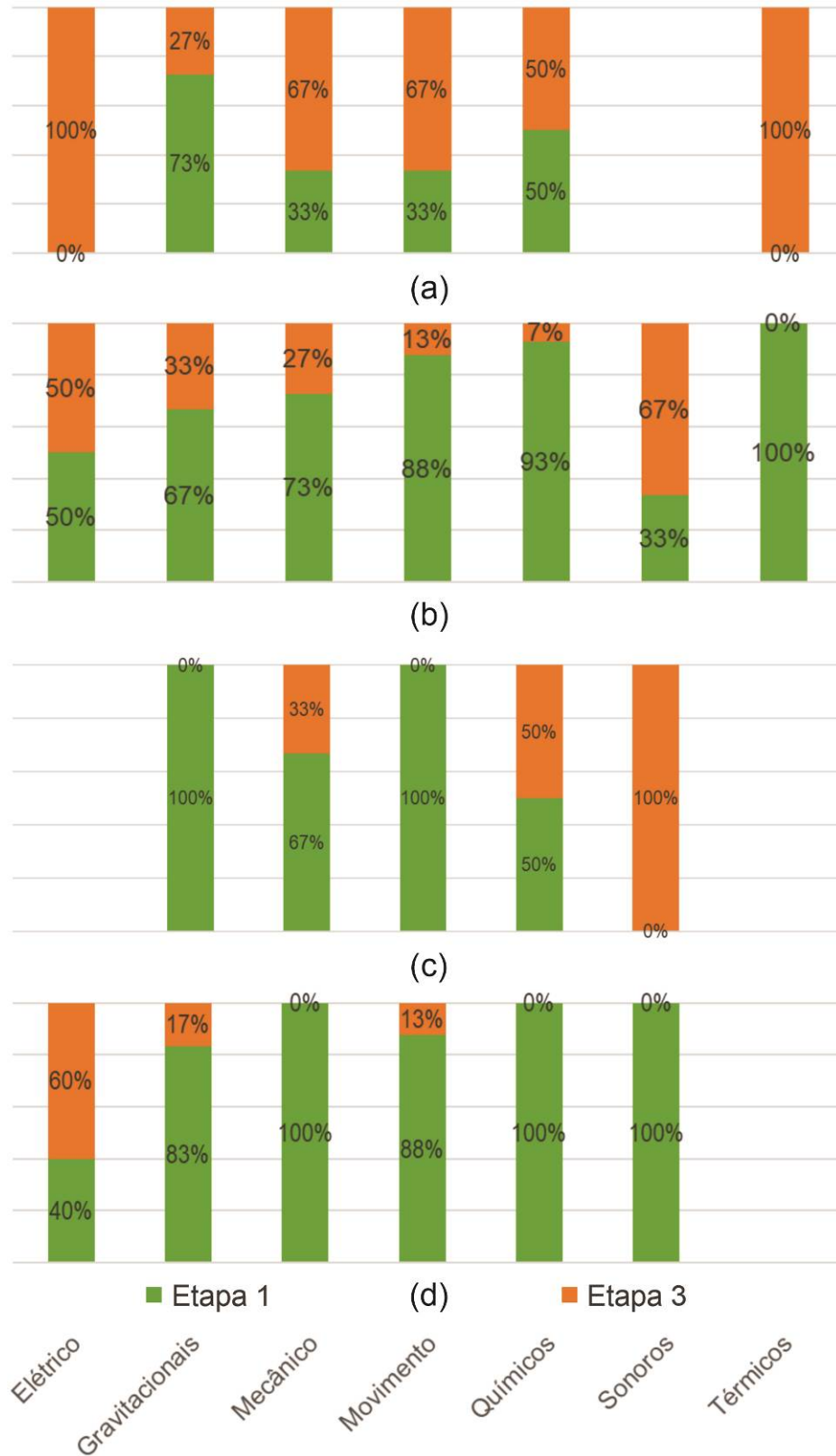
Agrupadas pelas características comuns, como grupo, idade e experiência como gestor, a análise de riscos dos usuários nas Etapas 1 e 3 é exibida nas Figuras 39 a 41.

Figura 39 – Percentual de riscos identificados pelos participantes nas Etapas 1 e 3 em cada categoria, subdivididos entre Grupo I (a), Grupo II (b), Grupo III (c) e Grupo IV (d)



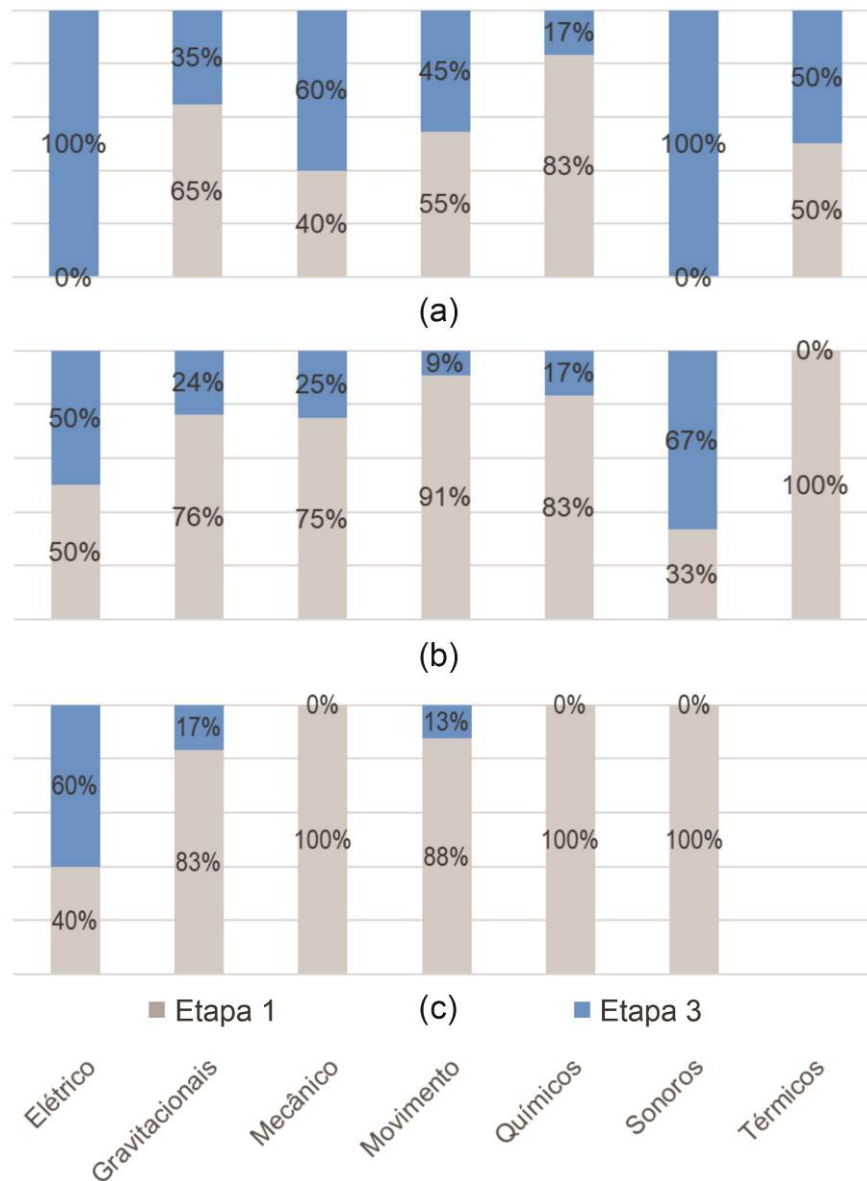
Fonte: o próprio autor

Figura 40 – Percentual de riscos identificados pelos participantes nas Etapas 1 e 3 em cada categoria, subdivididos entre participantes com nenhuma experiência na função (a), menos de 5 anos de experiência (b), de 5 a 10 anos de experiência (c) e mais de 10 anos de experiência (d)



Fonte: o próprio autor

Figura 41 – Percentual de riscos identificados pelos participantes nas Etapas 1 e 3 em cada categoria, subdivididos entre participantes com 20 a 25 anos (a), 25 a 35 anos (b) e mais de 35 anos (c)



Fonte: o próprio autor

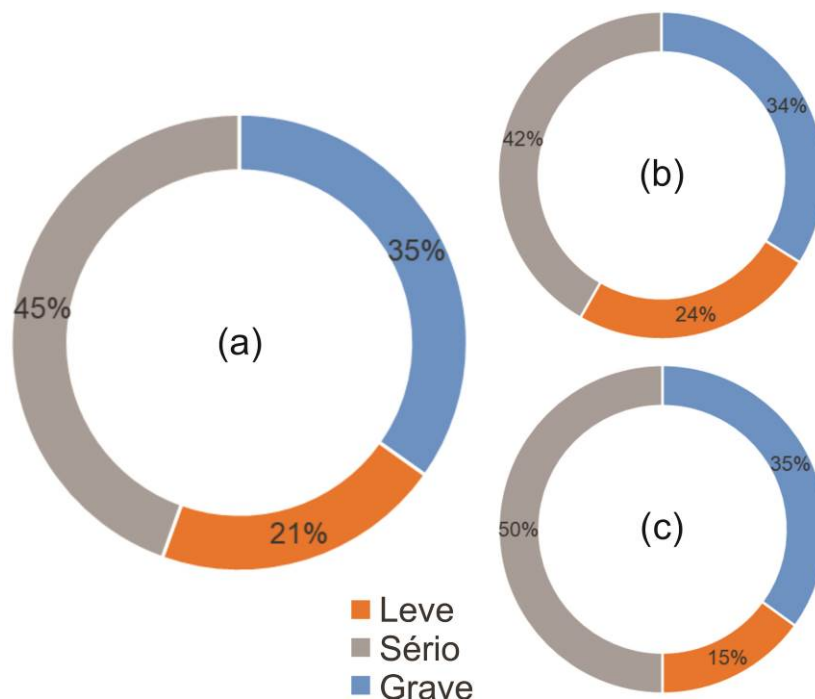
Analisadas em conjunto, as Figuras 39 a 41 revelam que foi principalmente nos grupos com menor experiência teórica e/ou prática que o simulador contribuiu para a identificação de riscos menos evidentes. É o caso, por exemplo, dos riscos do tipo elétrico e térmico analisados por participantes do Grupo I (Figura 39a). Todos os riscos identificados por esses usuários nessas categorias foram notados apenas após a experiência no Projeto Obra Segura. De fato, os participantes menos experientes, de modo geral, manifestaram comentários espontâneos ao longo da Etapa 1 em que opinaram de que o processo de análise de riscos por meio das

fontes de dados fornecidas era muito abstrato e difícil de ser realizado. Quando utilizaram o simulador, opinaram que a visão da cena acontecendo facilitava o entendimento da situação.

Nota-se que, no caso dos participantes com maior conhecimento teórico ou prático sobre o tema, o simulador e a abordagem intrínseca a ele parecem ter menor efeito de persuasão na capacitação. Ao longo da experiência no Projeto Obra Segura, os usuários são alertados sobre diversos riscos de natureza térmica e elétrica, como por exemplo insolação e choques elétricos em contato com equipamentos com mal funcionamento. Mesmo após passarem pela experiência no simulador, esses usuários não levantaram esses riscos na Etapa 3, de modo que em diversos casos (Figuras 39c, 40c, 40d e 41c, por exemplo) essas categorias não foram citadas pelos usuários em momento algum, seja na Etapa 1 ou 3.

Na Figura 42, detalha-se a avaliação dos usuários sobre a severidades dos riscos identificados por eles nas Etapas 1 e 3. Nota-se que prevalecem os riscos de natureza séria, tanto entre os riscos percebidos na Etapa 1 como entre aqueles notados apenas na Etapa 3.

Figura 42 – Distribuição dos riscos identificados pelos participantes conforme severidade definida por eles (a), também subdividida entre riscos percebidos na Etapa 1 (b) e apenas notados na Etapa 3 (c)



Fonte: o próprio autor

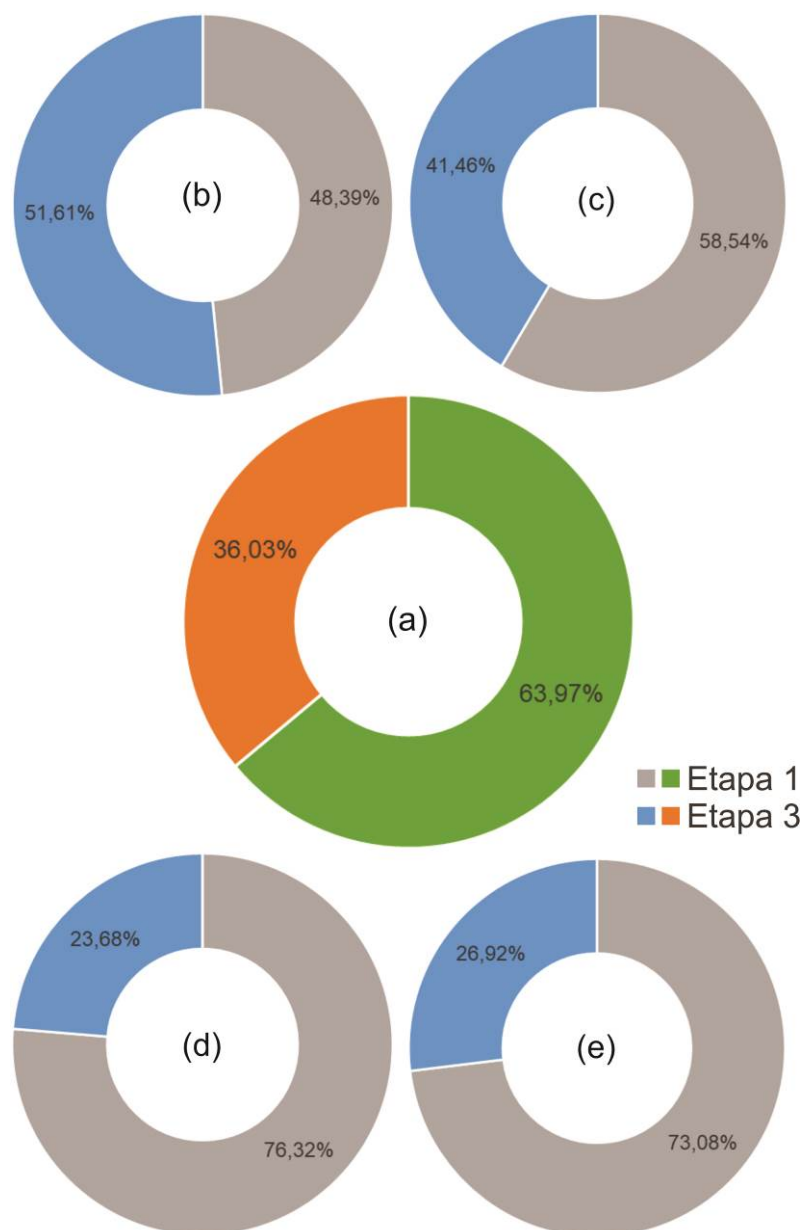
Além disso, conforme observado na Figura 42c, 85% dos riscos que foram identificados pelos participantes apenas na Etapa 3, após a utilização do simulador, foram classificados por eles como sendo de natureza séria ou grave. Esse fato revela a importância do simulador para o seu propósito de capacitação. Conforme discutido anteriormente, existem diversas evidências que indicam que os riscos notados na Etapa 3 são de fato resultado da contribuição do simulador. Considerando-se essa perspectiva, a Figura 42c revela que a maioria dos riscos que o Projeto Obra Segura possivelmente ajudou o usuário a notar eram riscos que teriam severas consequências caso os eventos associados a eles de fato viessem a ocorrer.

Cabe ressaltar que, conforme detalhado na seção 5.3 deste trabalho, na Etapa 3, os participantes podiam alterar a avaliação de severidade dos riscos identificados na Etapa 1. Entretanto, apenas dois participantes realizaram modificações, sugerindo que o simulador pouco interfere na avaliação de severidade do usuário sobre os riscos já levantados por ele. Contudo, nos casos em que houve alterações, a maioria das avaliações dos riscos se tornaram mais severas¹⁰. Questionados sobre as mudanças, esses participantes relataram que o simulador contribuiu para sua sensibilização, de modo que compreenderam, segundo eles, a real gravidade daqueles riscos.

No que diz respeito às medidas sugeridas pelos voluntários para prevenir ou mitigar as consequências dos riscos identificados, também existem evidências de que o simulador teve contribuição expressiva para a capacitação dos usuários. Na Figura 43, apresenta-se, em relação à quantidade total de medidas mitigadoras sugeridas pelos participantes, o percentual destas que foram propostas na Etapa 1 e na Etapa 3.

¹⁰ Foram avaliados na Etapa 1 como sendo “leves” e se tornaram “sérios” na Etapa 3, ou foram avaliados como “sérios” na Etapa 1 e se tornaram “graves” na Etapa 3.

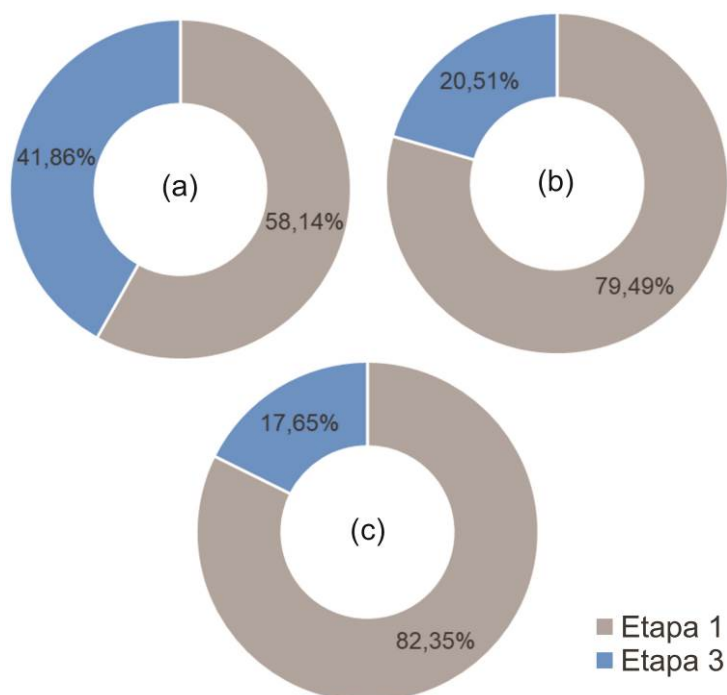
Figura 43 – Percentual de medidas sugeridas nas Etapas 1 e 3 por todos os participantes (a) e especificamente pelos participantes do Grupo I (b), Grupo II (c), Grupo III (d) e Grupo IV (e)



Fonte: o próprio autor

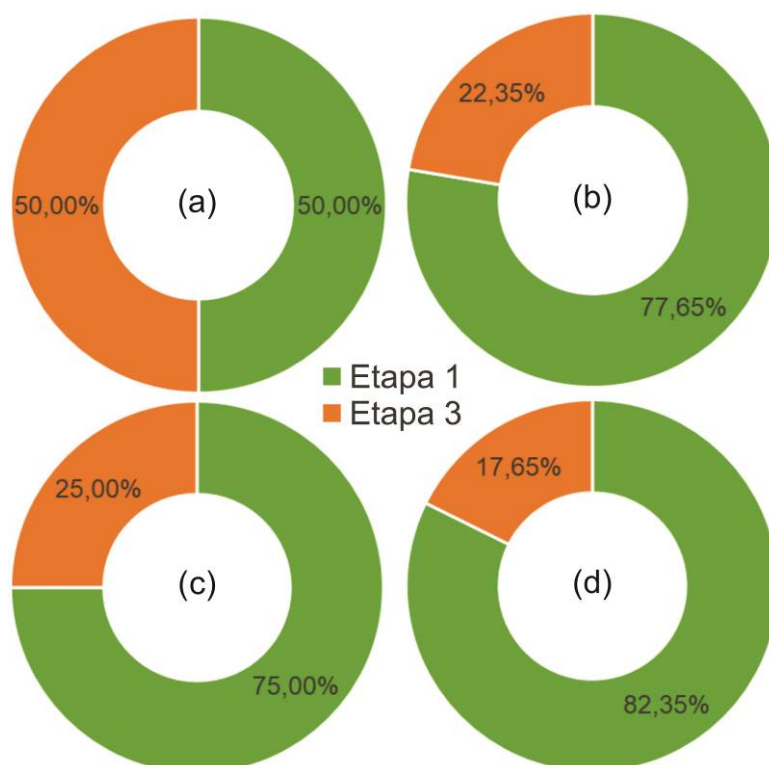
Nota-se que, assim como no caso dos riscos, o simulador parece ter grande contribuição, especialmente para o Grupo I, menos experiente (Figura 43b). Essa perspectiva também se evidencia conforme os dados são reagrupados conforme idade e experiência dos participantes (Figuras 44 e 45). Os participantes mais jovens e menos experientes mostraram, comparativamente aos demais, maior acréscimo de desempenho após a experiência no simulador.

Figura 44 – Percentual de medidas sugeridas nas Etapas 1 e 3 pelos participantes com 20 a 25 anos (a), 25 a 35 anos (b) e mais de 35 anos (c)



Fonte: o próprio autor

Figura 45 – Percentual de medidas sugeridas nas Etapas 1 e 3 pelos participantes com nenhuma experiência na função (a), menos de 5 anos de experiência (b), de 5 a 10 anos de experiência (c) e mais de 10 anos de experiência (d)



Fonte: o próprio autor

No que diz respeito ao comportamento e manifestações espontâneas dos usuários especificamente na Etapa 2 do estudo, quando utilizaram o simulador, diversas constatações revelaram benefícios e desafios no uso do recurso para capacitações. Assim como ocorrido no experimento realizado por Sacks, Perlman e Barak (2013), o uso da tecnologia de realidade virtual suscitou expressivo engajamento dos usuários no cumprimento das atividades propostas. A experiência no Projeto Obra Segura durou cerca de sessenta minutos para cada usuário. Ao longo desse tempo, notou-se que, apesar de cansados, os participantes continuaram concentrados na análise de riscos em cada cena. Participaram ativamente do processo, verbalizando riscos e medidas preventivas, sem manifestações excessivas que mostrassem estarem dispersos a essa tarefa.

Diversos usuários sugeriram riscos e medidas preventivas distintas daquelas que haviam sido previamente propostas no decorrer do desenvolvimento das cenas e incorporadas na narrativa. Ademais, as contribuições também foram diferentes entre os próprios usuários. Essas constatações reafirmam importantes premissas adotadas no decorrer do desenvolvimento do simulador e discutidas nas seções 6.1 e 6.2 deste trabalho. Em especial, a necessidade de adotar uma dinâmica que fomenta a criatividade, expressividade e individualidade do usuário, sem limitar suas respostas a um conjunto finito de possibilidades.

Por outro lado, outras constatações indicaram aspectos que precisam ser repensados no desenvolvimento de recursos similares ao Projeto Obra Segura. O uso da tecnologia de realidade virtual, ainda que tenha se mostrado atrativo e engajador aos usuários, precisa ser moderado. Após cerca de trinta minutos de uso dos óculos de realidade virtual imersiva, diversos participantes relataram mal-estar e náuseas. Nesses casos, optaram por terminar a experiência no simulador utilizando a tecnologia de realidade virtual não-imersiva, vivenciando as cenas na tela do computador e com o auxílio do *mouse* e do teclado.

Evidencia-se, assim, a importância da incorporação de elementos de jogos que permitam ao usuário vivenciar a narrativa completa do simulador usando-o várias vezes em intervalos de tempo mais curtos. Por exemplo, utilizando o recurso cerca de dez minutos diários durante vários dias para conseguir vivenciar toda a narrativa. Para isso, é necessário que haja elementos que delimitem etapas ao longo da simulação, como por exemplo por meio da utilização de níveis. Ademais, é imperativo o acréscimo das funcionalidades de parar, salvar e continuar a simulação.

No caso do Projeto Obra Segura, devido às limitações de tempo para realização do Estudo III e às próprias disponibilidades dos participantes, os voluntários optaram por realizar toda a experiência em um único dia. Contudo, em um uso futuro do simulador e no desenvolvimento de outros recursos similares, acredita-se que, caso o usuário decida vivenciar uma única cena (nível) por dia, não experimentará desconforto. A duração estimada de cada nível do Projeto Obra Segura foi de cerca de dez minutos. A expressiva maioria dos participantes não relatou mal-estar nos primeiros dez minutos da experiência com a tecnologia. Logo, caso a experiência do usuário fosse programada dessa forma, não haveria desconforto.

Também foram observados outros problemas relacionados ao aspecto operacional e à programação do simulador. Os participantes que já utilizavam óculos devido a problemas de visão tiveram dificuldade em utilizar os dois óculos simultaneamente. Além disso, alguns problemas inesperados foram detectados no decorrer das cenas, como a possibilidade de os participantes pularem para fora do cenário do simulador na Cena 5 e o fato de uma das animações dos operários da Cena 6 arremessar o usuário ao espaço virtual dependendo da posição em que ele se encontrasse no cenário. Essas ocorrências revelam a importância da realização de sucessivos testes e refinamentos no processo de desenvolvimento de jogos, simuladores e recursos dessa natureza, conforme sugerido por Morschheuser et al. (2018) e discutido na seção 3.4 deste trabalho.

Conforme discutido nas seções 6.1 e 6.2 deste trabalho, no desenvolvimento do simulador, decidiu-se definir um *layout* para cada nível da simulação que permitisse que o usuário tivesse liberdade para explorar a cena, mas que fosse concebido de forma que nada ficasse oculto ou passasse despercebido à sua visão. Na Cena 4, haviam dois trabalhadores posicionando um elemento de tubulação em uma vala atrás de uma caçamba. Ainda que o posicionamento pouco evidente dos trabalhadores tenha sido proposital¹¹, isso fez com que diversos participantes não notassem essa parte importante da cena, que passou despercebida em muitos casos. Isso revela que não se obteve sucesso na concepção de um *layout* do cenário totalmente evidente na Cena 4. Além disso, reforça a premissa de que é

¹¹ A cena é inspirada em um caso real de acidente ocorrido no Brasil em 2011, em que um trabalhador, ao passar atrás de uma caçamba, foi atingido por entulhos que estavam sendo descarregados nela (ARAÚJO, 2016).

necessário ter preocupação com esse aspecto no decorrer do desenvolvimento de recursos dessa natureza, para que se evite que ocorrências como essa aconteçam.

O baixo nível de detalhamento do cenário e qualidade de renderização da simulação também foram lembrados por alguns usuários de forma negativa. Segundo eles, por conta disso não era possível perceber se alguns riscos estavam presentes na cena. Um exemplo citado diz respeito à inexistência de informações sobre as condições em que se encontravam os equipamentos elétricos nas cenas, que poderiam revelar um risco de choque elétrico aos trabalhadores que operavam esses elementos. Em contrapartida, os participantes também relataram que a utilização de recursos sonoros e de interação com os trabalhadores (recurso *Interact*) facilitou a compreensão da cena e a identificação de riscos. Cabe ressaltar, no entanto, que em alguns casos os usuários não notaram a possibilidade de utilizar a função *Interact* para conversar com alguns trabalhadores.

A compreensão de que as cenas do simulador eram baseadas em acidentes reais ocorridos no Brasil foi bem avaliada pelos usuários, que relataram que isso facilita no processo de capacitação. De fato, a sensibilização dos usuários com os relatos foi nítida em alguns momentos durante a realização do estudo. Na Cena 6, por exemplo, o narrador cita um caso de acidente elétrico ocorrido no Brasil em 2010 em que, devido ao impacto do choque, um vergalhão de aço transpassou o abdômen da vítima (ARAÚJO, 2016). Ao escutarem esse relato, diversos participantes manifestaram reações espontâneas que demonstraram sua comoção o acontecido, como “uhh” e “ahh”. Ademais, após ouvir os casos de acidentes, diversos voluntários correlacionaram o acontecido no relato com outros incidentes que eles ou colegas já haviam presenciado.

Por fim, cabe ressaltar que, no que diz respeito à facilidade de uso e operabilidade do sistema de realidade virtual utilizado para o simulador, nenhum participante teve dificuldades. O tutorial apresentado no início da Etapa 2 foi essencial. Após assisti-lo, todos os participantes conseguiram realizar todas as tarefas que eram previstas na dinâmica do simulador, necessitando de auxílios pontuais do instrutor ao longo de todo o processo.

6.4 DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS BASEADOS EM JOGOS E REALIDADE VIRTUAL PARA A GESTÃO DA SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Ao longo deste trabalho, diversos aspectos que devem ser considerados com cautela no desenvolvimento de recursos baseados em jogos e realidade virtual para a gestão da segurança na construção civil foram abstraídos da literatura e dos estudos iniciais realizados. Esses aspectos foram posteriormente postulados enquanto premissas para o desenvolvimento do simulador Projeto Obra Segura. Por fim, o simulador e as premissas intrínsecas a ele foram avaliadas e novas reflexões foram geradas, culminando na elaboração de sete diretrizes para o desenvolvimento de recursos dessa natureza.

As diretrizes, discutidas nas subseções 6.4.1 a 6.4.7, buscam elucidar ao leitor as principais contribuições deste trabalho para responder à questão geral de pesquisa apresentada no Capítulo 1: *como desenvolver recursos baseados em estratégias associadas ao universo dos jogos e na tecnologia da realidade virtual de modo que eles possam contribuir para a capacitação de gestores da construção civil, no que diz respeito à percepção e mitigação de riscos no seu ambiente de trabalho?*

Salienta-se que, ainda que se acredite que essas diretrizes sejam suficientemente genéricas para serem utilizadas para o desenvolvimento de recursos de realidade virtual e jogos de qualquer natureza, sua elaboração decorreu das sucessivas reflexões propiciadas pelos estudos relatados neste trabalho. Desse modo, elas se limitam às particularidades do simulador e ao contexto em que ele está inserido. Recomenda-se cautela caso essas diretrizes tenham seu uso extrapolado para outras áreas e finalidades.

6.4.1 Diretriz 01: Capacite Quem Precisa Ser Capacitado

No terceiro estudo relatado neste trabalho, observou-se que grupos com distintos níveis de conhecimento teórico e prático sobre segurança do trabalho se beneficiaram de modos diferentes da experiência no simulador. Esse tipo de recurso se mostrou mais adequado, no experimento realizado, para capacitações de nível básico, lidando com indivíduos que tivessem grande déficit em alguma das capacidades necessárias para a tomada de decisões competentes. Em especial, no

que diz respeito à habilidade de aplicar um conhecimento previamente adquirido a um contexto específico.

Para a definição do público-alvo do recurso em desenvolvimento, também é necessário entender como supostamente deve ocorrer o aprendizado. Capacitações relacionadas à gestão da segurança do trabalho, por exemplo, certamente requerem que a influência ao comportamento do usuário seja diferente dos treinamentos em que o indivíduo aprende simplesmente a seguir uma série de procedimentos padronizados. Existe muita subjetividade e infinitas possibilidades na tomada de decisões relativas à gestão da segurança do canteiro de obras. Assim, é impraticável ensinar ao usuário todas essas possibilidades, como é feito em treinamentos que se pautam unilateralmente na padronização de procedimentos. É necessário transcender a isso e prover maior enfoque às capacidades do usuário em lidar com diferentes situações para que, independentemente da situação em que ele se encontre, ele tenha competência para lidar adequadamente com a situação.

Considerando-se as reflexões apresentadas ao longo deste trabalho, os recursos que utilizam realidade virtual e jogos para capacitar parecem ser mais adequados para lidar com esse segundo tipo de capacitação. Os recursos visuais da realidade virtual e a dinâmica do universo dos jogos permitem mudar rapidamente o contexto em que o usuário está inserido. Desse modo, rapidamente ele pode ser testado e exercitar sua capacidade de lidar com diversas situações completamente diferentes. Ademais, as variadas emoções e sensações experimentadas parecem ajudar a fixar a informação e a influenciar na sua tomada de decisão e no seu aprendizado.

6.4.2 Diretriz 02: Estimule o Papel Ativo do Usuário

Nas considerações sobre as estratégias baseadas em jogos para fins além do entretenimento, apresentadas no Capítulo 3, notou-se uma crítica aos estudos realizados anteriormente a respeito de como eles inibiam a expressividade do jogador. De fato, no terceiro estudo relatado neste trabalho, à medida que os participantes tiveram ideias diferentes entre si e daquelas programadas no simulador, a importância da promoção dessa expressividade se tornou nítida.

Como já discutido, na gestão da segurança do trabalho na construção civil, há muita subjetividade envolvida. Um indivíduo pode considerar a possibilidade de

ocorrência de um determinado evento como um risco, sendo que outra pessoa pode analisar esse mesmo evento e não o considerar arriscado. Existem diversas normativas que buscam trazer mais objetividade à análise, mas, como visto no Capítulo 2, ainda são consideradas demasiadamente genéricas por muitos autores.

Assim, é necessário que o desenvolvimento de recursos para capacitações nesse contexto seja flexível às diferentes opiniões dos usuários. Enquanto seres individuais, subjetivos, criativos e espontâneos, é imperativo estimular sua expressividade para que o aprendizado ocorra por meio da comparação de opiniões e perspectivas opostas e similares. Entretanto, é importante equilibrar essa liberdade que é dada à expressividade do usuário, utilizando-se, principalmente, de elementos de jogos, como níveis e missões, para que suas análises e contribuições sejam focadas no objetivo pretendido.

6.4.3 Diretriz 03: Entenda que se Trata do Desenvolvimento de um Sistema

Um sistema pode ser definido como um conjunto de componentes que interagem entre si para o cumprimento de uma função (FERNANDES, 2003). Naturalmente, no caso dos sistemas que constituem os recursos que utilizam realidade virtual e jogos para capacitações relacionadas à segurança do trabalho, tem-se vários componentes importantes. Como visto no Capítulo 4, a realidade virtual, *per se*, já é considerada um sistema, composto por elementos como o ambiente virtual, ambiente computacional, tecnologia de realidade virtual e formas de interação (TORI; KIRNER; SISCOOTTO, 2006). Ademais, no todo, soma-se a esses componentes o arcabouço teórico do universo dos jogos, que por sua vez é composto por elementos relacionados à mecânica dos jogos, como níveis, missões e pontos, além da sua dinâmica e estética (ZICHERMANN; CUNNINGHAM, 2011).

Cada um desses componentes executa uma função específica dentro do sistema e devem ser associados uns aos outros no momento do desenvolvimento do recurso, dependendo da funcionalidade pretendida. Os elementos de jogos têm papel fundamental em guiar o usuário, estabelecendo formas de se comunicar com ele e provendo foco à sua experiência. Devem ser intencionalmente utilizados em vista dessas funções. Como visto no Capítulo 4, o desenvolvimento de recursos de realidade virtual sem que se explorasse conscientemente as estratégias do universo dos jogos é uma das críticas da literatura.

É necessário cautela, também, na escolha dos elementos para compor a realidade virtual. Componentes de baixo custo tendem a ser, naturalmente, mais acessíveis, mas em geral carecem de formas de interação com o usuário. Elementos mais complexos possibilitam uma experiência mais rica ao usuário, porém têm custo elevado e nem sempre são compatíveis com os demais componentes do sistema. Assim, é imperativo entender que independente dos elementos escolhidos para compor o sistema, haverá vantagens e desvantagens. Cabe ao desenvolvedor ter criatividade para lidar com elas em vista do objetivo pretendido.

No Projeto Obra Segura, por exemplo, deu-se preferência a dispositivos de baixo custo. Como consequência, a interação com o usuário e a sua experiência na realidade virtual, se analisadas considerando os componentes do sistema individualmente, tenderia a ser limitada. A solução encontrada foi associar esses componentes a outros que pudessem prover uma experiência mais rica e interativa. Aos óculos de realidade virtual, foi associado um *gamepad* que possibilitava ao usuário executar múltiplas funções sem sair da imersão da realidade virtual. Ademais, como já discutido, a dinâmica de jogo também foi imperativa para uma experiência enriquecida do usuário.

6.4.4 Diretriz 04: Tire Proveito da Virtualidade Característica da Simulação

Ainda que se trate de uma representação do mundo real, é importante lembrar que os elementos da realidade virtual são, de fato, completamente virtuais. Essa percepção implica em entender que, caso seja interessante para o aprendizado, é possível transcender aos limites metafísicos da simulação. Assim, é possível, por exemplo, acelerar a passagem do tempo para que o usuário possa presenciar rapidamente todas as etapas construtivas da obra. Outro exemplo é o risco real que é oferecido ao usuário: na simulação, é possível se ferir ou mesmo morrer sem que essas consequências tenham impacto no mundo real. Isso facilita a aprendizagem pelo erro, uma vez que o usuário tem consequências tangíveis às suas ações tomadas.

Uma das principais características da realidade virtual que influencia a imersão do usuário é o realismo da simulação. Atualmente, o desenvolvimento tecnológico desses recursos permite que se interaja com cenários virtuais com aspectos visuais muito próximos do mundo real. Essa característica de realismo é

um dos principais diferenciais da realidade virtual e deve ser explorada intensamente, porém não deve ser confundida com a possível fidelidade do cenário virtual com o mundo real. A fim de se estabelecer diferenças bem definidas entre ambos os conceitos, apresenta-se a seguir duas definições:

- a) realismo: é a qualidade de um elemento não-real se parecer com um elemento real;
- b) fidelidade: é a relação de semelhança entre um elemento não-real que busca copiar um elemento real específico.

Ao passo que desenvolver simulações realistas é algo prático em vista das tecnologias atuais, criar simulações que mantenham relações de fidelidade com algum elemento do mundo real já não é tão simples. Isso porque ao modelar um cenário virtual buscando a representação fiel de um elemento real, é representar todos os seus detalhes e realizar atualizações sucessivas no modelo virtual à medida que o elemento real também é modificado. Já no caso da modelagem de simulações puramente realistas, ainda que o cenário virtual também necessite de um nível de detalhamento satisfatório, não há uma associação com um elemento real de fato, de modo que há mais liberdade para criação do elemento virtual e não é necessário realizar tantas atualizações posteriores.

Por fim, cabe ressaltar que o cenário virtual a ser desenvolvido não deve ser perfeito, uma vez que o mundo real também não é perfeito. Diversos estudos anteriores que modelaram cenários em realidade virtual não se atentaram ao fato de que o canteiro de obra tem imperfeições. Assim, na situação real, muitas vezes existem entulhos depositados em locais incorretos, materiais desorganizados e ferramentas em mau estado de conservação. Considerando o contexto da segurança do trabalho, essas situações muitas vezes podem representar riscos aos trabalhadores e, assim sendo, devem ser apresentadas no cenário virtual.

É necessário se atentar ainda para que o oposto também não ocorra. Com o intuito de deixar as situações inseguras no ambiente de trabalho bastante expostas ao usuário, estudos anteriores modelaram situações absolutamente improváveis de acontecer no mundo real. Portanto, é necessário equilibrar o nível de imperfeições do cenário virtual para se assemelhar ao mundo real.

6.4.5 Diretriz 05: Esteja Preparado para os Diferentes Perfis de Usuário

No decorrer do terceiro estudo relatado nesse trabalho, os doze participantes que utilizaram o Projeto Obra Segura apresentaram comportamentos completamente distintos. Alguns se atentaram mais aos estímulos visuais da cena, enquanto outros pareciam mais envolvidos pelos relatos auditivos dos casos de acidentes e demais estímulos sonoros. Os participantes mais jovens, em particular, inclusive testaram os limites do simulador, pulando de alturas elevadas e em aberturas para observar as consequências.

Essas ocorrências confirmam a existência de diferentes perfis de usuários. Enquanto desenvolvedor do sistema, é imperativo estar preparado para lidar com todos eles. Assim, observa-se a importância da diversificação de fontes de informação, utilizando-se de estímulos visuais e sonoros de variados tipos. É necessário tentar prever as possíveis ações dos usuários na simulação, como percorrer todos os lugares, pular, cair e interagir com outros elementos, e estabelecer consequências para essas ações. Certamente, conforme amplamente debatido nesse trabalho, é impraticável prever todas as ações do usuário. Nesse sentido, uma prática desejável é realizar sucessivos testes com voluntários e observar seu comportamento, implementando refinamentos no recurso desenvolvido.

Outro aspecto importante é a compreensão de que os usuários terão diferentes níveis de familiaridade com a tecnologia. Assim, para facilitar a utilização do simulador, faz-se necessária a criação de um tutorial que instrua o usuário sobre como utilizá-lo.

6.4.6 Diretriz 06: Atente-se à Liberdade que é Dada ao Usuário

Outro aspecto importante que compete à realidade virtual é que, para que o usuário se sinta imerso no cenário virtual, ele precisa ter um nível satisfatório de liberdade para explorar a simulação. A experiência com a realidade virtual é amplamente guiada pelas sensações do usuário, de modo que ele precisa ter liberdade para explorá-las. Contudo, uma vez que há um valor pedagógico agregado à experiência, também é necessário orientar o usuário para prover foco ao seu

processo de aprendizado. Nesse sentido, as estratégias baseadas em jogos têm grande potencial para contribuir.

A estipulação de etapas bem definidas, utilizando os níveis característicos dos jogos, traz *feedback* ao usuário sobre seu progresso. Ademais, podem ser utilizadas como pontos de controle (*checkpoints*) em que o usuário pode decidir parar momentaneamente com a experiência, salvar seu progresso e continuar posteriormente. Esses níveis devem ser de curta duração, uma vez que, como observado no Estudo III, experiências prolongadas em ambientes de realidade virtual podem causar mal-estar nos usuários.

O *layout* do cenário deve ser cuidadosamente planejado em relação à liberdade que é dada ao usuário. Ele precisa ter autonomia para explorá-lo como preferir, uma vez que o aprendizado ocorre pelas suas emoções e sensações. Contudo, é necessária atenção para que, independente do que ele faça, não haja possibilidade de que ele não veja ou se esqueça de percorrer algum espaço do cenário.

Por fim, cabe destacar que, ainda que o usuário necessite de certa liberdade para explorar a simulação, é necessário estipular metas bem definidas para que ele não se disperse do objetivo pretendido. Nesse sentido, é bastante útil a utilização de missões e desafios, característicos do universo dos jogos.

6.4.7 Diretriz 07: Equilibre o “Jogar” e o “Brincar”

Como discutido no Capítulo 3, o universo dos jogos remonta às definições de “brincar” e “jogar”. Ao passo que a brincadeira é uma atividade em que se estimula mais a criatividade e imaginação, o jogo é marcado pela competitividade e regras bem definidas. Ambos são importantes, porém seus usos devem ser equilibrados no desenvolvimento de recursos similares ao relatado neste trabalho.

As regras características dos jogos, desde que exploradas com parcimônia, guiam o usuário e proveem foco à sua experiência. A competitividade também é importante para motivar o usuário, mas não deve ser excessiva ao ponto de gerar compulsão. Cabe ressaltar que o recurso desenvolvido tem o objetivo de capacitar, e deve ser assim entendido pelo usuário. Nesse sentido, o usuário necessita entender que deve adotar um comportamento responsável no decorrer da narrativa, tal qual

teria no mundo real. O estímulo a um comportamento compulsório do usuário, buscando progredir na narrativa a qualquer custo, pode se interpor a isso.

Por fim, orienta-se cautela na coleta de dados do desempenho do usuário na simulação para análises posteriores. Ainda que não apresente comportamento compulsório, certamente o comportamento do usuário não é exatamente igual ao que ele teria no mundo real. Apesar de a realidade virtual imitar com realismo satisfatório o mundo real, ainda se trata de um ambiente virtual em que as ações do usuário não implicam em consequências severas a ele no mundo real. Isso certamente influencia seu comportamento. Além disso, como já discutido no Capítulo 3, as pessoas tendem a alterar seu comportamento quando sentem que estão sendo observadas. Também se ressalta que a coleta e análise desses dados têm implicações éticas e morais que devem ser cuidadosamente analisadas.

6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

As reflexões resultantes da realização dos Estudos I, II e III, apresentadas neste capítulo, mostraram-se essenciais para a discussão do problema de pesquisa em pauta neste trabalho. Aliado ao levantamento bibliográfico realizado, o Estudo I possibilitou identificar diversas deficiências das abordagens de estudos anteriores ao tema da realidade virtual aplicada à capacitação de segurança do trabalho. Desse modo, entende-se que o objetivo específico (a) deste trabalho, apresentado no Capítulo 1, foi alcançado.

O Estudo II, por sua vez, constituiu-se em um importante recurso para o aprimoramento do simulador desenvolvido. Assim, tendo em vista o processo de desenvolvimento do simulador Projeto Obra Segura como um todo, entende-se que o objetivo específico (b) também foi cumprido. Finalmente, o Estudo III permitiu avaliar o desempenho do simulador em seu propósito de aprendizado. A partir dessa análise, abstraíram-se diretrizes que revelam quais características do simulador foram importantes para contribuir com a capacitação dos seus usuários. Dessa forma, entende-se que o objetivo específico (c) foi atingido, assim como o objetivo geral deste estudo.

7 CONCLUSÃO

No decorrer deste trabalho, relataram-se as constatações observadas a partir da análise da literatura sobre o desenvolvimento de recursos baseados em realidade virtual e estratégias do universo dos jogos para a gestão da segurança do trabalho na construção civil. Por meio das reflexões geradas a partir do desenvolvimento de um simulador que utiliza realidade virtual e estratégias de jogos para capacitação de gestores da construção civil, foi possível estabelecer importantes diretrizes para o desenvolvimento de novos recursos nesse tema.

O levantamento bibliográfico e o estudo exploratório realizados revelaram diversas dificuldades encontradas pelos recursos de realidade virtual e jogos já desenvolvidos para capacitações sobre segurança do trabalho. Em especial, destaca-se a abordagem excessivamente proceduralista de condução do usuário ao longo da narrativa, de modo a inibir sua espontaneidade e criatividade.

O simulador desenvolvido, denominado Projeto Obra Segura, foi elaborado baseado em uma abordagem alternativa àquela utilizada por esses estudos anteriores, buscando não incorrer nos mesmos problemas. Mostrou-se eficiente para contribuir com a capacitação dos gestores de obras, no que diz respeito à percepção de riscos no ambiente de trabalho e proposição de medidas preventivas e mitigadoras. Em especial, gestores com baixa experiência teórica e/ou prática no tema foram mais beneficiados nos testes realizados, principalmente no que diz respeito à habilidade de aplicar um conhecimento teórico previamente adquirido a um contexto específico.

No que diz respeito às características do simulador que foram essenciais ao processo de capacitação, evidenciou-se a importância de integrar de maneira eficaz o arcabouço teórico do universo dos jogos para guiar a experiência do usuário, com os estímulos audiovisuais imersivos da tecnologia da realidade virtual. Também se observou que o processo de capacitação por meio de recursos desse gênero é distinto de outros recursos tradicionalmente utilizados para capacitação. Por meio da realidade virtual e da dinâmica dos jogos, é possível atribuir um papel mais ativo ao usuário em seu próprio processo de aprendizado, de modo a exercitar suas capacidades para tomada de decisões competentes.

Como sugestões a trabalhos futuros, recomenda-se que as diretrizes estabelecidas neste trabalho, a princípio limitadas ao contexto de capacitação de

gestores de obras para percepção e mitigação de riscos no ambiente de trabalho, sejam cautelosamente testadas em outros contextos. Ademais, sugere-se também a criação de novos recursos que utilizem realidade virtual e jogos, porém com dispositivos de realidade virtual distintos daqueles que foram utilizados neste trabalho, a fim de se realizar comparações com os resultados obtidos nos estudos anteriormente relatados.

REFERÊNCIAS

ALBERT, A.; HALLOWELL, M. R.; KLEINER, B.; CHEN, A.; GOLPARVAR-FARD, M. Enhancing construction hazard recognition with high-fidelity augmented virtuality. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, n. 7, p. 04014024, jul. 2014. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000860>>.

ALBRECHTSLUND, A.; DUBBELD, L. The plays and arts of surveillance: studying surveillance as entertainment. **Surveillance & Society**, v. 3, n. 2, p. 216–221, 2005.

ALE, B. J. M.; BELLAMY, L. J.; BAKSTEEN, H.; DAMEN, M.; GOOSSENS, L. H. J.; HALE, A. R.; MUD, M.; OH, J.; PAPAZOGLU, I. A.; WHISTON, J. Y. Accidents in the construction industry in the netherlands: an analysis of accident reports using Storybuilder. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 93, n. 10, p. 1523–1533, out. 2008. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0951832007002256>>.

ANDOLFO, C.; SADEGHPOUR, F. A probabilistic accident prediction model for construction sites. **Procedia Engineering**, v. 123, p. 15–23, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.052>>.

ARAÚJO, F. **Análises de acidentes e doenças do trabalho**, 2016. Disponível em: <<https://segurancadotrabalhonwn.com/livro-analises-de-acidentes-e-doencas-do-trabalho-download/>>. Acesso em: 14 fev. 2019.

ASGARI, Z.; RAHIMIAN, F. P. Advanced virtual reality applications and intelligent agents for construction process optimisation and defect prevention. **Procedia Engineering**, v. 196, p. 1130–1137, 1 jan. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817331971?via%3Dihub>>. Acesso em: 11 jan. 2019.

BADEA, A.; PROSTEAN, G.; HUTANU, A.; POPA, S. Competency training in collaborative supply chain using KSA model. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 191, p. 500–505, jun. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.352>>.

BHATTACHARJEE, S.; GHOSH, S.; YOUNG-CORBETT, D. Safety improvement approaches in construction industry: a review and future directions. In: Proceedings of the 47th ASC Annual International Conference Proceedings, Omaha. **Anais...** Omaha: Associated Schools of Construction, 2011.

BHOIR, S.; ESMAEILI, B. State-of-the-art review of virtual reality environment applications in construction safety. In: AEI 2015, Reston. **Anais...** Reston: American Society of Civil Engineers, 17 fev. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1061/9780784479070.040>>.

BOURNE, K. C. Education. In: **Application Administrators Handbook**. [s.l.] Elsevier, 2014. p. 571–582.

BRANDÃO, H. P.; BAHRY, C. P. Gestão por competências: métodos e técnicas para

mapeamento de competências. **Revista do Serviço Público**, v. 56, n. 2, p. 179–194, 2005.

BRANDÃO, H. P.; GUIMARÃES, T. de A. Gestão de competências e gestão de desempenho: tecnologias distintas ou instrumentos de um mesmo construto? **Revista de Administração de Empresas**, v. 41, n. 1, p. 8–15, 2001.

BRASIL. **NR 4 - Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho**, 2016a. Disponível em:

<https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-04.pdf>.

_____. **NR 5 - Comissão Interna de Prevenção de Acidentes**, 2011. Disponível em: <https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-05.pdf>.

_____. **NR 6 - Equipamento de Proteção Individual - EPI**, 2018a. Disponível em: <https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-06.pdf>.

_____. **NR 7 - Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional**, 2018b.

Disponível em:

<https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-07.pdf>.

_____. **NR 9 - Programa de Prevenção de Riscos Ambientais**, 2017. Disponível em: <https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-09.pdf>.

_____. **NR 18 - Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção**, 2018c. Disponível em:

<https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-18.pdf>.

_____. **NR 33 - Segurança e saúde nos trabalhos em espaços confinados**, 2012. Disponível em:

<https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-33.pdf>.

_____. **NR 35 - Trabalho em altura**, 2016b. Disponível em:

<https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-35.pdf>.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **OHSAS 18001: Occupational Health and Safety Assessment Series**, 2007.

BUILDIN. **Segurança do trabalho na construção**, 2019. Disponível em:

<<https://www.buildin.com.br/seguranca-do-trabalho-na-construcao-civil/>>.

CAMBRIDGE DICTIONARY. **Continuum**, 2019a. Disponível em:

<<https://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/continuum>>. Acesso em: 11 jan. 2019.

CAMBRIDGE DICTIONARY. **Gamepad**, 2019b. Disponível em:

<<https://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/gamepad>>. Acesso em: 11 jan. 2019.

CBIC. **Guia para gestão de segurança nos canteiros de obra: orientação para prevenção dos acidentes e para o cumprimento das normas de SST**. Distrito Federal: CBIC, 2017.

CHANTAWIT, D.; HADIKUSUMO, B. H. W.; CHAROENNGAM, C.; ROWLINSON, S. 4DCAD-Safety: visualizing project scheduling and safety planning. **Construction Innovation**, v. 5, n. 2, p. 99–114, 11 jun. 2005. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/14714170510815203>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

CHITTARO, L.; BUTTUSSI, F. Exploring the use of arcade game elements for attitude change: two studies in the aviation safety domain. **International Journal of Human-Computer Studies**, jul. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2018.07.006>>.

DETERDING, S. DIXON, D.; KHALED, R.; NACKE, L. From game design elements to gamefulness: defining “gamification”. In: 15th International Academic MindTrek Conference on Envisioning Future Media Environments - MindTrek '11, Tampere. **Anais...** Tampere: ACM Press, 2011. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2181037.2181040>>.

DEWINTER, J.; KOCUREK, C. A.; NICHOLS, R. Taylorism 2.0: gamification, scientific management and the capitalist appropriation of play. **Journal of Gaming & Virtual Worlds**, v. 6, n. 2, p. 109–127, 1 jun. 2014. Disponível em: <<http://openurl.ingenta.com/content/xref?genre=article&issn=1757-191X&volume=6&issue=2&page=109>>.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; MIGUEL, P. A. C. A distinctive analysis of case study, action research and Design Science Research. **Review of Business Management**, v. 17, n. 56, p. 1116–1133, 24 nov. 2015. Disponível em: <<http://rbgn.fecap.br/RBGN/article/view/2069>>.

DU, J.; ZOU, Z.; SHI, Y.; ZHAO, D. Zero latency: real-time synchronization of BIM data in virtual reality for collaborative decision-making. **Automation in Construction**, v. 85, p. 51–64, jan. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.009>>.

EAVES, S.; GYI, D. E.; GIBB, A. G. F. Building healthy construction workers: their views on health, wellbeing and better workplace design. **Applied Ergonomics**, v. 54, p. 10–18, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2015.11.004>>.

FARDO, M. L. Resenha: KAPP, Karl M. The gamification of learning and instruction: game-based methods and strategies for training and education. San Francisco: Pfeiffer, 2012. **Conjectura: filosofia e educação**, v. 18, n. 1, p. 201–206, 2013. Disponível em: <<http://ucs.br/etc/revistas/index.php/conjectura/article/viewFile/2048/1210>>.

FELIX, S. **Crítica | Black Mirror: Bandersnatch cumpre pelo menos uma de suas funções**, 2019. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/cinema/critica-black-mirror-bandersnatch-130007/>>.

FERNANDES, J. H. C. **O que é um sistema?**, 2003. Disponível em: <<https://cic.unb.br/~jhcf/MyBooks/ic/1.Introducao/AspectosTeoricos/oqueehsistema.html>>. Acesso em: 5 nov. 2019.

FERNANDES, K. J.; RAJA, V.; WHITE, A.; TSINOPOULOS, C-D. Adoption of virtual

reality within construction processes: a factor analysis approach. **Technovation**, v. 26, n. 1, p. 111–120, jan. 2006. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0166497204001270>>.

FONSECA, E. D.; LIMA, F. de P. A.; DUARTE, F. J. de C. M. Integração entre produção e segurança na construção civil: criando situações de trabalho seguras pela antecipação de conflitos de projeto. In: XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABEPRO, 2011.

FRAGA, R. P.; PEREZ, G.; DAMIN, F. Situating gamification in relation to other game based concepts: a systematic review. In: 14th International Conference on Information Systems & Technology Management (CONTECSI), São Paulo. **Anais...** São Paulo: TECSI/EAC/FEA/USP, 27 maio 2017. Disponível em: <<http://www.contecsi.fea.usp.br/envio/index.php/contecsi/14CONTECSI/paper/view/4580>>.

FREIRE, G. A. A.; MADEIRA, C. A. G. Modelo conceitual para criação de jogos voltados para a tomada de decisão em gerenciamento de projetos. In: IV Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE), Maceió. **Anais...** Maceió: 26 out. 2015. Disponível em: <<http://br-ie.org/pub/index.php/wcbie/article/view/6239>>.

FREITAS, M. R. de; RUSCHEL, R. Aplicação de realidade virtual e aumentada em arquitetura. **Arquitetura Revista**, v. 6, n. 2, p. 127–135, 21 dez. 2010. Disponível em: <<http://revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/4553>>.

FREITAS, M. R. De; SANTOS, E. T. Proposta de uma ferramenta de realidade virtual para o planejamento de canteiros de obras. In: X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

GARCÍA, F.; PEDREIRA, O.; PIATTINI, M.; CERDEIRA-PENA, A.; PENABAD, M. A framework for gamification in software engineering. **Journal of Systems and Software**, v. 132, p. 21–40, out. 2017. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0164121217301218>>.

GOLDENHAR, L. M.; SCHWATKA, N.; JOHNSON, S. K. Leadership skills for strengthening jobsite safety climate. **Journal of Safety Research**, maio 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.04.011>>.

GOULDING, J.; NADIM, W.; PETRIDIS, P.; ALSHAWI, M. Construction industry offsite production: a virtual reality interactive training environment prototype. **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, n. 1, p. 103–116, jan. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2011.09.004>>.

GRILL, M.; NIELSEN, K. Promoting and impeding safety – a qualitative study into direct and indirect safety leadership practices of constructions site managers. **Safety Science**, v. 114, n. December 2018, p. 148–159, abr. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.01.008>>.

GUNDUZ, M.; LAITINEN, H. Construction safety risk assessment with introduced control levels. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 24, n. 1, p. 11–18, 1 mar. 2018. Disponível em: <<http://journals.vgtu.lt/index.php/JCEM/article/view/284>>.

GUO, H. L.; LI, H.; LI, V. VP-based safety management in large-scale construction projects: a conceptual framework. **Automation in Construction**, v. 34, p. 16–24, set. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.013>>.

GUO, H.; YU, Y.; SKITMORE, M. Visualization technology-based construction safety management: a review. **Automation in Construction**, v. 73, p. 135–144, jan. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.10.004>>.

HADIKUSUMO, B. H.; ROWLINSON, S. Integration of virtually real construction model and design-for-safety-process database. **Automation in Construction**, v. 11, n. 5, p. 501–509, ago. 2002. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926580501000619>>.

HERPPICH, S.; PRAETORIUS, A-K.; FÖRSTER, N.; GLOGGER-FREY, I.; KARST, K.; LEUTNER, D.; BEHRMANN, L.; BÖHMER, M.; UFER, S.; KLUG, J.; HETMANEK, A.; OHLE, A.; BÖHMER, I.; KARING, C.; KAISER, J.; SÜDKAMP, A. Teachers' assessment competence: integrating knowledge-, process-, and product-oriented approaches into a competence-oriented conceptual model. **Teaching and Teacher Education**, v. 76, p. 181–193, nov. 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0742051X17303141>>.

HEYDARIAN, A.; CARNEIRO, J. P.; GERBER, D.; BECERIK-GERBER, B.; HAYES, T.; WOOD, W. Immersive virtual environments versus physical built environments: a benchmarking study for building design and user-built environment explorations. **Automation in Construction**, v. 54, p. 116–126, jun. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.020>>.

HILFERT, T.; KÖNIG, M. Low-cost virtual reality environment for engineering and construction. **Visualization in Engineering**, v. 4, n. 2, p. 1–18, 7 dez. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1186/s40327-015-0031-5>>.

HOLA, B.; NOWOBILSKI, T.; SZER, I.; SZER, J. Identification of factors affecting the accident rate in the construction industry. **Procedia Engineering**, v. 208, p. 35–42, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.11.018>>.

HOLLNAGEL, E. Modelos de acidentes e análises de acidentes. In: MTE (Ed.). **Caminhos da Análise de Acidentes do Trabalho**. Brasília: Secretaria de Inspeção do Trabalho (SIT), 2003. p. 99–105.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **Factory physics: foundations of manufacturing management**. 2. ed. New York: Irwin/McGraw-Hill, 2000.

JUUL, J. **The art of failure: an essay on the pain of playing video games**. Cambridge: The MIT Press, 2013.

KIM, M. J.; WANG, X.; LOVE, P. E. D.; LI, H.; KANG, S-C. Virtual reality for the built environment: a critical review of recent advances. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 18, p. 279–305, 2013. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2013/14>>.

KOEPPEN, K.; HARTIG, J.; KLIEME, E.; LEUTNER, D. Current issues in competence modeling and assessment. **Zeitschrift für Psychologie / Journal of**

Psychology, v. 216, n. 2, p. 61–73, 2008.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 741–761, 26 nov. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2013000400001&lng=pt&tlng=pt>.

LE, Q. T.; PEDRO, A.; LIM, C. R.; PARK, H. T.; PARK, C. S.; KIM, H. K. A framework for using mobile based virtual reality and augmented reality for experiential construction safety education. **International Journal of Engineering Education**, v. 31, n. 3, p. 713–725, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Chansik_Park3/publication/276025929_A_Framework_for_Using_Mobile_Based_Virtual_Reality_and_Augmented_Reality_for_Experiential_Construction_Safety_Education/links/554e218708ae93634ec70057.pdf>.

LEITE, R. M. C.; COSTA, D. B.; MORÊDA NETO, H. M.; DURÃO, F. A. Gamification technique for supporting transparency on construction sites: a case study. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 23, n. 6, p. 801–822, 21 nov. 2016. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/ECAM-12-2015-0196>>.

LEITE, R. M. C.; COSTA, D. B.; DURÃO, F. A. Um sistema baseado em jogos para promover a transparência na obra e motivar trabalhadores. In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção (SIBRAGEC), São Carlos. **Anais...** São Carlos: ANTAC, 2015. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/sibraelagec2015/artigos/SIBRAGEC-ELAGEC_2015_submission_90.pdf>.

LI, X.; YI, W.; CHI, H.-L.; WANG, X.; CHAN, A. P. C. A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. **Automation in Construction**, v. 86, p. 150–162, fev. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>>.

LU, X.; DAVIS, S. How sounds influence user safety decisions in a virtual construction simulator. **Safety Science**, v. 86, p. 184–194, jul. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2016.02.018>>.

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

MICROSOFT. **O que é computação em nuvem?**, 2019. Disponível em: <<https://azure.microsoft.com/pt-br/overview/what-is-cloud-computing/>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

MILGRAM, P.; TAKEMURA, H.; UTSUMI, A.; KISHINO, F. Mixed Reality (MR) Reality-Virtuality (RV) Continuum. **Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering**, v. 2351, n. Telemanipulator and Telepresence Technologies, p. 282–292, 1994.

MIRANDA, S.; ORCIUOLI, F.; LOIA, V.; SAMPSON, D. An ontology-based model for competence management. **Data & Knowledge Engineering**, v. 107, p. 51–66, jan.

2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.datak.2016.12.001>>.

MORSCHHEUSER, B.; HASSAN, L.; WERDER, K.; HAMARI, J. How to design gamification? A method for engineering gamified software. **Information and Software Technology**, v. 95, p. 219–237, mar. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.infsof.2017.10.015>>.

MPT. **Brasil é quarto lugar no ranking mundial de acidentes de trabalho**, 2018. Disponível em: <http://portal.mpt.mp.br/wps/portal/portal_mpt/mpt/sala-imprensa/mpt-noticias/7441f527-ad53-4a0a-901f-66e40f1a1cae>. Acesso em: 19 fev. 2019.

MPT. **Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho**, 2019. Disponível em: <<https://observatoriosst.mpt.mp.br/>>. Acesso em: 19 fev. 2019.

NATH, N. D.; AKHAVIAN, R.; BEHZADAN, A. H. Ergonomic analysis of construction worker's body postures using wearable mobile sensors. **Applied Ergonomics**, v. 62, p. 107–117, jul. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2017.02.007>>.

PAIXÃO, E. de M.; ARANTESM B. N.; DAMASCENO, L. P.; GOMES, M. J. F.; JESUS, M. S. de; SANTANA, J. S.; CARVALHO, M. M. L. D.; SOUSSA, M. R. B. NBR-SIM : jogo educativo para segurança do trabalho. **Novas Tecnologias na Educação**, v. 15, n. 1, p. 1–10, 2017.

PANISSI, F. **Conheça como funciona a rede social Foursquare**, 2010. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Tecnologia/0,,MUL1550090-6174,00-CONHECA+COMO+FUNCIONA+A+REDE+SOCIAL+FOURSQUARE.html>>. Acesso em: 30 jan. 2019.

PEDREIRA, O.; GARCÍA, F.; BRISABOA, N.; PIATTINI, M. Gamification in software engineering – a systematic mapping. **Information and Software Technology**, v. 57, p. 157–168, jan. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.infsof.2014.08.007>>.

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. A Design Science Research methodology for information systems tearch. **Journal of Management Information Systems**, v. 24, n. 3, p. 45–77, 8 dez. 2007. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.2753/MIS0742-1222240302>>.

PERLMAN, A.; SACKS, R.; BARAK, R. Hazard recognition and risk perception in construction. **Safety Science**, v. 64, p. 22–31, abr. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2013.11.019>>.

RAGUZE, T.; SILVA, R. P. da. Gamificação aplicada a ambientes de aprendizagem. In: GAMEPAD - Seminários de Games e Tecnologia, **Anais...FEEVALE**, 2016.

RUAS, R. Gestão por competências: uma contribuição à estratégia das organizações. In: **Os novos horizontes da gestão: aprendizagem organizacional e competências**. Porto Alegre: Bookman, 2005. p. 222.

SACKS, R.; PERLMAN, A.; BARAK, R. Construction safety training using immersive

virtual reality. **Construction Management and Economics**, v. 31, n. 9, p. 1005–1017, set. 2013. Disponível em:
<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01446193.2013.828844>>.

SACKS, R.; ROZENFELD, O.; ROSENFELD, Y. Spatial and temporal exposure to safety hazards in construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 135, n. 8, p. 726–736, ago. 2009. Disponível em:
<<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9364%282009%29135%3A8%28726%29>>.

SAMPAIO, A. Z.; MARTINS, O. P. The application of virtual reality technology in the construction of bridge: the cantilever and incremental launching methods. **Automation in Construction**, v. 37, p. 58–67, jan. 2014. Disponível em:
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.015>>.

SAMPSON, D.; FYTROS, D. Competence models in technology-enhanced competence-based learning. In: **Handbook on Information Technologies for Education and Training**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008. p. 155–177.

SAURIN, T. A. **Segurança e produção: um modelo para o planejamento e controle integrado**. 2002. 312 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T.; GUIMARÃES, L. B. M. Safety and production: an integrated planning and control model. **Construction Management and Economics**, v. 22, n. 2, p. 159–169, fev. 2004. Disponível em:
<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0144619042000201367>>.

SAURIN, T. A.; RIBEIRO, J. L. D. Segurança no trabalho em um canteiro de obras: percepções dos operários e da gerência. **Production**, v. 10, n. 1, p. 05–17, jun. 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132000000100001&lng=pt&tlng=pt>.

SICART, M. Against proceduralism. **Game Studies**, v. 11, n. 3, 2011. Disponível em:
<http://gamestudies.org/1103/articles/sicart_ap>.

SIENGE. **Segurança do trabalho na construção civil**, 2016. Disponível em:
<<https://www.sienge.com.br/blog/seguranca-do-trabalho-na-construcao-civil/>>.

SILVEIRA, C. A.; ROBAZZI, M. L. C. C.; WALTER, E. V.; MARZIALE, M. H. P. Acidentes de trabalho na construção civil identificados através de prontuários hospitalares. **REM: Revista Escola de Minas**, v. 58, n. 1, p. 39–44, mar. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rem/v58n1/a07v58n1.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2019.

TESEI, A.; BARBIERI, A.; KESSEL, R. Survey on serious games applied to security, safety and crisis management. **Procedia Computer Science**, v. 15, p. 320–321, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2012.10.094>>.

TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOUTO, R. **Fundamentos e tecnologia de Realidade**

Virtual e Aumentada. Belém: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2006.

VIRGENS, J. S. das; FRANÇA, S. L. B. A importância da aprendizagem significativa na cultura de segurança do trabalhador operacional. In: XXII Congresso Nacional em Excelência em Gestão, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 2016.

WANG, P.; WU, P.; WANG, J.; CHI, H-L.; WANG, X. A critical review of the use of virtual reality in construction engineering education and training. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 6, p. 1204, 8 jun. 2018. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1660-4601/15/6/1204>>.

WEBER, R. Design-science research. In: **Research Methods: Information, Systems and Contexts**. 2. ed. Cambridge: Elsevier, 2018. p. 267–288.

WOKSEPP, S.; OLOFSSON, T. Credibility and applicability of virtual reality models in design and construction. **Advanced Engineering Informatics**, v. 22, n. 4, p. 520–528, out. 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2008.06.007>>.

WOKSEPP, S.; OLOFSSON, T.; JONGELING, R. Design reviews and decision-making using collaborative virtual reality prototypes; a case study of the large-scale MK3 project. In: 13rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2005, IGLC 2005, Sydney. **Anais...** Sydney: 2005. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-68149183021&partnerID=tZOTx3y1>>.

YANG, K.; AHN, C. R.; VURAN, M. C.; KIM, H. Collective sensing of workers' gait patterns to identify fall hazards in construction. **Automation in Construction**, v. 82, n. April, p. 166–178, out. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.04.010>>.

ZHANG, L.; CHEN, H.; LI, H.; WU, X.; SKIBNIEWSKI, M. J. Perceiving interactions and dynamics of safety leadership in construction projects. **Safety Science**, v. 106, n. May 2017, p. 66–78, jul. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.03.007>>.

ZHANG, S.; SULANKIVI, K.; KIVINIEMI, M.; ROMO, I.; EASTMAN, C. M.; TEIZER, J. BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. **Safety Science**, v. 72, p. 31–45, fev. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001>>.

ZHAO, D.; LUCAS, J. Virtual reality simulation for construction safety promotion. **International Journal of Injury Control and Safety Promotion**, v. 22, n. 1, p. 57–67, 2 jan. 2015. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17457300.2013.861853>>.

ZHAO, D.; LUCAS, J.; THABET, W. Using virtual environments to support electrical safety awareness in construction. In: Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC), Austin. **Anais...** Austin: IEEE, dez. 2009. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5429258/>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

ZHOU, Z.; IRIZARRY, J.; LI, Q. Applying advanced technology to improve safety management in the construction industry: a literature review. **Construction**



Management and Economics, v. 31, n. 6, p. 606–622, jun. 2013. Disponível em:
<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01446193.2013.798423>>.

ZICHERMANN, G.; CUNNINGHAM, C. **Gamification by design: implementing game mechanics in web and mobile apps**. 1. ed. Sebastopol: O'Reilly Media Inc, 2011.

APÉNDICES

APÊNDICE A

Questionário de Coleta de Dados – Estudo III

	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA		PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL MESTRADO E DOUTORADO	
ESTUDO 3: AVALIAÇÃO DO PROJETO OBRA SEGURA - SIMULADOR DE REALIDADE VIRTUAL PARA CAPACITAÇÃO DE SEGURANÇA DO TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL Planilha de Coleta de Dados				
Mestrando: Eng. Civ. Arthur F. E. Lucena				
Participante:	<hr/> <hr/>			
Idade	<input type="text"/>	anos	Formação	<input type="text"/>
Tempo estimado de experiência na função de gestor	<input type="text"/>	anos		
Realização do Estudo	Data	Início	Fim	<hr/> <hr/> <hr/>

Situação X		Conforme apresentado na seção 5.3.1 deste trabalho			
RISCOS IDENTIFICADOS					
#	Descrição	Identificado em		Severidade	
		E1	E3	Leve (L) Sério (S) Grave(G)	E1
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
MEDIDAS MITIGADORAS					
#	Descrição	Identif. em		Solução para os riscos	
		E1	E3		
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

APÊNDICE B

Níveis do Projeto Obra Segura

Vídeo Explicativo (Cena 1)

Tutorial que instrui o usuário a utilizar o simulador.

Cena 2

O cenário apresenta áreas de apoio à produção comumente encontradas em canteiros de obras, como a central de carpintaria e a central de argamassas, composta por duas betoneiras e baias de areia, brita e estoque de cimento. Um trabalhador realiza o corte de peças de madeira na serra circular presente na central de argamassas. A serra não possui dispositivos de proteção ou botão de desligamento de emergência. O trabalhador também não utiliza equipamentos de proteção, exceto seu capacete. Conforme corta as peças de madeira, pequenos pedaços de madeira resultantes do corte da peça se acumulam ao seu redor.

Na central de argamassas, um trabalhador carrega um carrinho de mão com a brita a ser utilizada para a produção do concreto. Em seguida, leva os materiais até a betoneira e faz o carregamento da máquina. Ao seu lado, outro trabalhador manipula a segunda betoneira. Quando acionada, a função *Interact* revela que o trabalhador está realizando a manutenção da betoneira, que se encontra com problemas. Os trabalhadores que operam as betoneiras também utilizam somente seus capacetes enquanto proteção.

Cena 3

Um trabalhador aguarda próximo ao elevador da obra com uma pilha de madeiras ao seu lado. Acionada, a função *Interact* revela a fala do operário, que explica sua necessidade de levar a pilha de madeira para o térreo, mas não sabe onde o elevador está. Ao se aproximar do elevador, é possível ouvir ruídos da operação da máquina. O elevador não possui cancela com travamento ou campainha para chamá-lo. Em dado momento, o operário se projeta no poço do elevador, a fim de chamar a atenção do operador do equipamento.

Outro trabalhador presente na cena vai ao encontro de uma parte desprotegida na periferia da laje onde está e se lança sobre cabos de aço que estão passando naquela fachada do edifício. Acionada, a função *Interact* revela a fala do operário, que explica que necessita realizar uma tarefa no pavimento imediatamente inferior, mas como o elevador de obras está atarefado, prefere utilizar o cabo de aço de um andaime suspenso desativado para descer, pois é mais rápido.

O terceiro operário presente na cena movimenta um carrinho de mão repleto de argamassa. Acionada, a função *Interact* revela a fala do trabalhador, que se queixa que o elevador de obras está sobrecarregado, e por isso ele levará o carrinho que está segurando para o pavimento imediatamente inferior utilizando as escadas. Em seu trajeto, existem dois *pallets* com tijolos cerâmicos impedindo seu deslocamento. É necessário que o trabalhador contorne os obstáculos para prosseguir. Ao lado de uma das curvas necessárias para contorná-los, situa-se o poço do elevador, que não possui proteções em sua abertura.

Os três trabalhadores presentes na cena utilizam capacete, uniforme e calçado adequados, somente.

Cena 4

A cena retrata a fase de escavações e início de execução de estruturas em uma obra. Uma pá carregadeira desloca a terra resultante das escavações em uma caçamba de resíduos. Próxima a essa caçamba, situa-se uma vala em que dois trabalhadores estão posicionando parte da tubulação que será necessária para a coleta do esgoto sanitário. Ainda na vala, uma retroescavadeira e um terceiro trabalhador operam próximos para continuar o serviço de movimentação de terra.

Em outra região da cena, dois trabalhadores operam em conjunto para realizar o içamento de pré-vigas moldadas *in loco* no pavimento térreo do canteiro de obras. Um dos trabalhadores se encontra em um pavimento superior, operando uma minigrua. Para se prevenir em relação a uma possível queda em altura, prende seu cinto de segurança à própria estrutura da minigrua. No térreo, o segundo trabalhador auxilia na manipulação das pré-vigas, situadas próximas à vala anteriormente mencionada.

Com exceção do trabalhador que opera a minigrua, os demais trabalhadores utilizam apenas o capacete como proteção individual.

Cena 5

No centro do cenário, situa-se a estrutura em concreto de um edifício em construção. No nível térreo, todos os elementos estruturais já se encontram desformados. No primeiro nível superior, um trabalhador realiza a desforma do último pilar faltante. A laje desse nível ainda está apoiada por escoras metálicas. No segundo e último nível, outro trabalhador auxilia na concretagem da laje, conduzindo a mangueira do concreto bombeado.

No térreo da cena, também se encontram o caminhão-betoneira e o caminhão-lança que realiza o bombeamento do concreto ao pavimento superior que está sendo concretado. A lança do caminhão opera próxima à rede elétrica de alta tensão da região. Um trabalhador se situa próximo aos dois caminhões, auxiliando na realização do bombeamento do concreto.

Não há proteções coletivas em relação à queda em altura em nenhum dos pavimentos superiores. Os trabalhadores utilizam somente capacete enquanto equipamento de proteção.

Cena 6

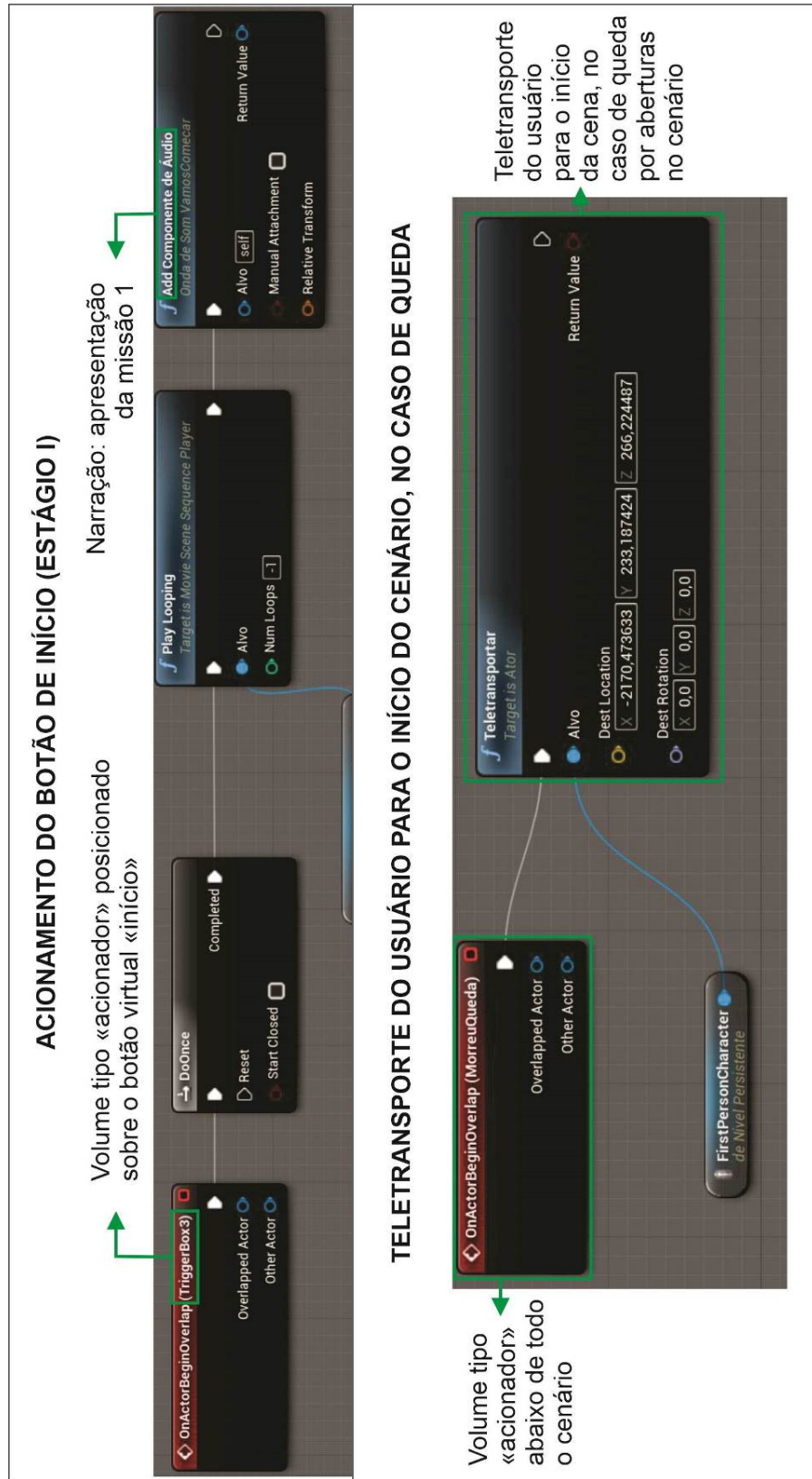
Um trabalhador movimenta vergalhões de aço de um canto a outro do canteiro de obra. Seu deslocamento ocorre próximo à rede elétrica de alta tensão da região.

Outro trabalhador está realizando cortes em uma parede de alvenaria para o embutimento de instalações. Seu equipamento de corte está conectado por meio de uma extensão elétrica ao quadro de distribuição de energia mais próximo.

Os trabalhadores utilizam somente capacete enquanto proteção individual.

APÊNDICE C

Algoritmos (*Blueprints*®) utilizados no desenvolvimento do Projeto Obra Segura

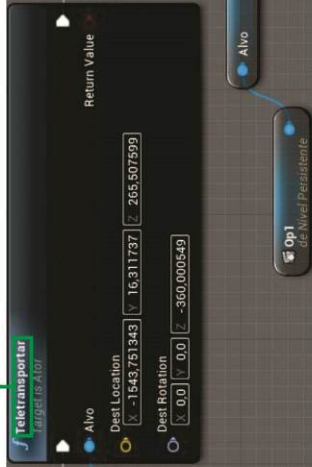


TRANSIÇÃO ESTÁGIO I PARA ESTÁGIO II

Volume tipo «acionador» posicionado sobre o botão virtual «término»

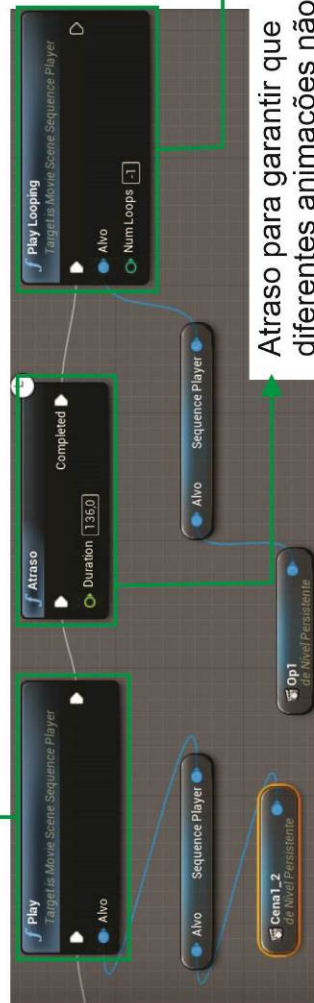


Variável booleana para gravar informação de que o usuário foi para o Estágio II



Teletransporte do usuário para posição que permita visualização total da cena

Fala do narrador e animação ilustrativa: acidentes identificados pelo pesquisador / casos de acidentes / missão 2 (Estágio III)

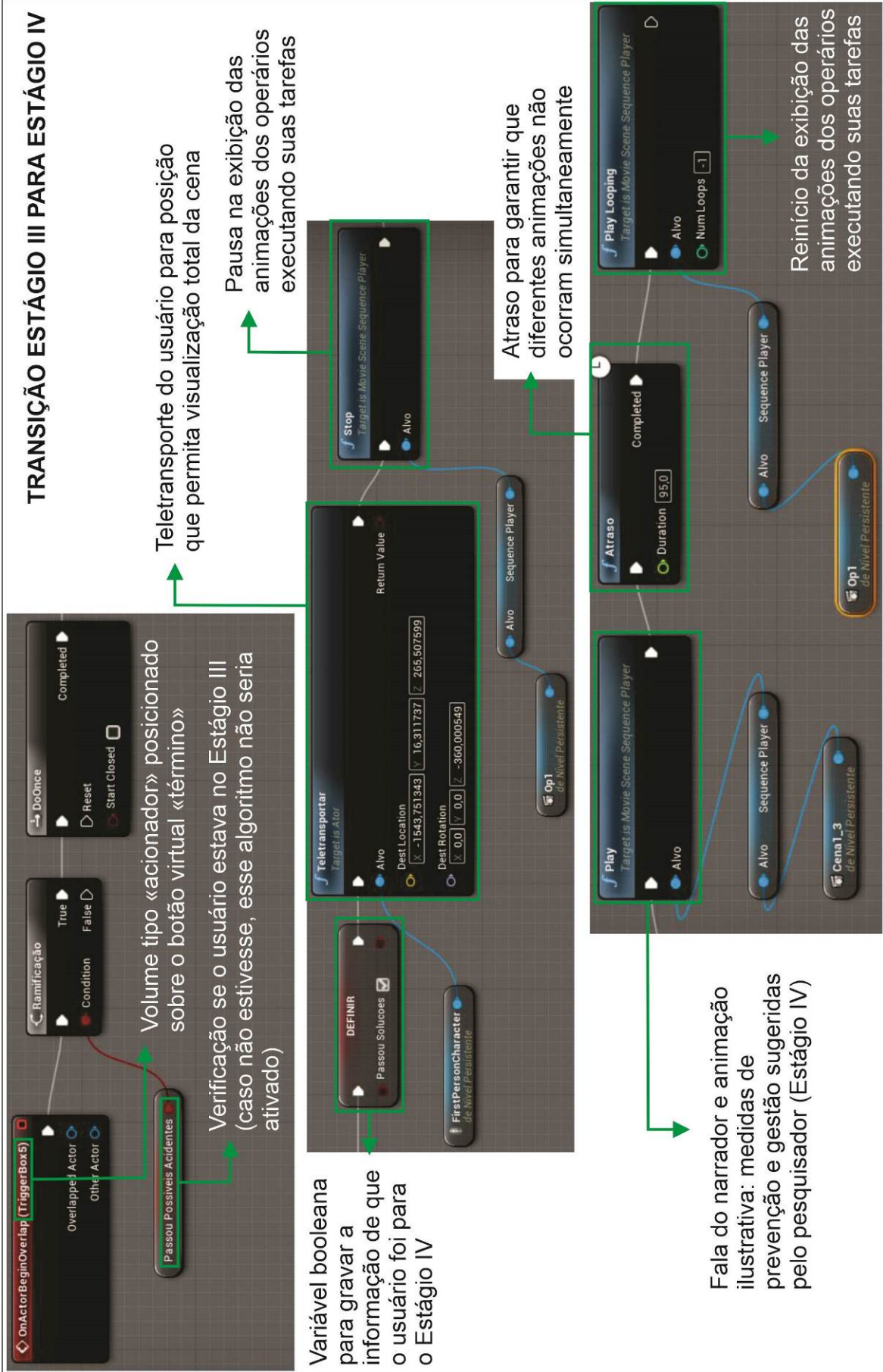


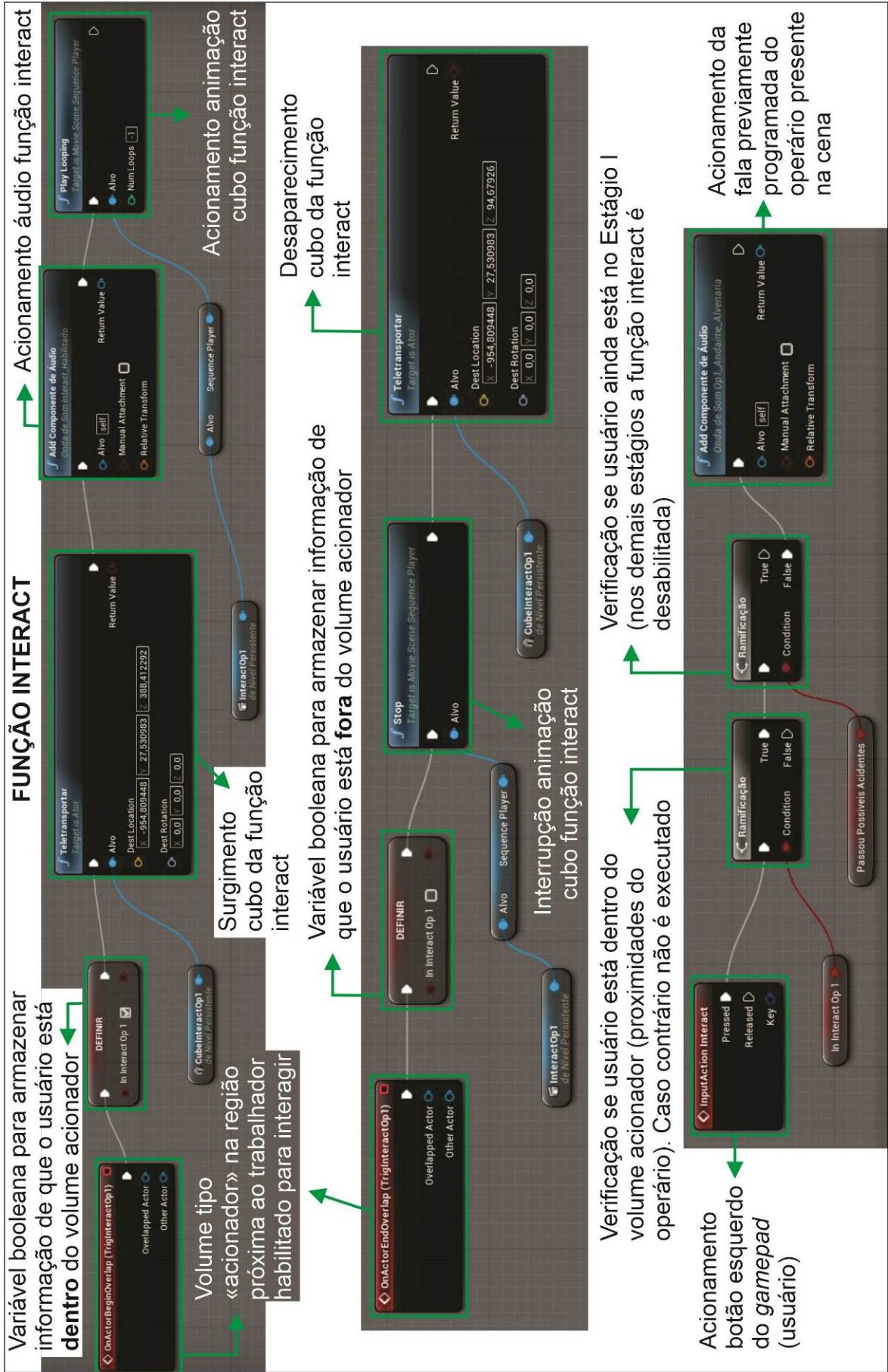
Reinício da exibição das animações dos operários executando suas tarefas

Atraso para garantir que diferentes animações não ocorram simultaneamente

Pausa na exibição das animações dos operários executando suas tarefas

TRANSIÇÃO ESTÁGIO III PARA ESTÁGIO IV





ANEXOS

ANEXO A

Outros Acidentes de Trabalho Ocorridos na Construção Civil, Segundo CBIC (2017)

Categoria	Principais Eventos
Queda de materiais sobre trabalhadores	<ul style="list-style-type: none"> - Falhas no elemento de sustentação na movimentação de cargas suspensas - Queda de ferramentas durante atividade em altura - Ação do vento em pavimentos altos
Acidentes com máquinas e equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> - Amputações e ferimentos graves devido ao uso da serra circular por pessoas inexperientes ou sem dispositivo de proteção - Aprisionamento da mão por cabos de aço em movimentos de tração em elevadores, guias e guinchos
Atropelamentos	- Atropelamentos por retroescavadeiras, motoniveladoras, escavadeiras, rolos compressores, tratores em canteiros de obras com excesso de movimento de trabalhadores e outros equipamentos, ou com alto nível de ruído
Esmagamentos	- Esmagamento de membros dos trabalhadores pressionados por equipamentos móveis de grande porte operando em locais pouco espaçosos.
Tombamentos	- Danos graves ao operador ou morte por esmagamento devido ao tombamento de equipamentos de grande porte sobre ele. Ocorrem geralmente sobre terrenos irregulares ou durante a utilização do equipamento por pessoas não qualificadas