

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**ANÁLISE DE UM AMBIENTE DE IMERSÃO COMO FERRAMENTA DE
AUXÍLIO À PERCEPÇÃO DO ESPAÇO VIRTUAL**

Autor: Daniel Carneiro Paes
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Marques Arantes

Belo Horizonte
Março/2015

Daniel Carneiro Paes

**ANÁLISE DE UM AMBIENTE DE IMERSÃO COMO FERRAMENTA DE
AUXÍLIO À PERCEPÇÃO DO ESPAÇO VIRTUAL**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Construção Civil. Área de concentração: Materiais de Construção Civil. Linha de pesquisa: Gestão de Empreendimentos de Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Marques Arantes

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2015

Daniel Carneiro Paes

**ANÁLISE DE UM AMBIENTE DE IMERSÃO COMO FERRAMENTA DE
AUXÍLIO À PERCEPÇÃO DO ESPAÇO VIRTUAL**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Construção Civil do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 23 de março de 2015.

Prof. Dr. Paulo Roberto Pereira Andery

Coordenador do Programa de Pós-graduação em Construção Civil

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eduardo Marques Arantes

Orientador - (UFMG/DEMC)

Prof^a. Dr^a. Regina Coeli Ruschel

(UNICAMP/FEC)

Prof^a. Dr^a. Renata Maria Abrantes Baracho Porto

(UFMG/ECI)

“Todo homem, por natureza, deseja conhecer”.

Aristóteles

Dedico este trabalho à humanidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente ao meu orientador, Professor Dr. Eduardo Marques Arantes, por todo o suporte, orientações e companheirismo.

Aos demais Professores do Programa de Pós-graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG, especialmente ao Professor Dr. Paulo Roberto Pereira Andery pelo incentivo e ensinamentos.

Aos Professores e colegas do Programa de Pós-graduação em Ciência da Informação da UFMG, pela grande receptividade e pela troca de experiências.

Especial gratidão às Professoras Dr^a. Renata Maria Abrantes Baracho Porto (ECI-UFMG) e Dr^a. Regina Coeli Ruschel (FEC-UNICAMP), pelas valiosas contribuições e pela presença na defesa dessa dissertação.

Aos Professores da Escola de Arquitetura da UFMG, em especial ao Professor Ph.D. José dos Santos Cabral Filho, à Professora Ph.D. Ana Paula Baltazar dos Santos e ao Professor Dr. Cristiano Cezarino, pelas orientações e pela confiança.

Aos alunos bolsistas do Laboratório Radamés da EA-UFMG, Marianna L. Magalhães de Oliveira e Filipe Silva Gonçalves pelo auxílio e contribuições.

Às secretárias do PPGCC, Ivonete e Ariela, pelo apoio, orientações e prontidão.

Aos colegas de mestrado pela companhia nessa trajetória, pelas contribuições com essa pesquisa e discussões valiosas dentro e fora de sala de aula.

A todos que reservaram um pouco do seu tempo para participarem do experimento desse trabalho.

Ao CNPq e à CAPES, pelo suporte financeiro.

À minha família, especialmente aos meus pais Ruy e Marisa e à minha irmã Isabela, por todas as formas de suporte e incentivo, pela expectativa de um bom trabalho e por sempre acreditarem em mim.

Aos meus grandes amigos, companheiros inenarráveis, especialmente ao Dr. Diego Pujoni, pela contribuição com as análises estatísticas e com aulas particulares sobre o assunto. Ao Bruno Souza, pelos ensinamentos e companheirismo. À Dr^a. Márcia Tupynambá, pela “carga positiva e ancoragem”.

Agradeço sobretudo a Deus, por zelar pela vida de todos.

RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de avaliar a capacidade de um Ambiente de Imersão em contribuir para uma melhor percepção dos usuários sobre o espaço virtual, sabendo-se que este fator resulta no desenvolvimento de melhores soluções ao longo do processo de projeto. O método adotado define-se como qualitativo e exploratório e procura comparar o nível de percepção sobre o espaço entre duas situações: utilizando-se Realidade Virtual não Imersiva (RVnI) e Realidade Virtual Imersiva (RVI). A tecnologia utilizada na pesquisa para o caso do ambiente de Realidade Virtual não Imersiva é constituída de uma estação de trabalho convencional. Para o caso do ambiente de Realidade Virtual Imersiva foi utilizado o Ambiente de Imersão da Escola de Arquitetura e Design da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), denominado AIVITS. O procedimento de coleta de dados se baseou na submissão de Questionários de Verificação de Percepção. A partir da comparação entre as respostas coletadas, foi possível se identificar as diferenças de percepção entre os modelos virtuais e suas relações com os diferentes perfis de participantes. O aumento significativo da porcentagem de Índices de Manutenção da Percepção nulos entre as duas tecnologias, permite concluir que o Ambiente de Imersão favorece uma melhor percepção do espaço virtual em comparação com a percepção obtida com o uso do sistema não imersivo. Os usuários mais beneficiados pelo uso dessa tecnologia foram os homens, com idade igual ou superior a 26 anos, com 3º grau ou pós-graduação, arquitetos ou engenheiros, sem daltonismo. Esses achados indicam que o Ambiente de Imersão é capaz de otimizar o processo de projeto, em especial, a atividade de análise crítica, conduzindo arquitetos e engenheiros à concepção de melhores soluções.

ABSTRACT

This dissertation aims to verify the capacity of an Immersive Environment in delivering better perception of a virtual environment, knowing that this factor contributes to the development of better solutions throughout the design process. The used method is defined as qualitative and exploratory and compares the level of perception of the environment between two situations: using non-Immersive Virtual Reality (nIVR) and Immersive Virtual Reality (IVR). The technology used for non-Immersive Virtual Reality consists of a conventional workstation. For Immersive Virtual Reality it was used the Immersive Environment of the School of Architecture and Design at Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), named AIVITS. The procedure for data collection was based on the submission of Perception Verification Questionnaires. From the comparison between the responses to the questionnaires it was possible to identify differences of perception between the virtual models and their relations to the different participants' profiles. The significant increase in the percentage of null Perception Maintenance Indices between the two technologies shows that the Immersive Environment promotes a better understanding of the virtual space compared to the perception obtained using the non-immersive system. The most benefited users from the use of this technology are the men aged over 26 years, with completed undergraduate or graduate degrees, architects or engineers, without color blindness. These findings indicate that the Immersive Environment can improve the design process, especially the activity of critical analysis, leading architects and engineers to the conception of better solutions.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| LISTA DE FIGURAS..... | xii |
| LISTA DE TABELAS..... | xiv |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS..... | xv |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 01 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 07 |
| 2.1 O Processo de Concepção..... | 07 |
| 2.1.1 Aspectos cognitivos, representação, fundamentações filosóficas e percepção..... | 14 |
| 2.2 A Coordenação..... | 29 |
| 2.3 A Análise Crítica..... | 35 |
| 2.4 A Gestão e os Aspectos Sociais..... | 38 |
| 2.4.1 Abordagens de gestão..... | 42 |
| 2.4.2 O fenômeno da especialização..... | 44 |
| 2.4.3 A gestão do design..... | 46 |
| 2.5 A Informação..... | 49 |
| 2.5.1 Conhecimento tácito e explícito..... | 56 |
| 2.6 Tecnologias da Informação e Comunicação..... | 59 |
| 2.6.1 Ambientes de colaboração..... | 67 |
| 2.6.2 Building information modeling..... | 67 |
| 2.6.3 Realidade virtual..... | 74 |
| 2.6.4 Realidade virtual imersiva..... | 84 |
| 2.6.5 Ambientes de imersão..... | 88 |
| 3. MÉTODO..... | 102 |
| 4. RESULTADOS..... | 118 |
| 4.1 Perfil dos participantes..... | 118 |
| 4.2 Manutenção da Percepção Global – MPG..... | 122 |
| 4.3 Performance das tecnologias..... | 124 |
| 4.3.1 Performance Objetiva..... | 124 |
| 4.3.2 Performance Subjetiva..... | 126 |
| 4.4 Manutenção da Percepção por Questão – MPQ..... | 127 |
| 4.4.1 Questão 1..... | 128 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.4.2 | Questão 2 | 128 |
| 4.4.3 | Questão 3 | 129 |
| 4.4.4 | Questão 4 | 130 |
| 4.4.5 | Questão 5 | 131 |
| 4.4.6 | Questão 6 | 131 |
| 4.4.7 | Questão 7 | 132 |
| 4.5 | Manutenção da Percepção por Filtro Condicionante – MPFC | 134 |
| 4.5.1 | Filtro: Faixa etária | 134 |
| 4.5.2 | Filtro: Gênero | 136 |
| 4.5.3 | Filtro: Grau de escolaridade | 137 |
| 4.5.4 | Filtro: Profissão | 138 |
| 4.5.5 | Filtro: Daltonismo | 140 |
| 4.5.6 | Filtro: Familiaridade com recursos 3D | 141 |
| 4.5.7 | Filtro: Conhecimento prévio do ambiente estudado | 142 |
| 5. | DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 144 |
| 6. | CONCLUSÕES | 148 |
| 7. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 162 |
| 8. | APÊNDICE 1 | 176 |
| 9. | APÊNDICE 2 | 182 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1.1: A projeção no processo de projeto de edificações | 03 |
| Figura 2.1: Os processos de conversão do conhecimento | 57 |
| Figura 2.2: Virtuality Continuum | 86 |
| Figura 3.1: Tela panorâmica do AIVITS | 105 |
| Figura 3.2: Tela panorâmica e módulo de retro projeção | 105 |
| Figura 3.3: Módulos de projeção por trás da tela panorâmica | 106 |
| Figura 3.4: Os três módulos de projeção | 106 |
| Figura 3.5: Computador de alto desempenho | 106 |
| Figura 3.6: Óculos de estereoscopia ativa | 107 |
| Figura 3.7: Óculos de estereoscopia passiva | 107 |
| Figura 3.8: Esquema de funcionamento do AIVITS | 108 |
| Figura 3.9: Hall da Escola de Arquitetura da UFMG | 110 |
| Figura 3.10: Maquete virtual para ambiente não imersivo | 110 |
| Figura 3.11: Maquete virtual estereoscópica para Ambiente de Imersão | 111 |
| Figura 3.12: Posição do participante ao utilizar o AIVITS (planta) | 112 |
| Figura 3.13: Posição do participante ao utilizar o AIVITS (vista lateral) | 112 |
| Figura 3.14: Participante assistindo à animação em RVnl (esq.) e em RVI (dir.) | 115 |
| Figura 4.1: Dispersão etária da amostra | 119 |
| Figura 4.2: Distribuição de gênero da amostra | 119 |
| Figura 4.3: Distribuição do grau de escolaridade da amostra | 120 |
| Figura 4.4: Distribuição dos conjuntos de profissões da amostra | 120 |
| Figura 4.5: Ocorrência de daltonismo na amostra | 121 |
| Figura 4.6: Distribuição de participantes com familiaridade com recursos 3D | 121 |
| Figura 4.7: Distribuição de participantes com conhecimento prévio do hall | 122 |
| Figura 4.8: IMPs nulos e não nulos entre RVnl e RVI | 123 |
| Figura 4.9: Distribuição da Performance Objetiva pela amostra | 125 |
| Figura 4.10: Índices de Performance Objetiva entre as tecnologias | 126 |
| Figura 4.11: Distribuição da Performance Subjetiva pela amostra | 127 |
| Figura 4.12: IMPs nulos e não nulos da Questão 1, para RVnl e RVI | 128 |
| Figura 4.13: IMPs nulos e não nulos da Questão 2, para RVnl e RVI | 129 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.14: IMPs nulos e não nulos da Questão 3, para RVnl e RVI | 130 |
| Figura 4.15: IMPs nulos e não nulos da Questão 4, para RVnl e RVI | 130 |
| Figura 4.16: IMPs nulos e não nulos da Questão 5, para RVnl e RVI | 131 |
| Figura 4.17: IMPs nulos e não nulos da Questão 6, para RVnl e RVI | 132 |
| Figura 4.18: IMPs nulos e não nulos da Questão 7, para RVnl e RVI | 133 |
| Figura 4.19: IMPs nulos entre RVnl e RVI para os grupos de faixa etária..... | 135 |
| Figura 4.20: IMPs nulos entre RVnl e RVI para os grupos de gênero | 136 |
| Figura 4.21: IMPs nulos entre RVnl e RVI para os grupos de grau de escolaridade | 138 |
| Figura 4.22: IMPs nulos entre RVnl e RVI para os grupos de profissão..... | 139 |
| Figura 4.23: IMPs nulos entre RVnl e RVI para os grupos de daltonismo..... | 141 |
| Figura 4.24: IMPs nulos entre RVnl e RVI para os grupos de familiaridade com recursos 3D | 142 |
| Figura 4.25: IMPs nulos entre RVnl e RVI para os grupos de conhecimento prévio do hall..... | 143 |
| Figura 5.1: Mecanismo cognitivo de representação..... | 153 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1.1: Cronograma de atividades..... | 05 |
| Tabela 2.1: Variações de Realidade Virtual..... | 79 |
| Tabela 3.1: Escala de valores numéricos das respostas das questões do QVP.. | 117 |
| Tabela 3.2: Exemplo de cálculo do Índice de Manutenção da Percepção | 117 |
| Tabela 4.1: Cálculo do Índice de Performance Objetiva | 125 |
| Tabela 4.2: Quadro-resumo da Manutenção da Percepção por Questão ... | 133 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEC = Arquitetura, Engenharia e Construção

NBR = Norma Brasileira

TI = Tecnologia da Informação

RV = Realidade Virtual

RVI = Realidade Virtual Imersiva

RVni = Realidade Virtual não Imersiva

AF = Ambiente Físico

RA = Realidade Aumentada

BIM = *Building Information Modeling*

CAD = *Computer Aided Design*

CAM = *Computer Aided Manufacturing*

HCI = *Human-computer interaction*

CVE = *Collaborative Virtual Environment*

CAVE = *Cave Automatic Virtual Environment*

AIVITS = Ambiente de Imersão Virtual de Tecnologia Simplificada

IMP = Índice de Manutenção da Percepção

QCPP = Questionário de Caracterização do Perfil do Participante

QVP = Questionário de Verificação da Percepção

1. INTRODUÇÃO

Muito se tem pesquisado a respeito das possíveis formas de se conferir qualidade aos empreendimentos da construção civil. Nesse sentido, a adoção de tecnologias da informação e comunicação pelas organizações de projeto e construção tem demonstrado ser uma estratégia eficiente no auxílio às atividades de gestão dos empreendimentos, pois contribuem para uma maior integração entre os agentes envolvidos no processo de projeto (MELHADO, 1999; TAVARES JÚNIOR, 2001; FABRÍCIO, 2002; ANDERY, 2003; ROMANO, 2006; JØRGENSEN; EMMITT, 2008; ARANTES et al., 2010; MANZIONE et al., 2011).

A evolução das tecnologias digitais de suporte ao processo de concepção de projetos evidencia uma tendência de desenvolvimento de aplicações destinadas ao auxílio à tomada de decisão. Cada vez mais essas aplicações são desenvolvidas para proporcionar melhores condições ao estudo “do que fazer” ao longo do processo de concepção. Aos aplicativos e às máquinas tem sido atribuída a responsabilidade de soluções sobre “como fazer”. As ferramentas digitais atuais assumem de forma satisfatória a função da representação gráfica, viabilizando a criação e a análise de uma diversidade maior de alternativas de soluções de projeto em um espaço de tempo menor. O tempo anteriormente empregado pelo projetista em atividades exaustivas de representação – muitas vezes deficiente –, agora é destinado a atividades de caráter intelectual, ao ato de se pensar sobre o problema (TOBIN, 2008; OWEN et al., 2010; MANZIONE et al., 2011; CRESPO; RUSCHEL, 2007).

O uso dos modelos computacionais contribui positivamente para a transmissão de informações técnicas, para uma melhor compreensão da configuração espacial e estrutural do ambiente representado e para o suporte à tomada de decisões baseadas em comparações visuais das soluções de projeto. Essa forma de expressão supera, segundo Sampaio, Henriques e Martins (2010), o desenho, a figura ou o diagrama, principalmente devido ao seu aspecto interativo. No processo de concepção de projetos, a adoção de representações que se

aproximem ao máximo da experiência existencial-espacial é de fundamental importância para que sejam projetados espaços que de fato corresponderão técnica, funcional e simbolicamente ao uso destinado (MALARD; RHODES; ROBERTS, 1997).

A natureza da experiência humana em ambientes virtuais se relaciona com a definição de presença do indivíduo nesses espaços. Quando um modelo tridimensional é apresentado em um monitor convencional a visão binocular humana – capaz de identificar profundidades – informa que o objeto visualizado se trata de uma imagem plana. Ainda que seja possível explorar o ambiente simulado, este se apresentará como uma sucessão de imagens bidimensionais. A noção de profundidade ocorre quando no espaço tridimensional os objetos aparecem e desaparecem atrás uns dos outros ao movimento do observador. Se um modelo tridimensional é apresentado em formato estereoscópico por uma grande tela panorâmica, cria-se a ilusão de superfícies em profundidade. Perceber a si mesmo inserido no ambiente é a raiz da sensação ou senso de presença em Ambientes de Imersão. Essa sensação – uma característica do aparato perceptivo humano – se origina em um contexto virtual quando são obedecidos alguns aspectos, tais como: escala espacial, escala corporal, pontos cardinais de localização, visualização em profundidade e visão binocular (WANN; MON-WILLIAMS, 1996).

Nesse contexto, esta pesquisa se ocupa em investigar a capacidade do Ambiente de Imersão Virtual de Tecnologia Simplificada (AIVITS – UFMG) em oferecer melhor compreensão de representações virtuais tridimensionais. Tal compreensão/percepção é necessária ao longo de todo o processo de concepção dos projetos de edifícios, mais especificamente, nos momentos de realização da análise crítica, distribuídos ao longo da projeção (ROMANO, 2006; SILVA; NOVAES, 2008), quando os projetistas submetem seus projetos à própria avaliação e à de terceiros, através de representações computacionais.

Segundo Fabrício (2002), insistir na consideração do processo de projeto como uma série de atividades dispostas sequencialmente pode ser extremamente

conflitante com o aparente ‘caos’ do processo criativo e intelectual envolvido. Não obstante, para delimitação dos contornos dessa pesquisa, é suficiente afirmar que ela se enquadra no âmbito da projeção de edifícios.

A Figura 1.1 reproduz o gráfico das fases do processo de projeto de edificações (ROMANO, 2006) e apresenta ordenadamente cada uma das etapas de concepção, inseridas na macrofase da projeção. Nesta figura é assinalada (em contorno vermelho) a macrofase à qual se refere esta pesquisa. Segundo Romano (2006), “ao final de cada etapa acontece uma avaliação do resultado obtido que autoriza a passagem para a etapa seguinte do processo de projeto de edificações” (análise crítica).

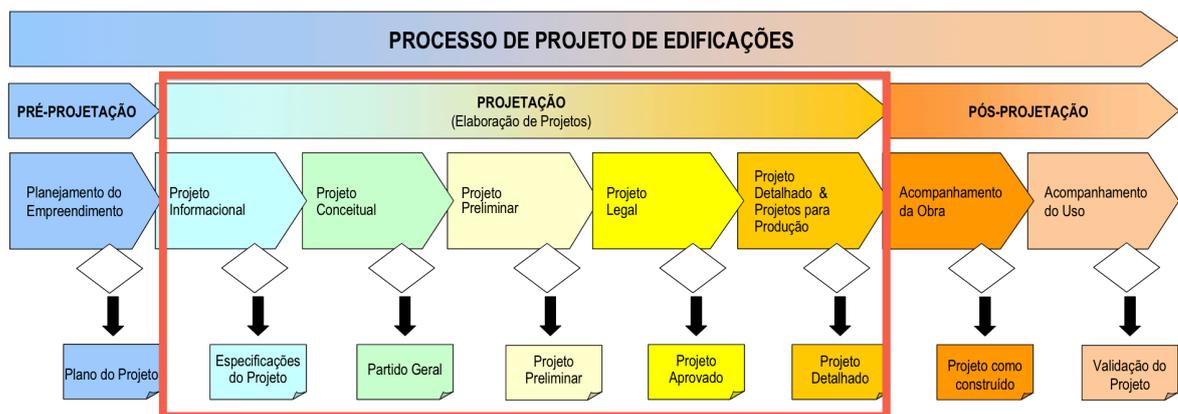


Figura 1.1 – A projeção no processo de projeto de edificações. Adaptado de Romano (2006).

O método de pesquisa adotado neste trabalho define-se como qualitativo e exploratório. Procura realizar uma comparação do nível de percepção sobre o objeto representado virtualmente (ambiente interior de um edifício), entre duas situações: utilizando-se infraestrutura para Realidade Virtual não Imersiva (RVnI) e para Realidade Virtual Imersiva (RVI). A aplicação dos Questionários de Verificação de Percepção (QVP) permitiu coletar a percepção dos participantes. A resposta a uma determinada questão do QVP aplicado em um dos ambientes virtuais (RV não Imersiva ou RVI) foi comparada com a resposta à mesma questão quando aplicada na visita ao ambiente físico. A compatibilidade entre as respostas das duas situações (ambiente virtual e ambiente físico) indica a capacidade daquela tecnologia em reproduzir a percepção obtida no ambiente físico. A partir da comparação dessa compatibilidade entre as duas tecnologias,

foi possível se verificar qual delas oferece uma percepção do ambiente virtual mais próxima da percepção do ambiente físico (OLIVEIRA, 2003; RUSCHEL; FRACAROLI; SILVA, 2005; FRACAROLI, 2006).

JUSTIFICATIVA

A adoção de tecnologias da informação e comunicação pela indústria da construção civil se justifica enquanto contribuir para agregar valor ao processo de projeto. Estudos sobre aplicações de sistemas de realidade virtual imersiva geralmente consideram essa versão da realidade virtual como sendo melhor enquanto ferramenta de suporte à compreensão e entendimento holístico do objeto virtual. No entanto, tais estudos geralmente fazem esta afirmação baseando-se em conhecimentos intuitivos ou subjetivos, não apresentando – em sua maioria – referências a outros estudos sistemáticos de qualificação e medição das contribuições dessa tecnologia. Faz-se necessária, portanto, uma avaliação sistemática sobre os benefícios oferecidos pelos Ambientes de Imersão ao processo de projeto, identificando nesses sistemas aspectos a serem trabalhados para posterior ajuste às demandas da indústria.

A escassez de estudos sobre a aplicação da realidade virtual imersiva nos processos de projeto da indústria da construção civil também evidencia a necessidade de mais investigações. É importante que essas investigações avaliem as possíveis formas de contribuição dessa tecnologia para o processo de projeto, mais especificamente, para a atividade de projeção (SOBRINHO; HAGUENAUER, 2013; MALARD; RHODES; ROBERTS, 1997; RIGHI; CELANI; RUSCHEL, 2009; RUSCHEL; HARRIS; BERNARDI, 2011).

OBJETIVOS

O objetivo geral dessa pesquisa é avaliar a capacidade de um sistema específico de realidade virtual imersiva (AIVITS) em contribuir para uma melhor percepção

do espaço virtual, em comparação à percepção obtida através da realidade virtual não imersiva (estação de trabalho convencional). Essa avaliação acontece, mais precisamente, através da identificação de qual dentre essas duas tecnologias oferece uma percepção do espaço virtual mais próxima da percepção do ambiente físico ou “real”. Para a realização dessa pesquisa pretende-se concluir os seguintes procedimentos: revisão bibliográfica de pesquisas nacionais e internacionais sobre o tema; pesquisa e adaptação de métodos e técnicas anteriores (metodologia/procedimento experimental); definição, preparação, ensaio e realização do experimento, confecção das maquetes virtuais e desenvolvimento dos questionários para coleta dos dados; análise dos dados coletados (resultados); discussão dos resultados obtidos; desenvolvimento de conclusões e redação da dissertação contendo descrição completa da pesquisa.

CRONOGRAMA

O cronograma de atividades dessa pesquisa é apresentado na Tabela 1.1 abaixo.

Tabela 1.1 – Cronograma de atividades.

| ATIVIDADE | 1º Ano: 2013 - 2014 | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | mar | abr | mai | jun | jul | ago | set | out | nov | dez | jan | fev |
| Disciplinas | x | x | x | x | | | x | x | x | x | | |
| Revisão bibliográfica | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Procedimento experimental | | | | | | | | | | | | |
| Redação do trabalho | | | | | x | x | x | x | x | x | x | x |
| ATIVIDADE | 2º Ano: 2014 - 2015 | | | | | | | | | | | |
| | mar | abr | mai | jun | jul | ago | set | out | nov | dez | jan | fev |
| Disciplinas | | | | | | | | | | | | |
| Revisão bibliográfica | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | | |
| Procedimento experimental | | x | x | x | | | x | x | x | | | |
| Redação do trabalho | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |

A tabela mostra que as disciplinas do mestrado são cursadas ao longo do primeiro ano do curso. A revisão bibliográfica é realizada durante vinte e um meses, ou seja, durante quase todo o seu tempo. São necessários seis meses para a realização do procedimento experimental, que acontece ao longo do segundo ano. Por fim, a redação desse trabalho é realizada entre julho de 2013 e fevereiro de 2015, totalizando vinte meses.

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação é subdividida em tópicos com o objetivo de organizar e facilitar sua leitura. Na sequência deste capítulo introdutório se encontram a revisão bibliográfica, o método adotado, os resultados do procedimento experimental, a discussão desses resultados, conclusões, referências bibliográficas e apêndices, nesta ordem.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Processo de Concepção

Thomaz (2001) apresenta em seu livro dados de uma pesquisa realizada na década de 80 pela agência francesa QUALIFORM (“clube da qualidade” reunindo construtores, projetistas, fabricantes de materiais e companhias seguradoras), que apontam como principal fonte de patologias em edifícios as falhas decorrentes dos projetos. Ainda segundo o autor, “é notório que as falhas de concepção nos projetos normalmente repercutem consequências muito mais graves que as não conformidades localizadas de materiais ou de serviços”. Segundo Franco e Agopyan (1993) apud Fabrício (2002), é na fase de concepção do projeto que são tomadas as decisões de maior repercussão nos custos, velocidade e qualidade dos empreendimentos e é também onde a capacidade de influência sobre os custos totais da construção é maior.

De acordo com Barrett e Lee (2005), o processo de agregar valor à construção está presente em todas as etapas do empreendimento: desde o pré-design, passando pela execução da obra, pelo uso e operação do edifício, pela sua interação com o entorno e com o meio ambiente até por uma avaliação e análise de seus resultados como fonte para otimização dos processos da indústria. Entretanto, é na fase de concepção do empreendimento que se pode agregar a maior “carga” de valor à construção.

De acordo com Ceragioli (1993) apud Thomaz (2001), a racionalização da construção depende sobretudo de incrementar-se a fase de projeto e experimentação, metodologia normalmente adotada nos projetos industriais. Um dos desafios da indústria da construção civil é incorporar princípios dos processos produtivos da indústria seriada.

Para Fabrício (2002), a Engenharia Simultânea aplicada ao contexto da indústria da construção civil se revela como “uma nova forma de organizar e gerenciar o

processo de concepção e desenvolvimento de novos produtos”. Segundo o autor, a partir do referencial dado pelo conceito de ES surge a filosofia do Projeto Simultâneo. No cerne dessa abordagem está a consideração antecipada e global das repercussões das soluções de projeto, através da colaboração intensa e precoce entre os agentes envolvidos na concepção do produto. O autor lista cinco características da Engenharia Simultânea como sendo as principais. Quatro delas são: a) ênfase na concepção do produto e na valorização do projeto; b) realização em paralelo de várias atividades de desenvolvimento de produto; c) formação de equipes de projeto multidisciplinares e coordenadas e d) utilização da informática e das novas tecnologias de telecomunicação no desenvolvimento do projeto.

Fabrizio (2002) também identifica três ações para aplicação do Projeto Simultâneo na construção, que são: a) estabelecimento de uma cultura de parceria entre os agentes do projeto como forma de viabilizar uma atuação mais interativa entre eles valorizando o intercâmbio de conhecimentos; b) organizar e planejar o processo de projeto privilegiando o tratamento multidisciplinar das soluções e c) aproveitar as potencialidades das novas tecnologias da informática e telecomunicações para potencializar a comunicação entre os agentes do projeto.

Segundo Romano (2006) “o processo de projeto permeia, ou ao menos deve permear, todo o processo construtivo de uma edificação, iniciando no planejamento, passando pela elaboração dos projetos do produto e dos projetos para produção, pela execução e estendendo-se até seu uso”. Fabrizio (2002) também define o processo de projeto: “envolve todas as decisões e formulações que visam subsidiar a criação e a produção de um empreendimento”, indo da montagem da operação imobiliária, passando pela formulação do programa de necessidades, do projeto do produto até o desenvolvimento da produção, o projeto *as built* e a avaliação pós-ocupação.

Entre as etapas incluídas no processo de projeto ressalta-se a etapa de projeção (ROMANO, 2006) que corresponde à atividade de elaboração dos projetos do produto (arquitetônicos, estruturais, de instalações, etc.). Na

bibliografia internacional adota-se o termo *design* para se referir ao processo/etapa de elaboração desses projetos ou aos próprios projetos (enquanto produtos dessa fase). Há uma tendência atual pelo uso do termo “projetação” para se referir ao processo de concepção ou ao processo de *design* do edifício em detrimento do termo “projeto”, como forma de diferenciação entre a atividade e o produto da mesma. A palavra projeto passa a ser usada para se referir ao estático ou ao resultado (ou resultados) da projeção. Segundo Oliveira (2001), projeção se refere ao projeto em ação ou sendo desenvolvido considerando as suas interfaces e inter-relações, ou seja, o projeto inserido em um contexto dinâmico. A macrofase de projeção como um processo coletivo pressupõe, além do seu desenvolvimento por equipes que trabalhem de forma integrada, discussões, interações e negociações nas atividades projetuais.

Romano (2006) propõe a adoção da nomenclatura das subfases do processo de projeção adotada pela indústria seriada, onde se verificam quatro fases distintas: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Considera-se importante ressaltar as fases de desenvolvimento do projeto informacional e do projeto conceitual, inseridas na macrofase “projetação”. O projeto informacional se desenvolve a partir das necessidades dos clientes (declarações diretas, geralmente em linguagem subjetiva), passando pela definição dos requisitos dos clientes (necessidade expressa em linguagem de engenharia) e sua conversão em requisitos do projeto (requisito mensurável, aceito para o projeto), até as especificações do projeto (conjunto de informações completas, requisitos do projeto com valor meta atribuído). O projeto conceitual é a fase mais importante no processo de projeto de um produto, onde ele é concebido de forma a atender necessidades previamente detectadas e esclarecidas, sujeito a limitações de recursos e às restrições de projeto. Segundo a autora, em linhas gerais, pode-se dizer que esta fase se divide em duas partes: análise (ponto de partida do campo do abstrato, análise funcional, decomposição) e síntese (composição, síntese das soluções, resultado mais próximo do campo concreto) (ROMANO, 2006).

As referências bibliográficas e normativas que tratam do processo de projeto de edifícios apresentam abordagens muito semelhantes. A maior parte delas considera o processo de projeto como um conjunto de etapas e subetapas hierarquizadas dispostas sequencialmente, caracterizando responsáveis por cada tarefa e as relações de precedência entre elas. Para Fabrício (2002), essa organização sequencial predominante nas referências sobre o processo de projeto, aliada aos modelos rígidos e hierarquizados de planejamento, são “extremamente conflitantes com o aparente ‘caos’ do processo criativo e intelectual”. Segundo Malard (2004), no processo de concepção as etapas de análise (levantamento dos dados/necessidades), síntese (geração de soluções) e avaliação crítica (escolha entre as alternativas geradas), não se apresentam linearmente e o processo pode parecer caótico.

De acordo com Florio (2011), o processo de projeto não acontece de forma linear – de um problema para uma solução – e em arquitetura não existe uma única solução para o mesmo problema uma vez que o próprio problema pode ser identificado de forma diferente por diferentes projetistas (mesmo que as condicionantes e restrições do contexto sejam semelhantes). Para solucionar um “problema mal definido” – aquele que contém poucas definições relativas àquilo que deve vir a se tornar para que deixe de ser um problema – o projetista age pelo processo indutivo da tentativa e erro. Nesse processo ocorrem diversas mudanças de direção e por isso é tão difícil se descrever a estrutura da atividade de concepção.

De acordo com Chandrasegaran et al. (2013), para se descrever um problema mal definido com detalhes suficientes para sua compreensão, é preciso se desenvolver um exaustivo inventário sobre todas as suas possíveis soluções. O problema vai se definindo com o aumento de suas especificações formais, enquanto ele é gradativamente resolvido. Nesse contexto, o processo de transformação de dados em informações e depois em conhecimentos, como também de representar, guardar e utilizar esses conhecimentos se torna fundamental.

Na medida de sua indeterminação, o problema não pode ser racionalmente ou sistematicamente resolvido de modo sequencial, uma vez que o grande número de variáveis promove múltiplas e concomitantes escolhas possíveis, sem uma clara definição de qual delas é a melhor (FLORIO, 2011). Como os limites do problema não estão claros, é necessário que no processo de concepção sejam adotados: a) conhecimentos prévios; b) a experimentação; c) o método da tentativa e erro e d) as descobertas inesperadas. Em decorrência disso o projeto acaba sendo solucionado por aproximações sucessivas, em pequenos ciclos de análise, síntese e avaliação. Segundo Malard, Rhodes e Roberts (1997), a qualidade de um projeto reside na habilidade que o projetista tem em estabelecer nesse processo o equilíbrio entre as dimensões simbólica, técnica e funcional para o espaço projetado. Segundo os autores, o bom projetista é aquele que tem a habilidade de escolher as alternativas mais adequadas e quanto maior for seu universo de opções, mais chances ele terá de fazer uma boa escolha.

Para Schön (2000), especialistas desenvolvem suas tarefas melhor do que pessoas inexperientes porque desenvolveram uma bagagem intelectual sobre as situações. Possuem um repertório de representações internas sobre fatos, situações, estratégias e técnicas. Florio (2011) afirma que a qualidade do projeto irá depender da habilidade do projetista em recuperar conhecimentos armazenados na memória e aplicá-los criativamente em diferentes contextos. Esse repertório derivado de experiências anteriores e de conhecimentos teóricos permitiria ao projetista tomar decisões mais rapidamente e com maior confiança em diferentes situações projetuais.

O projeto se desenvolve das partes para o todo. A fragmentação do problema é estratégia necessária ao permitir a consideração de múltiplos aspectos do projeto, ainda que de forma não totalmente integrada. Os vários domínios e a complexidade do problema configuram a necessidade de se resolvê-los de forma não linear, para que surjam soluções realmente integradas (FLORIO, 2011).

Enquanto é importante se estruturar dados para sua futura recuperação e reuso, é importante entender que nem a mente do projetista, nem os processos iniciais de

concepção do projeto obedecem a uma estrutura ou sequência específica e determinada. Pesquisas nesse contexto devem procurar resolver o distanciamento do processo de concepção naturalmente desestruturado e as formas estruturadas de armazenamento e categorização do conhecimento requisitadas pelos sistemas computacionais (CHANDRASEGARAN et al., 2013).

Segundo Manzione et al. (2011), devemos abordar o trabalho colaborativo de concepção sob a luz de quatro recursos chaves para entendê-lo: pessoas, processos, tecnologia e informação. Para se superar os obstáculos na implementação de um processo colaborativo de design com suporte de novas tecnologias da informação e modelos de gestão, deve-se partir de estudos que considerem a relação entre esses elementos. Entre os obstáculos os autores citam: processo fragmentado e sequencial, baixa interação entre agentes envolvidos, falta de comunicação, controle das entregas e não do processo, diferentes metas e valores para cada agente, resistências ao planejamento e ao uso da TI, processo de trabalho desestruturado, TI vista como gasto e não como investimento.

Para Righi e Celani (2008), as ferramentas computacionais utilizadas durante o processo de concepção devem propiciar práticas reflexivas colaborativas. Nesse contexto, a discussão de projetos frente a uma única tela de computador é limitada e problemática pois o tamanho da tela restringe a expressão dos membros da equipe de projetistas, limitando o funcionamento colaborativo entre eles. Não obstante à certa eficiência das formas remotas de trabalho colaborativo, “projetistas preferem olhar e apontar para o mesmo desenho, mesmo que para isso tenham que se espremer em frente à tela do computador”.

Em uma abordagem sequencial poder-se-ia concordar com Thomaz (2001) quando afirma que “da qualidade do projeto de arquitetura, depende a qualidade de todos os projetos complementares”. De fato, o projeto de arquitetura que estabelecerá as principais definições da construção: partido estrutural, magnitude dos vãos, detalhes especiais de armação, tipo de fundação, necessidade de escavações e contenções, potenciais patologias da construção, componentes

estruturais muito esbeltos, etc. No entanto, uma cultura de projeto integrado deve convocar a participação precoce dos agentes responsáveis por esses elementos, que anteriormente ficavam aguardando a conclusão de projetos “alheios” para iniciar suas atividades, um comportamento que reflete a abordagem sequencial “por cima do muro”.

Ao empreender uma análise sobre a obra do arquiteto Norman Foster, Grala da Cunha (2010) chama atenção para a ênfase dada pelo arquiteto à dimensão das soluções tecnológicas dos edifícios durante a fase de criação da proposta teórica inicial ou da “definição do conceito”. O emprego de soluções construtivas apenas como forma de viabilizar a execução do edifício caracteriza o que o autor chama de “arquitetura banal”. Ele aponta para a necessidade de uma abordagem dos aspectos tecnológicos anterior à materialização inicial da edificação (design). Esses aspectos não devem ser escolhidos e definidos após a resolução do “todo construído”, como atividade de complementação, mas como “importante decisão a ser tomada durante o processo inicial de projeto”. Dentro da complexidade dos problemas a serem solucionados, alguns devem ser selecionados a fim de serem resolvidos, estabelecendo-se prioridades e limites (GRALA DA CUNHA, 2010).

Para Thomaz (2001), as interações do projeto de arquitetura ocorrem praticamente com todas as soluções e detalhes de qualquer outro projeto. Portanto, o desenvolvimento simultâneo dos diferentes projetos é uma estratégia muito eficiente, onde a troca de conhecimentos e experiências entre os diferentes projetistas tende a culminar sempre na melhor solução estética, funcional, técnica e econômica. Conciliar e articular o aspecto social do processo de projeto – enquanto centralizador de saberes e interesses diversos – ao seu aspecto autoral – na medida em que surge de processos criativos, intelectuais e técnicos – é um dos grandes desafios da gestão de projetos (FABRÍCIO, 2002).

O processo de concepção arquitetônica compreende entre outros fatores, o processamento de dados de diversas naturezas, entre eles: locais, organizacionais e institucionais, filosóficos ou conceituais, econômicos, operacionais, funcionais e de infraestrutura (MALARD, 2004). Posto isso, torna-se

imperativa a consideração do processo de concepção compreendido neste formato complexo e não linear pelos modelos de gestão do processo de projeto. É preciso atribuir-lhes a dinâmica inerente à concepção.

Em um modelo sequencial, decisões de projeto são tomadas em função de decisões anteriores. Portanto, em etapas mais avançadas de concepção, não haverá tanta liberdade para se conceber quanto havia no início da atividade. Ao longo do desenvolvimento do projeto, caminhando-se consecutivamente por etapas crescentes em nível de detalhamento, torna-se cada vez menor o número de alternativas de soluções de projeto consideráveis para a tomada de decisões (FABRÍCIO, 2002), tendo em vista que as decisões de projeto anteriores sempre se tornam diretrizes para as próximas. Daí a importância que se atribui ao processo de concepção do produto: más decisões no início do processo significam péssimos resultados. Acredita-se ainda que esta possa ser uma relação exponencial, tendo em vista a natureza ramificada da indústria da construção civil: poucas más decisões no início do projeto podem gerar resultados exponencialmente mais graves, cada vez menos visíveis e mais difíceis de serem solucionados.

2.1.1 Aspectos cognitivos, representação, fundamentações filosóficas e percepção

“Pensamento é impossível sem imagem”.

Aristóteles

Aspectos cognitivos

Segundo Florio (2011), os estudos sobre cognição surgiram paralelamente ao desenvolvimento do computador e da inteligência artificial e o termo "cognição" foi frequentemente entendido como "computação", ou seja, como o processamento de dados e informações. O autor define cognição como "processo ou faculdade

de adquirir conhecimento que implica em processar informações através da percepção e do raciocínio".

O dicionário Aurélio define cognição como a "faculdade, ato ou ação de conhecer; aquisição de um conhecimento" (COGNIÇÃO, 2013). Vários campos disciplinares tentam explicar a cognição como um processo intelectual humano, entre eles, a psicologia cognitiva. Essa disciplina pressupõe que as diversas faculdades internas do ser humano contribuem para as atividades de processamento da informação, incluindo percepção, pensamento, planejamento, ação, memória e aprendizagem e que os produtos dessas atividades podem ser observados, descritos e generalizados para predizer um comportamento inteligente. O processamento da informação pode ser visto também como um processo de agregação de valor à informação, de um nível de menor valor (menos sofisticada), o nível do "dado", para um nível de maior valor (mais sofisticada), o nível do conhecimento: dado < informação < conhecimento (numa escala de valor). Verifica-se a proximidade entre o fenômeno da cognição e o processo comunicativo deslocando-se o estudo da cognição do campo do indivíduo para o campo do social (ALVARENGA, 2003).

Para Chandrasegaran et al. (2013), o conhecimento (como um recurso) no âmbito da engenharia e de seus processos não está disponível diretamente, mas é obtido pela interpretação de informações deduzidas da análise de dados, processo dinâmico e ininterrupto ao longo da concepção. O processo de projeto é um processo de busca e uso de informações, a partir de uma necessidade que é clarificada ao longo do mesmo. A necessidade de informação surge quando o indivíduo sente o 'vazio' em seu conhecimento e em sua capacidade de dar significado a uma experiência. A busca da informação é o processo pelo qual o indivíduo busca intencionalmente informações que possam mudar seu estado de conhecimento. O uso da informação ocorre quando o indivíduo seleciona e processa informações ou mensagens que produzem uma mudança em sua capacidade de agir ou reagir à luz desses novos conhecimentos (CHOO, 1998). Neste contexto, também identificado no âmbito do processo de projeto sob a teoria cognitiva, a incerteza é a força-motriz responsável por impulsionar a

pesquisa e promover descobertas em direção ao aprendizado duradouro (FLORIO, 2011).

De acordo com Choo (1998), estudos sobre o uso da informação revelam que as necessidades de informação são ao mesmo tempo emocionais e cognitivas, de modo que as reações emocionais quase sempre orientam a busca da informação, canalizando a atenção, revelando incertezas, indicando gostos e aversões e motivando o esforço. As reações emocionais influenciam e são influenciadas pela capacidade do usuário em construir significado, focalizar a busca, distinguir informações relevantes e irrelevantes e aproximar seu interesse do processo de construção de conhecimento. O “ambiente interno de processamento da informação” do indivíduo é constituído pelas suas necessidades cognitivas e reações emocionais. A busca e o uso de informações é o processo pelo qual ele procura intervir no seu estado de conhecimento e se trata de uma experiência humana (CHOO, 1998).

Na construção coletiva do conhecimento os membros de um grupo ou organização compartilham e articulam o que sabem através do diálogo e do discurso construídos com analogias, metáforas e a partir de mapas mentais. A dimensão cognitiva do conhecimento tácito envolve esquemas, modelos mentais, crenças e percepções que refletem a imagem de um indivíduo sobre como as coisas são e como virão a ser. Os mapas mentais são interpretações armazenadas a partir da experiência, aos quais as pessoas recorrem em primeiro lugar quando tentam interpretar novos dados (CHOO, 1998). Florio (2011) afirma que o raciocínio analógico e a recuperação mental de conhecimentos provenientes de experiências anteriores são as estratégias mais utilizadas pelos arquitetos mais experientes. Nesse sentido, o design é um processo dinâmico de adaptações e transformações onde um precedente específico é transformado em nova obra.

Capurro (1991) apud Alvarenga (2003), afirma que o processo de conhecimento consiste na assimilação de coisas por meio de suas representações na mente/cérebro do sujeito cognoscente. Essas representações, uma vez

processadas e codificadas no cérebro podem ser comunicadas a outras mentes e/ou armazenada e processadas por computadores. O objeto sob processo cognitivo se altera na medida em que novas informações são recebidas e as pessoas alteram suas percepções sobre ele (CHOO, 1998).

No processo de projeto um primeiro sujeito parte para o conhecimento de um objeto abstrato que lhe ocupa a mente. Ele assimila esse objeto descrevendo e representando-o, seja em sua mente ou sob a forma de uma maquete virtual, por exemplo. Segundo Souza, Amorim e Lyrio (2009), o uso de modelos virtuais permite que a compreensão do projeto seja estendida a todos, não sendo restrita apenas àqueles que conhecem as simbologias e representações do desenho técnico. Assim, outras mentes podem conhecer e intervir sobre um mesmo objeto, ou seja, contribuir com o conhecimento sobre ele. Esta é a criação coletiva de significado, ou a essência do processo de projeto colaborativo. Neste momento o objeto abstrato não “pertence” àquele que iniciou o processo de sua representação, mas a todos que venham a contribuir com frações de conhecimento sobre esse objeto e para a continuidade desse processo.

Malard (2004) faz uma comparação entre a pesquisa científica e a “invenção arquitetônica”. Segundo a autora, “o processo de projeto é um processo de aquisição ou de produção de conhecimento sobre o objeto que se projeta” (processo de projeto entendido como processo de concepção). Segundo a autora, há um modo inventivo de se conhecer no processo de projeto. Aprende-se sobre o problema, o objeto estudado (o edifício desejado), na medida em que são feitas tentativas para resolvê-lo (concebê-lo) e não, necessariamente, considerando que existam leis pré-estabelecidas que governem essas soluções (ou uma metodologia). Processo de projeto é um processo de invenção de ideias arquitetônicas, estimuladas por problemas físico-espaciais que o projetista se propõe a resolver, podendo se tornar visíveis por meio de representações como os modelos computadorizados. As soluções projetuais possíveis para esses problemas são hipóteses: “conjecturas sobre como deveria ser aquela edificação”. Essas soluções projetuais surgem da investigação daqueles problemas que não as precedem, mas interagem com elas. A problematização acompanha a solução.

A análise (dos dados, das demandas) junto com a síntese (a elaboração da solução projetual). Aprende-se sobre o problema (e suas regras) na medida em que diferentes soluções são experimentadas. Ao final, domina-se completamente o problema, pois foi construído um conhecimento consistente sobre todos os seus aspectos (MALARD, 2004). Segundo Campos e Silva (2004), na análise, a razão prepondera; na síntese – face às limitações da teoria – a intuição preenche os vazios para criar uma imagem que represente o objeto satisfatoriamente.

Para Campos e Silva (2004) o projeto arquitetônico não está tão distante da investigação científica: “não lhe falta a temática, a indagação, as referências teóricas, as hipóteses de trabalho, a experimentação, a escolha da melhor alternativa para a sua devida otimização e, finalmente, a publicação e a discussão”. A pesquisa em arquitetura seria um processo de reflexão-na-ação (SCHÖN, 2000). Projetistas pensam o que fazem, enquanto o fazem. Não há um planejamento prévio para aquilo que há de se conceber, mas expectativas e objetivos. Segundo Florio (2011), nesse processo de experimentação o projetista “confirma ou rejeita cada uma das hipóteses levantadas”. O autor concede o nome de “artefatos” aos objetos que servem de representação e de protótipos para experimentação, produtos desse processo de se pensar e fazer simultaneamente.

De acordo com Florio (2011), o processo de concepção arquitetônica e o pensamento científico são exemplos de solução de problemas. Nos dois casos, tendo encontrado um problema, é preciso operar para além dos limites do conhecimento atual, pela proposição de hipóteses, de métodos investigativos e de experimentação. Para Malard (2004), a lógica da invenção arquitetônica poderia ser identificada pela teoria do método utilizado no processo de concepção, ou seja, pela sua metodologia, se houvesse um consenso sobre a existência dela, sobre a existência de uma teoria das regras para proposição de soluções arquitetônicas. O método adotado evidenciaria a lógica do pensamento da concepção, da invenção arquitetônica. Para a autora, a lógica que conduz o processo é semelhante à lógica de qualquer processo criativo: tentativa e erro, com eliminação do erro pela crítica (tanto a autocrítica como a crítica de

terceiros). Segundo Florio (2011), na impossibilidade de se recorrer a um conhecimento precedente durante o processo de concepção – pela ausência do mesmo –, procede-se para a tentativa e erro. Neste processo indutivo, o que se procura é a formação de um conhecimento estruturador, de um conceito, ou de uma linha de raciocínio que defina os rumos das soluções futuras, indo da parte (subproblema) para o todo. O processo dedutivo acontece quando já se sabe como proceder frente a um problema de projeto e é comum em projetistas mais experientes em um determinado contexto.

O entendimento dos processos cognitivos envolvidos no processo de projeto pode oferecer respostas que nortearão o desenvolvimento da próxima geração de ferramentas computacionais de suporte ao processo de projeto. Goel et al. (2012) propõem quatro características fundamentais para essa próxima geração: a) foco no projeto conceitual e na criatividade do projetista; b) ênfase no processo criativo; c) suporte para o projeto colaborativo e d) ter suas bases fundamentadas na ciência da cognição.

Diversas pesquisas têm explorado métodos e ferramentas de suporte à criatividade, à investigação de soluções conceituais e ao fluxo do processo cognitivo de projetistas ao longo da concepção de projetos. O processo de concepção implica em um processamento mental de informações altamente complexo e sofisticado. Envolve etapas de percepção, identificação, interpretação, reflexão e codificação, utilizando-se dos sentidos da emoção, da razão e da linguagem. O desafio da psicologia cognitiva é descobrir como o projetista, no processo criativo de projeto, representa o problema enquanto um conjunto de variáveis precisa ser satisfeito (ALVARENGA, 2003; CHANDRASEGARAN et al., 2013).

Representação

Segundo Alvarenga (2003), a cognição humana está relacionada a processos intelectuais aplicados a objetos representantes de uma realidade, ou a modelos. A teoria cognitiva se ocupa em explicar como adquirimos conhecimento,

acumulamos experiências e desenvolvemos habilidades a partir de nossa interação com o ambiente que nos cerca (FLORIO, 2011), seja físico ou virtual.

A definição de “modelo” elaborada por Guizzardi (2005) parece aplicável ao contexto da construção civil e de todos os modelos dos quais ela se utiliza. Para o autor, um modelo é uma abstração da realidade, segundo uma concepção da mesma. É o conhecimento que se obtém dessa realidade. Modelo não é a representação de algo, mas a representação daquilo que se conhece sobre esse algo. Para determinados fins, modelo pode ser considerado como a representação em si. Um modelo pode oferecer suporte à comunicação, aprendizagem e à análise sobre aspectos relevantes do contexto que ele procura representar. Um modelo é um meio para preservar e comunicar determinada visão do mundo e pode servir como um veículo para o raciocínio, para a resolução de problemas e para aquisição de novos conhecimentos (GUIZZARDI, 2005).

Segundo Vickery (1986) apud Alvarenga (2003), toda representação do conhecimento é simbólica, ou seja, todo modelo é um símbolo. Partindo-se do princípio que representar significa "o ato de colocar algo no lugar de", considera-se a representação arquitetônica como uma expressão do pensamento do projetista, “colocar algo no lugar de” suas ideias, derivadas de observações (metódicas ou intuitivas) sobre as demandas do usuário, utilizando-se das linguagens disponíveis no contexto da construção civil.

O processo cognitivo se vale da linguagem simbólica para a representação da realidade. O comportamento humano é função dos significados que ele imprime à sua realidade. Portanto, sua realidade é inevitavelmente simbólica, metafórica, cheia de paradigmas, mitos e presunções, que o impedem de ver a realidade objetiva (OKAMOTO, 1999).

Suwa e Tversky (1997) apud Oliveira (2003) consideram os diagramas, esboços, desenhos, mapas, gráficos e anotações escritas como formas de representações de projeto, representações externas sobre o pensamento do projetista. São

utilizadas como ferramentas do processo de concepção para compreensão do problema e investigação de soluções pela geração e registro de alternativas para subsequente avaliação, verificação e refinamento.

Campos e Silva (2004) reforçam a importância da linguagem no processo de concepção. Segundo os autores, a linguagem constrói o mundo, não o representa: “não é possível representar o mundo tal como é com anterioridade à representação, porque a linguagem tem um efetivo aspecto formativo. A função primária da linguagem é a construção de mundos, não simplesmente a transmissão de mensagens”. A comunicação torna-se, assim, um processo construtivo, não um mero trilha condutor de mensagens. Para Kaschek e Delcambre (2011) é evidente a importância do meio e da linguagem utilizada para se comunicar determinado conteúdo: “em certo aspecto, o meio é a própria mensagem”. Lauande (2007), sobre o papel da linguagem, afirma que ela é instrumento para posicionar um indivíduo no mundo de outro, fazendo-os entender o sentido da coexistência: “ao sentir-se partícipe de uma estrutura social ativa, estará começando aí, a verdadeira existência do indivíduo, em nível individual tanto quanto no nível social”.

Colaboração e integração no processo de projeto não são exclusivamente o resultado da adoção de tecnologias da informação ou de técnicas de gestão de processos. Para serem alcançadas é fundamental o estabelecimento de uma comunicação eficaz. De acordo com Anumba et al. (2008), para que a comunicação seja estabelecida, é preciso um esforço conjunto para se definir o significado dos conceitos comunicados entre os diferentes agentes no processo. Os significados dos conceitos estão relacionados com a semântica que lhes é própria e nesse contexto surgem estudos sobre o desenvolvimento de ontologias, que buscam aprofundar o entendimento sobre a essência das representações e das simbologias, estabelecendo relações entre conceitos e recursos informacionais diversos independente de seus formatos de representação.

A interoperabilidade entre os sistemas de informação requer o uso de protocolos formais para a representação do conhecimento, como as ontologias. Existe um

grande interesse na comunidade acadêmica em desenvolver ontologias para se gerenciar o conhecimento sobre a construção civil. Uma ontologia é um sistema de conceitos fundamentais, axiomas distribuídos em uma estrutura de taxonomia (árvore de relacionamentos), que permite modelar e representar um determinado domínio de conhecimento. Uma ontologia provê uma definição formal e detalhada sobre determinada “coisa”, através do seu relacionamento com outros entes. A ontologia é representada por um gráfico com nós onde se localizam conceitos ou objetos individuais e linhas que conectam esses nós, representando associações ou relações entre os conceitos (CHANDRASEGARAN et al., 2013).

Pesquisas recentes sobre ontologias estão ajudando a estabelecer um vocabulário comum e a capturar o conhecimento sobre o domínio da construção civil. Anumba et al. (2008) ressaltam o grande valor das ontologias na representação do conhecimento específico sobre construção civil e demonstram como elas contribuem para o compartilhamento do conhecimento no processo de projeto. O conhecimento representado e armazenado na forma de uma ontologia pode ser facilmente recuperado e utilizado em diversos contextos e sistemas.

Chandrasegaran et al. (2013) realizam uma breve categorização das formas de representação do conhecimento no âmbito dos projetos de engenharia. A representação do conhecimento é classificada em termos de seus objetivos, como por exemplo, o de ser um meio de expressão do ser humano ou um meio de descrição de um ente, como o conjunto de relações entre ontologias. A classificação é útil, mas pode ser confusa de se realizar.

Neste esforço em classificar as representações, Chandrasegaran et al. (2013) diferenciam a realidade virtual dos desenhos bidimensionais. A realidade virtual seria um tipo de representação do conhecimento de natureza virtual, onde se incluem os modelos tridimensionais em CAD, simulações em ambientes de RV, protótipos virtuais, animações e a multimídia. Já os desenhos bidimensionais são de natureza pictórica, na qual se inserem os croquis, desenhos detalhados, gráficos, fotografias e perspectivas estáticas. As ontologias são de natureza simbólica, assim como os diagramas e fluxogramas. Os autores também fazem

referência às categorias da linguística e da algoritmia, que podem ser exemplificadas pela comunicação verbal ou escrita e por equações matemáticas, respectivamente. É possível ainda que uma representação pertença a mais de uma categoria ao mesmo tempo, reflexo da dificuldade em se categorizar as representações em um universo multimidiático.

Chandrasegaran et al. (2013) mostram ainda a relação entre as etapas do processo de projeto e as formas de conhecimento produzidas ou utilizadas em cada uma. Verifica-se a predominância de certos tipos de representação em cada uma das etapas. Nas fases iniciais do processo de concepção, a representação do conhecimento é predominantemente linguística ou pictórica. A representação simbólica, virtual ou algorítmica aparece com maior frequência nas etapas centrais do processo, onde a maior parte das decisões já foi tomada. O desafio é começar a se gerar o conhecimento particular das fases centrais ou finais ainda nas fases iniciais, utilizando-se a representação apropriada. Os sistemas de realidade virtual aliados à modelagem multidisciplinar permitem que conhecimentos particulares das etapas finais (sobre a produção ou uso do produto, a partir de simulações) sejam gerados nas etapas iniciais da projeção e sirvam como recurso para a análise crítica (CHANDRASEGARAN et al., 2013).

O processo de concepção de projetos é fundamentalmente um processo de produção e representação do conhecimento sobre a construção civil (um processo cognitivo). O design é fruto do pensamento construído através das representações, da linguagem de mediação do conhecimento que de forma dinâmica estabelece relações, testa e experimenta (um ato de investigação). Nesse contexto, o pensamento dedicado ao ato da concepção não deveria se submeter às limitações dos códigos do desenho arquitetônico, mas adotá-lo como parte do raciocínio do espaço, do pensamento do espaço. Ademais, o desenho bidimensional usado para representar o espaço não é capaz de conter toda a complexidade da arquitetura como também as possibilidades de soluções (LACOMBE, 2007). A representação gráfica é recurso para a construção das ideias do arquiteto e não surge apenas para representar uma ideia, mas um instante para sua compreensão e construção. Ela permite que sejam testadas as

hipóteses de resolução das diversas contradições que surgem da tentativa de se considerar todas as premissas ao projeto (MACIEL, 2013).

Pesquisas no campo da ciência cognitiva têm demonstrado uma forte relação entre atributos semânticos e visuais, o que explica a frequência com que a representação pictórica (croquis e desenhos) é utilizada entre os projetistas. Projetistas são pessoas "visuais" e não verbais e frequentemente sentem a necessidade de representar seus pensamentos através de desenhos ao invés de expressá-los verbalmente. A importância da representação pictórica é evidente especialmente nas etapas iniciais da projeção. O croqui é uma das principais e mais intuitivas formas de representação que o projetista utiliza para comunicar suas ideias e externar seus pensamentos (CHANDRASEGARAN et al., 2013).

À época do surgimento dos primeiros sistemas CAD, os projetistas precisavam aprender os procedimentos e comandos dessas ferramentas, uma tarefa muitas vezes exaustiva. Este fator permanece desestimulando a maioria dos projetistas em adotar determinadas ferramentas computacionais, por isso a ideia do sketch manual como ferramenta de projeto persiste até hoje. Para que o processo de concepção inicial se torne verdadeiramente computadorizado, é necessário que estas ferramentas se tornem cada vez mais intuitivas e orientadas ao usuário (CHANDRASEGARAN et al., 2013).

Projeto é um processo de transformação de informação gráfica, textual e numérica. Sendo gráfica, no âmbito das tecnologias digitais de representação, é preciso pensar sobre como se estabelece a troca de informações entre as ideias do projetista e a representação computacional. Nessa direção, verifica-se um aumento de pesquisas na área da interface homem-máquina, com o objetivo de encurtar a distância entre os universos mental e digital.

Os registros que materializam os conhecimentos são efetuados utilizando-se da enorme gama de suportes físicos e digitais que se tornaram disponíveis ao longo da evolução cultural do homem e que se estendem dos desenhos encontrados nas cavernas até os registros envolvidos no processo de concepção de objetos

arquitetônicos na atualidade, entre eles, os modelos virtuais. A necessidade de velocidade de produção e transmissão do conhecimento exige que os meios de comunicação se tornem cada vez mais hábeis em realizar essa atividade. A habilidade dos meios de comunicação relaciona-se com a agilidade e a capacidade que possuem em comunicar cada vez mais rapidamente um volume maior de informações. Uma mensagem é comunicada, quando se tem a garantia de que foi enviada, recebida e compreendida. Apesar de todas as fragilidades dos atos de se conhecer e comunicar em um universo multimidiático, torna-se imperativo que se encontre uma forma de se construir interfaces entre as informações e seus usuários (ALVARENGA, 2003).

Fundamentações filosóficas

Ao considerarmos a representação como o símbolo do pensamento do projetista, é importante a discriminação entre o objeto e sua representação. Para Alvarenga (2003), os seres expostos ao processo de conhecimento, ou seja, os seres sobre os quais se pensa, sobre os quais se enuncia, sobre os quais se constrói um conceito e para os quais se cria uma representação, integram a essência do campo que os filósofos denominam de ontologia: universo de todos os seres concretos e abstratos existentes.

A representação do edifício compreende um processo cognitivo (ou um processo de conhecimento) e está inserida no universo da epistemologia, campo da filosofia que se ocupa em entender os processos sobre o fenômeno do conhecimento, inclusive sobre sua representação. O objeto existe (na mente humana ou no plano físico, universo da ontologia), eu o conheço e o represento (universo da epistemologia), consecutivamente. A representação é a expressão do resultado da apreensão, do que se observa/imagina ser o objeto, capaz de condensar conhecimentos e a visão de mundo do projetista. A representação mental é a manipulação de símbolos e conceitos armazenados no cérebro que são processados por ocasião para atribuir significado ao momento (FLORIO, 2011).

Para Mendes e Bax (2013), o conceito é “a ideia compartilhada sobre algo”, “unidade de conhecimento referente ao ser percebido, componente essencial do conhecimento representado”. No projeto de arquitetura, o que estabelece o conceito do objeto são justamente os enunciados contidos no escopo do projeto. Para Maciel (2003), o conceito de uma obra arquitetônica pode ser definido ao final de sua concepção e não antes, como o fazem alguns arquitetos (o “conceito-teoria” que justifica, valida e orienta o processo de concepção). Nestes casos, para o autor, o conceito é apenas algo que serve aos arquitetos como simplificador da vastidão das condicionantes iniciais.

Para Maciel (2003), um observador é capaz de extrair conceitos de um objeto a partir da observação dele próprio ou da observação de sua representação. No ato do projeto, o objeto é o que se busca realizar e por isso ainda não é possível extrair-lhe conceitos. Essa busca pelo “conceito”, um algo concreto que antes mesmo da realização do edifício já estaria disponível para o projetista e que se permite ser interpretado, parece exaustiva e sem fundamentos para o autor. Segundo ele, a realização de um projeto de arquitetura envolve um programa a ser atendido, um lugar no qual o edifício será implantado e um modo de construir a ser definido. Não obstante, a ideia de um conceito que sirva como orientador no processo de concepção do projeto é de modo recorrente entendida como algo independente daquelas premissas (programa, lugar, construção): “uma ficção, analogia, metáfora ou discurso filosófico” que justificaria todas as soluções de projeto e “milagrosamente articularia todos os condicionantes em uma forma significativa”. Tal estratégia diminui a importância das premissas do projeto, dos “dados existentes do problema” e tem sido frequentemente adotada por arquitetos de todo o mundo.

Para Florio (2011), um conceito é estabelecido para que as variáveis sejam restringidas a fim de simplificar o problema. Com frequência este conceito é algo subjetivo e pode estar alheio às demandas específicas do projeto. Nas fases iniciais de concepção, o conceito dado pelo projetista impõe restrições, determinando as possibilidades de soluções.

Buckland (1991) apud Alvarenga (2003) vincula o termo informação a um objeto que contém informação. Esse objeto na área da Ciência da Informação pode se tratar, por exemplo, de um documento. Na construção civil esse objeto pode se tratar do próprio edifício, enquanto objeto abstrato ou concreto. O edifício, portanto, contém informação e é capaz de ser representado, descrito, conhecido. Contém, segundo Buckland, “algo utilizável, atribuído a objetos, dos quais se espera que sejam informativos”. Se, ao se deparar com um edifício, for possível descrevê-lo e extrair-lhe informação, então de informação ele deve ser constituído. Nesse sentido, informação não seria o produto final de um processo de representação, mas uma dimensão existencial. Quando se diz que se armazena, se recupera e se troca informações, age-se como informação fosse algo localizado do lado “de fora”, embora na realidade ocorra um compartilhamento de mundo (entre sujeito e objeto).

Percepção

Os sentidos são o mecanismo de interface do indivíduo com a realidade circundante. A interpretação dos estímulos externos captados pelos sentidos resulta no fenômeno da percepção. Ademais, a percepção vai além da simples reação aos estímulos externos, pois é acrescida de estímulos internos, que intervêm e conduzem o comportamento do sujeito cognoscente no processo de percepção. O sujeito reage às sensações que surgem diante da realidade que ele próprio construiu (OKAMOTO, 1999).

A percepção e a formulação de conhecimento sobre os objetos são elementos essenciais da racionalidade humana e envolvem processos cognitivos básicos, tais como o levantamento das características do ser percebido. O ato de compreender é uma atitude filosófica, ou um ato “da interpretação criadora de sentido”. Eu compreendo apenas quando minha interpretação atribui sentido ao objeto ou ser. Quando ele “faz sentido” para mim. O ato de interpretar é inerente a qualquer abordagem sobre conhecimento, qualquer que seja o grau de suposta clareza – ou entendimento – com que ele tenha sido produzido. O ato de interpretar envolve a construção, a reorganização, a seleção e a destruição de

aspectos objetivos da coisa interpretada. Aquele que a interpreta cria para ela, suas próprias limitações. O ambiente interpretado é fruto da interpretação retrospectiva de ações ou acontecimentos já ocorridos, ou seja, um fato perceptível é aquele que lembra algo que já aconteceu antes (CHOO, 1998).

O ambiente pode fornecer mais informações do que o indivíduo é capaz de assimilar ou perceber. Ele então seleciona esse volume de informações em pequenos grupos. Alguns destes grupos são ignorados, possibilitando ao indivíduo se concentrar naquilo que mais lhe interessa, realizando uma adaptação da cena ao seu redor, atribuindo-lhe sentido e significado. Gifford (2002) afirma que a percepção de fatores como tamanho, distância e altura é amplamente influenciada por características humanas pessoais, tais como afinidade, familiaridade e ligações culturais com o lugar. Segundo o autor, a “cognição espacial é um ato pensante, através do qual o indivíduo estima distâncias, reconhece ambientes e atribui significado aos espaços com os quais interage”.

Os humanos percebem e interpretam a realidade de forma variada. Enxergar o ambiente ao redor não implica, necessariamente, em percebê-lo. A apreensão da realidade requer uma visualização mais atenta. Captamos apenas o que é perceptível sobre uma realidade absoluta, mais complexa do que a percebemos. O indivíduo percebe a realidade de acordo com o universo de seus pensamentos, sua bagagem intelectual. Sua realidade é restrita a essa condição. Sua mente seleciona apenas os aspectos da realidade que lhe interessam ou que lhe chamam atenção a partir de estímulos e então ocorre a percepção e a consciência. A seleção dos aspectos da realidade é feita por três categorias de filtros: sensoriais, fisiológicos e culturais (OKAMOTO, 1999).

O sentido da visão é capaz de absorver um grande volume de informações de forma praticamente instantânea. Segundo Rohrer (1997), nosso sistema de visão, entre nossas funções do cérebro, é o que possui maior capacidade de processamento de informação. A respeito desses aspectos verifica-se um volume crescente de informações sendo cada vez mais transmitido por imagens, pela agilidade e volume que esse meio de comunicação oferece na transmissão de

informações, mesmo que a princípio, o remetente não esteja comprometido com a qualidade dessa transmissão, ou seja, com a garantia de recepção completa e não distorcida da mensagem. De acordo com Rohrer (1997), a imagem é o fundamento para a compreensão humana: “os seres humanos pensam e criam em um mundo gráfico”. Ainda segundo o autor, as animações gráficas utilizam a habilidade da mente humana em processar grandes volumes de informação rapidamente e são ferramentas poderosas no auxílio à compreensão de ideias complexas.

De acordo com Cordiviola (2006), “a complexa percepção visual se dá num sistema de ambiente e foco; o que é frequentemente chamado de atenção visual central e atenção visual periférica. Vemos, por natureza, objeto e contexto e podemos mudar, à nossa escolha, novos objetos e contextos de nossa visão. Vemos ações em cenários e cenários em mundos. Podemos então, com certa facilidade, estabelecer as relações entre parte e todo, entre figura e fundo, entre detalhe e estrutura, etc.; e cada coisa vista, grande ou pequena, importante ou insignificante, é percebida num ambiente com o qual se relaciona. A visão é o "input" de informações mais eficiente do ser humano”.

2.2 A Coordenação

De acordo com Silva e Novaes (2008), para a produção de edifícios cada vez mais complexos e de qualidade, é necessário conciliar a atuação de diversos agentes e, para isso, o processo de projeto deve dispor de uma eficiente coordenação. Essa coordenação tem a responsabilidade de organizar o grande fluxo de informações no processo, realizando a gestão do conhecimento das diferentes especialidades.

Meseguer (1991) apud Thomaz (2001) lembra que as falhas mais importantes na construção ocorrem por indefinições, definições mal formuladas e incompatibilidades nas interfaces entre os projetos das diversas especialidades. Para Crespo e Ruschel (2007), entre os motivos que justificam as atividades de

coordenação e compatibilização de projetos encontram-se a especialização cada vez maior das diferentes áreas de projetos, a formação de equipes de projetos localizadas em diferentes localidades físicas e o número crescente da variedade de soluções tecnológicas sendo agregadas aos empreendimentos.

Grilo e Melhado (2004) verificam que de uma visão da construção como produto de processos integrados surge a demanda por serviços globais, pelo serviço completo: projeto e construção. A complexidade da atividade de gestão desses processos integrados requer um profissional cuja função é integrar a equipe e promover o fluxo de informações. Gestores da Construção (do inglês, *Construction Managers*) cumprem essa função de coordenação do processo de projeto.

Sobre a evolução da complexidade dos projetos de edificações, Thomaz (2001) esclarece: “as novas concepções de projeto devem considerar a introdução de sistemas flexíveis que possibilitem mudanças de layout para adequação do edifício a usos posteriores; de instalações visitáveis para facilidade de manutenção; de soluções de eficiência energética para possível certificação e também de procedimentos para a otimização da execução da obra com vistas para a sustentabilidade do empreendimento”.

Melgaço et al. (2004), em pesquisa exploratória realizada com empresas construtoras da cidade de Belo Horizonte, MG, constataram que na maioria dos casos a coordenação ainda é feita de maneira informal, ou seja, sem a introdução de procedimentos sistemáticos e tem ficado condicionada à experiência e iniciativa dos profissionais das empresas construtoras. Não obstante, observaram: a) a introdução de mecanismos para interação entre projetistas; b) preocupação com a padronização da forma de apresentação e aspectos gráficos dos projetos e c) preocupação com a utilização de projetos executivos mais detalhados.

Silva e Novaes (2008) identificam com detalhes as práticas concernentes à coordenação de projetos de edificações – através de estudos de caso –, apresentando as contribuições dessa atividade para a otimização do processo de

projeto e formulam um modelo que descreve essa atividade em linhas gerais. Neste modelo os autores definem o termo “coordenação técnica” como uma parte integrante da coordenação de projetos referente à integração e ao desenvolvimento dos projetos (design). A coordenação técnica inclui tarefas como as reuniões de compatibilização e análise crítica dos projetos. Ainda segundo os autores, “as reuniões de coordenação em todas as fases de projeto contribuem para que as atividades desenvolvidas pelos diversos profissionais, dissociadas e de forma sequencial, sejam substituídas por atividades efetivamente realizadas por equipes multidisciplinares”. A necessidade de preparação dos coordenadores de projetos e dos ambientes de coordenação para se adequarem às otimizações oferecidas pelo BIM tem se tornado evidente nos escritórios de projetos (SOUZA; WYSE; MELHADO, 2013). A adoção da tecnologia BIM reconfigura o processo de projeção, sugerindo a fusão das fases iniciais de concepção, por exemplo.

Por outro lado, para Carvalho (2011), a tradicional união de especialistas coordenados não leva aos esperados resultados de unificação. Em outras palavras, a atividade de projeção realizada por equipe multidisciplinar, acompanhada de reuniões de coordenação, não é sinônimo de atividade integrada. Não apenas fomentar, mas de fato adotar uma abordagem transdisciplinar com o uso de tecnologias de gestão e de informação é algo extremamente complexo. A integração efetiva permanecerá distante da realidade das organizações enquanto este conceito não for tratado como algo a ser colocado em prática, como contribuição para uma possível solução para a cultura do individualismo.

Segundo Thomaz (2001) a coordenação pressupõe o fluxo de informações, a uniformização da linguagem e dos objetivos dos projetistas, sua profunda interação com a produção e a devida consideração de todos os parâmetros que norteiam a implantação de um empreendimento. Para isso, “o coordenador de projetos deve possuir o inteiro domínio das condições de execução da obra (...) e reunir conhecimentos e experiências suficientes no tipo de empreendimento que será executado”.

De acordo com Silva e Novaes (2008) o coordenador de projetos (responsável pela coordenação) precisa ter uma visão completa e integrada de todo o processo, um elevado conhecimento técnico para avaliar soluções de projeto de diferentes especialidades e habilidades para gerenciar as informações e integrar os diversos agentes envolvidos: “a competência do coordenador vai além da sua formação acadêmica e depende muito da sua experiência profissional”. Entre as atividades do coordenador de projetos se encontram o planejamento e o controle do processo de projeto e a tomada de decisões de caráter gerencial. Por outro lado, Emmitt (2010) aponta que a natureza exata do papel do coordenador de projetos (do inglês, *Design Manager*) e de suas funções ainda não é bem compreendida tanto pela academia quanto pelas organizações.

Para Fabrício (2002), a complexidade crescente dos empreendimentos exige a formação de grandes equipes multidisciplinares, onde nenhum profissional isoladamente detém os conhecimentos e qualificações necessárias para exercer o controle total do processo de projeto. Nessas equipes, a qualidade do projeto é atribuída tanto às habilidades e atribuições técnicas dos agentes como à organização e eficácia do processo de projeto. Neste sentido, ao se considerar a complexidade que podem alcançar os projetos de edificações e a velocidade com que as tecnologias envolvidas no processo avançam (tanto de TI quanto construtivas), nenhum profissional poderia vir a se tornar perfeitamente apto para exercer a função de coordenador de projetos tendo como referência as atribuições desse profissional apresentadas por Silva, Novaes (2008) e Thomaz (2001).

De acordo com Manzione et al. (2011), parece mais realista assumir que uma organização é uma mistura contínua e dinâmica de conflitos e colaboração, de transparências e ocultamentos. Muitas das informações criadas e processadas nas empresas podem ser consideradas inapropriadas, já que podem ter sido geradas e comunicadas num contexto de incongruência de objetivos ou de desacordo de motivações e interesses. No entanto, há de se considerar que essas informações não sejam, absolutamente, imprestáveis ou descartáveis: essas “incompatibilidades” podem indicar o cerne de conflitos a serem resolvidos

para a melhoria da saúde da organização, como o sintoma de uma doença com causas mais profundas do que sugerem as manifestações físicas e visíveis a priori. Assim, o fenômeno da 'transparência' é colocado em questão, precisando ser melhor delimitado. Um funcionário engajado em um processo cooperativo de decisão precisa ter a habilidade de controlar a propagação da informação relevante em seu trabalho: o que deve ser comunicado, quando, por quem e como. É importante a diferenciação entre "estratégias" e "incongruências de comunicação" (MANZIONE et al., 2011). Florio (2011) aponta para um fato interessante: somente em raras ocasiões arquitetos relatam espontaneamente as decisões que tomaram durante a concepção dos projetos. O autor supõe que o motivo seja devido à falta de hábito ou de necessidade. De qualquer forma, essa atitude expõe uma profunda despreocupação para com a integração dos profissionais no processo de projeto, em especial, por parte dos projetistas.

Enxerga-se uma tendência da figura do coordenador de projetos se aproximar cada vez mais da figura de um gerente da informação, coletando e direcionando as informações necessárias para a manutenção de um fluxo contínuo de projeção. Para Fidelis e Barbosa (2012), ser altamente capaz de lidar com a informação constitui atualmente o maior desafio para os gestores, visto a intensidade que a exigência por agilidade no tratamento e uso da informação adquiriu nos últimos anos. Essa capacidade, denominada "competência informacional", exige do indivíduo a habilidade com tecnologias da informação para analisar, criar e disponibilizar conhecimentos. Segundo os autores, o grande desafio é desenvolver a competência informacional em gestores/coordenadores.

Na construção civil os gestores são normalmente especialistas nas áreas técnicas – como arquitetura ou engenharia civil – e não necessariamente receberam formação para lidar com informações relativas ao escopo financeiro do empreendimento, ao planejamento estratégico e ao ambiente de negócios da empresa, aspectos que influenciam cada um dos empreendimentos de uma construtora, por exemplo.

Davenport (1998) afirma que a estratégia de negócios influencia a estratégia da

informação. Esta última se refere a como é utilizada a informação na organização: como insumo para inovação ou como forma de controle e poder. Esse tipo de decisão influencia diretamente sobre como a informação é trocada em todos os âmbitos das empresas construtoras, sejam nos contextos de processo de projeto ou nos administrativos/organizacionais.

Segundo Guimarães e Amorim (2006), a competência para se gerir informação no processo de projeto ainda não possui um contorno bem definido. Segundo os autores, ter competência significa possuir um conjunto de habilidades específicas em relação à qualificação, superiores àquelas relativas apenas à formação profissional. Com relação à gestão da informação no âmbito do processo de projeto, os autores afirmam que tanto para o gerenciamento do processo de projeto quanto no desenvolvimento das atividades de projeção (funções simultâneas e interligadas) é necessário que se proceda à gestão das informações, “entretanto, não há, em geral, nos escritórios de arquitetura, um profissional responsável exclusivamente por esta tarefa e encontram-se poucos arquitetos com capacitação adequada”.

A ausência de uma cultura de projeto integrado e de colaboração pode ser traduzida, dentre outras formas, pela desconsideração dos demais profissionais de projeto nas fases de concepção inicial. Tradicionalmente esses profissionais contribuirão com o empreendimento apenas depois da aprovação do projeto legal nos órgãos responsáveis. Sendo assim, justifica-se o que foi constatado por Silva e Novaes (2008): a) a coordenação técnica, que diz respeito à fase de projeção, se ocupa geralmente com etapas mais avançadas nesta fase, posteriores ao projeto legal, ou seja, na fase de projeto executivo; b) as reuniões presenciais de coordenação técnica dirigidas pelo coordenador envolvem a participação dos profissionais de projeto, consultores técnicos e representantes da incorporadora e construtora de acordo com cada fase de projeto, participando dessas reuniões os profissionais que interferem mais diretamente nas soluções projetuais em pauta.

A desconsideração de profissionais de projeto nas fases iniciais de concepção cria um enorme *gap* de informações entre projeto legal e executivo de forma que

nas fases finais, um volume imenso de informações e conhecimentos deverá ser inserido no design, ocasionando a revisão de decisões tomadas nas fases de concepção inicial. Essa cultura da desconsideração cria gargalos, desproporções no volume de informações que são compartilhadas ao longo do processo, gera retrabalho, atropelamento dos prazos e resulta em projetos mal planejados, mal executados, estresses e conflitos pessoais.

Em novas formas de se projetar, sustentadas pelos conceitos da engenharia simultânea e do projeto simultâneo que prevêem a antecipação de soluções multidisciplinares às fases de concepção, é injustificável que o arquiteto seja figura exclusiva e solitária na fase de concepção do projeto. O arquiteto deve assumir o papel daquele que traduz o escopo e o programa de necessidades em um partido arquitetônico básico. No processo de concepção o arquiteto deve se responsabilizar pela evolução do conceito, disponibilizando a informação adequada para orientar as propostas de soluções e as decisões.

Segundo Melhado (1999), neste processo a análise crítica é essencial: um questionamento da qualidade das soluções adotadas, segundo critérios preestabelecidos, não devendo ser conduzida pelos mesmos profissionais responsáveis pela solução a ser criticada. Ela pode desencadear um processo de modificação anterior à validação reduzindo a possibilidade de que o cliente se decepcione com as soluções apresentadas.

2.3 A Análise Crítica

A coordenação de projetos utiliza-se da análise crítica de projetos como ferramenta para avaliação das soluções projetuais. Consiste numa avaliação sistematizada e documentada quanto à pertinência, adequação e eficácia das soluções de projeto em atender aos seus requisitos. Procura identificar possíveis falhas no projeto propondo soluções para corrigi-las. Tais propostas, por sua vez, são registradas e documentadas. A validação de projetos pela análise crítica pode ser efetuada também em estágios intermediários (não apenas ao final de cada

etapa da projeção), através de simulações por protótipos, modelos de várias naturezas. De uma forma geral, a análise crítica procura agregar ao projeto maior construtibilidade, reduzir seus custos e/ou prazos, otimizar seus métodos construtivos, racionalizar sua produção e garantir fidelidade ao escopo (SILVA; NOVAES, 2008).

De acordo com a ASCE (1988), a análise crítica inclui a verificação das hipóteses de projeto, da sua adequação aos códigos, regulamentações e normas aplicáveis e da viabilidade das soluções propostas em termos de conformidade com as exigências dos agentes da promoção, da produção e com as aspirações dos projetistas.

Melgaço et al. (2004) consideram a presença de um coordenador de projetos e a ferramenta de análise crítica dos projetos, ações sistemáticas para a garantia da qualidade do processo. Entre os requisitos considerados essenciais por Picchi (1993) para que se atinja satisfatória qualidade do projeto estão a coordenação e análise crítica dos projetos e a elaboração de projetos com auxílio de recursos computacionais. Cabe ressaltar ainda que a análise crítica também é contemplada pela norma de sistemas de gestão da qualidade – NBR ISO 9001 (ABNT, 2000).

Ao mesmo tempo, avaliar a qualidade da concepção de um edifício não é algo trivial. Thomaz (2001) comenta sobre os três diferentes aspectos no julgamento da qualidade de um projeto segundo o CEB – *Comite Euro-International du Beton*: a) qualidade da concepção; b) qualidade da apresentação e da descrição das soluções e c) qualidade das justificativas apresentadas para a escolha da solução. Para o autor, esses três aspectos carregam uma porção de subjetividade muito grande, por envolverem julgamentos que são muito pessoais e aspectos subjetivos como simbolismos e estética dos edifícios. Cavalera (1991) apud Thomaz (2001), revela que há ocasiões em que alguns projetistas manifestam, explícita ou implicitamente, resistência em submeter seu trabalho a algum tipo de controle. Segundo o autor, “é evidente que essa reação é influenciada por complexas atitudes psicológicas, que podem incluir, de um lado, a insegurança de

ver o projeto avaliado de maneira tão explícita e, de outro, a presença de uma forte vaidade. Alguns profissionais encaram o controle do projeto como verdadeira afronta pessoal”.

Para se entender os aspectos subjetivos é preciso discriminar a subjetividade na arquitetura da subjetividade de outras formas de expressão artística. É preciso observar que, a despeito de se adotar a expressão “atelier” para se referir ao ambiente de concepção do projeto arquitetônico, este se difere fundamentalmente dos processos artísticos. A produção da arquitetura começa com uma relação recíproca e horizontal entre o sujeito-criador (arquiteto) e o sujeito-não-criador (aquele que encomenda o espaço para utilizá-lo ou não). Ambos tomam sobre si a responsabilidade de uma reflexão sobre a relação entre espaço e a existência humana como forma de dar sentido às suas experiências prévias e futuras de espacialidade. Ao longo do processo de concepção da obra arquitetônica, a subjetividade do arquiteto se revela na medida em que se torna útil para responder às demandas dos clientes e usuários (LAUANDE, 2007). De forma diferente, o procedimento da arte é o procedimento da forma confusa que aumenta a dificuldade e a duração da percepção, intencionalmente, porque em arte o processo de percepção é um fim em si mesmo e deve ser alimentado (LACOMBE, 2007).

Devido ao número elevado de atores envolvidos no ciclo da projeção, o retrabalho nessa etapa pode se tornar uma tarefa demasiadamente exaustiva visto que, segundo Thomas et al. (2002), “o fluxo de informações se torna lento, refletindo na velocidade das tomadas de decisões que acabam sendo realizadas sem integração com a produção. Geralmente, a qualidade não é controlada na fonte do problema ou onde ele possa se originar. Por isso, quando desvios são identificados e retificados, checagens subsequentes são ainda necessárias para garantir que os níveis de qualidade requeridos foram alcançados. Isso resulta na criação de uma cultura da ‘segunda conferência’ ou ainda da ‘terceira conferência’ ou ‘quarta conferência’ e assim por diante”.

2.4 A Gestão e os Aspectos Sociais

Thomas et al. (2002) consideram que as origens da burocracia na gestão dos processos na construção podem ser encontradas nas teorias de Taylor (em “Princípios de Administração Científica”, 1856) e Weber. Segundo os autores, elas representaram até os anos 60 do século passado as bases para o desenvolvimento de abordagens ocidentais sobre gestão do trabalho e das organizações. Taylor categoriza o trabalho em tarefas e separa o planejamento/gestão da produção. Weber cria estruturas formais nas organizações, onde regras e procedimentos coordenam e dirigem as ações dos funcionários em função de objetivos organizacionais.

Pesquisas recentes no desenvolvimento de organizações têm mostrado que esses modelos são inevitavelmente hostis às demandas de crescimento individual. Nas hierarquias, diferenças de poder tendem a sufocar o desenvolvimento do menos poderoso na equipe, por criarem uma dependência psicológica e por limitarem experiências pela especialização. A abordagem hierárquica com um único ponto de responsabilidade, pode ser interpretada como uma tentativa daqueles com autoridade em reter para si o poder e o controle (THOMAS et al., 2002). As características sociais da organização influenciam as atitudes em relação à informação, os tipos e estruturas da informação requerida e o fluxo e a disponibilidade da informação. Certos aspectos do ambiente de trabalho, como a hierarquia organizacional e a localização das fontes de informação, podem afetar o fluxo e a disponibilidade da informação (CHOO, 1998).

Thomaz (2001) afirma que para o desenvolvimento e gestão da qualidade são ressaltados, entre outros aspectos, os seguintes: a) a eliminação do receio dos trabalhadores em exporem suas opiniões; b) a eliminação da compartimentação entre departamentos ou setores da empresa e c) a motivação, para que as transformações na empresa possam ser atingidas. Segundo o autor, quanto melhor o nível de interação entre os diversos atores, melhores os resultados potenciais: “a rigor, todos deveriam ter a visão integrada de todo o processo do

empreendimento, podendo dessa forma se ajudar mutuamente e promover com maior facilidade os acertos nas inúmeras interfaces. Ocorre que, muitas vezes, os diferentes atores não têm a perfeita compreensão de todos os passos do processo”.

De acordo com Melhado (1999), a necessidade de inovação no mercado da construção civil tem induzido a criação de práticas diferenciadas de organização de projetos, não sequenciais. O fomento à colaboração entre os principais agentes mostra-se como caminho alternativo para o surgimento desses novos modelos de gestão do processo de projeto. Os principais focos de colaboração são: a) a colaboração na elaboração do programa do projeto; b) o projeto multidisciplinar e c) a integração projeto-produção. Anumba et al. (2002) definem “padrões de colaboração”: a) “colaboração frente a frente”; b) colaboração distribuída sincronizada; c) colaboração dessincronizada e d) colaboração dessincronizada distribuída.

A resistência a uma abordagem não sequencial e multidimensional do processo de projeto pode ser considerada fruto daquela cultura taylorista citada anteriormente. Soma-se a ela, a abordagem que a própria norma de sistemas de gestão da qualidade, NBR ISO 9001, incentiva para o ambiente organizacional das empresas. Segundo Andery, Vieira e Borges (2002), a ISO 9001 prioriza o entendimento de “projeto” em sua dimensão de produto e não de serviço ou de um conjunto de processos interligados. Não obstante, cabe ressaltar aquele que parece ser o maior benefício constatado pelos autores, gerado pela implantação de sistemas de gestão da qualidade referenciados na ISO 9001 em empresas construtoras: a otimização do fluxo de informações através de formalização, tratamento e compartilhamento das mesmas, fomentando a interação entre os projetistas internos e externos à empresa.

Hughes et al. (1999) apud Thomas et al. (2002), atentam para o fato de que quanto mais burocrático e mais “papelada” um sistema de qualidade tiver (na intenção de ser mais compreensivo), menos motivados os gestores são de utilizá-los. É aceito que o sucesso se instala na concomitante implementação dos

aspectos sociais e tecnológicos da organização e na arquitetura do processo. Há, portanto, a necessidade de uma teoria multidisciplinar para melhor entender os ingredientes necessários para implementação bem sucedida. Pressupõe-se que o caminho seja simplificar os sistemas, com o objetivo de controlar menos, talvez pela delegação de tarefas e atribuição de responsabilidades por elas. Para Fabrício (2002), é necessária a criação de novos modelos organizacionais capazes de estruturar o processo de projeto de modo a democratizar as tomadas de decisão e incrementar o caráter multidisciplinar das soluções formuladas.

Do mesmo modo, Thomas et al. (2002) procuram mostrar a importância do fomento à cultura do projeto, da produtividade e do trabalho em conjunto, na busca por resultados de maior qualidade. A instabilidade da composição de equipes de organizações atuantes na indústria da construção civil, originada pela política do menor preço ao invés da política do cultivo de relações duradouras, tem aumentado a demanda por habilidades de gestão social. A perda da “coesão cultural”, fruto desse processo de fragmentação de interesses e de equipes, substituiu valores como respeito e confiança, essenciais em fortes culturas.

No Brasil, a política do menor preço ainda é fomentada inclusive pelo próprio governo federal quando decretou em 1993 a Lei nº 8.666 (BRASIL, 1993) que estabelece normas gerais sobre as licitações. Essa Lei ignora o fato de que o valor de um serviço de construção não pode ser definido de forma exata e justa sobre um escopo limitado e incipiente. Também ignora o portfólio e qualificação das empresas, fazendo valer a empresa com o menor preço e não a mais qualificada para o serviço. Ao contrário, no setor privado clientes têm buscado maior valor, o que não necessariamente corresponde a menor preço.

Segundo McGregor (1960) apud Thomas et al. (2002), nossas crenças e atitudes podem, descuidadamente, afetar o comportamento dos outros (quer isso seja desejável ou não). Implementar um sistema que permite que a qualidade seja verificada por um terceiro agente (arquiteto, fiscal, auditor) transmite a mensagem aos trabalhadores de que eles não são confiáveis, de que a eles não pode ser dada nenhuma responsabilidade não podendo ser responsabilizados por seus

atos; ao passo que evidencia uma tentativa subconsciente de autopreservação por essas terceiras partes, mais elevadas na hierarquia. Isso bloqueia o processo de criação de uma equipe eficiente com trabalhadores habilitados e capazes.

Para Carvalho (2011), o maior obstáculo à aplicação dos princípios da transdisciplinaridade ou da efetiva integração/colaboração é a resistência à participação e ao envolvimento, em caráter de igualdade, de especialistas das diversas áreas. A contemporaneidade transforma as pessoas em consumidores de tempo, relegando cada minuto de suas vidas a uma atividade, não dando espaço para a reflexão e para a corresponsabilização de tarefas. A segregação entre gestores e trabalhadores define limites entre membros da equipe e reforça funções de gestão hierárquica (THOMAS et al., 2002): “seria difícil a criação de um ambiente menos útil para a capacitação dos trabalhadores e para o trabalho colaborativo em equipe”.

Sobre a influência da cultura da empresa na qualidade do produto, Thomas et al. (2002) realizaram um estudo de caso com treze organizações classificadas em quatro tipos de culturas: a Cultura dos Clãs, Cultura da Adocracia, Cultura da Hierarquia e a Cultura do Mercado. O estudo apontou que organizações que adotam a cultura do tipo “Clã” produzem resultados com maior qualidade entre todas as culturas. Equipes do tipo “Clã” trabalham com base na confiança e cooperação e têm consistentemente provido produtos com mais qualidade a custos mais baixos, ao contrário do modelo americano taylorista. Os funcionários são treinados a inovar nos seus processos utilizando técnicas analíticas e se comprometendo com o aprendizado contínuo.

Para Manzione et al. (2011), o trabalho colaborativo que envolva processos de criação é algo complexo. Nestes casos, colaborar significa compartilhar habilidades e responsabilidades o que, para os autores, é um comportamento difícil de se alcançar e manter. Para Grilo e Melhado (2004), a integração e cooperação entre os membros da equipe do empreendimento estão sujeitas ao caráter da relação pessoal entre eles. A distância física, as omissões de

responsabilidade, a falta de comunicação clara e objetiva, a falta de confiança e transparência desconstrói o ambiente propício para a fluidez das atividades.

Para Thomas et al. (2002) “a construção civil se beneficiaria pelo desenvolvimento de formas de gestão que criassem profundas relações ente os agentes. Uma cultura de projeto deve ser pensada para alinhar os objetivos da organização com os individuais de cada participante”.

2.4.1 Abordagens de gestão

Lean Construction

O termo *Lean Production* se refere à uma abordagem orgânica sobre todos os aspectos de uma empresa e representa a criação de valor para o usuário final pela confiabilidade no processo de produção e pela eliminação de todas as formas de desperdício. Para Jørgensen e Emmitt (2008), na transição dessa abordagem da manufatura para a construção, tornando-se *Lean Construction*, os desafios parecem girar em torno da aplicação prática num contexto diferente.

Aplicado com foco em processos de produção altamente padronizados e repetitivos para alcançar redução progressiva no tempo de entrega, alguns aspectos do *Lean Construction* constatados nas referências bibliográficas tornam-se pouco relevantes e transponíveis para a construção. A filosofia *Lean* desconsidera a importante influência de instituições políticas e sociais nas empresas e os procedimentos através dos quais a rede de fornecedores opera. A aplicabilidade do *Lean* parece estar sujeita a um contexto cultural e a importância desse contexto tem sido vastamente ignorada pela abordagem (JØRGENSEN; EMMITT, 2008). Enquanto a construção no terreno não é um processo automatizado, é natural que seres humanos, mais do que as máquinas e tecnologias, tenham o maior poder de influência sobre o resultado da construção (THOMAS et al., 2002).

Os conceitos de “valor” e “cliente/usuário” podem ser bastante complexos para a abordagem *Lean Construction*, onde todas as operações do processo produtivo são “clientes”. Ademais, o cliente/usuário final é múltiplo e raramente pode ser considerado de fato “final”, visto que geralmente as construções podem ter diferentes usuários ao longo de toda sua existência podendo ter, para cada um deles, mais ou menos valor. Apesar de haver clientes ao longo do processo produtivo, o conceito de valor seria definido apenas pelo cliente final se, novamente, houvesse um cliente final definido. Portanto, a filosofia *Lean* para a construção é apenas significativa na medida em que valor e desperdício são referenciados sob a perspectiva de todo o ciclo de vida da construção (JØRGENSEN; EMMITT, 2008).

Na abordagem *Lean*, o conceito de valor é limitado, consistindo apenas naquilo que o consumidor final percebe como representante de valor para si. Se o consumidor final não é algo determinável, nunca haverá de se encontrar o valor total para uma edificação. Dessa forma, qualquer processo de projeto se torna “desperdiçador”. Torna-se, portanto, apropriado se definir o que são os desperdícios no processo de projeto. No *Lean Construction*, o valor é largamente discutido no contexto do processo de projeto e não no edifício resultante (produto). Nesse processo específico ainda é possível considerar uma abordagem “lean” para o processo de projeção, o *Lean Design*. Nesse contexto, quando deslocadas das atividades de produção para o campo do projeto de arquitetura e complementares, questões de agregação de valor e redução do desperdício se tornam ainda mais complexas (JØRGENSEN; EMMITT, 2008).

Integrated Project Delivery

IPD ou *Integrated Project Delivery* é uma abordagem de projeto que integra pessoas, sistemas, estruturas de negócios e práticas em um processo que conecta simultaneamente os talentos e ideias de todos os agentes para reduzir desperdícios e otimizar a eficiência do processo por todas as fases do design, fabricação e construção. Um projeto integrado considera a estreita colaboração entre proprietário, projetistas e construtores, estimula o compartilhamento precoce

dos conhecimentos e experiências e demanda envolvimento proativo para a tomada de decisões. A adoção do IPD resulta em um projeto mais avançado em termos de coordenação e definições, previamente ao início da obra, permitindo que esta se realize de forma mais eficiente e em menor tempo. Em linhas gerais, a adoção do IPD resulta (ou resultaria) em um envolvimento mais intenso entre os elementos da equipe durante as fases iniciais de concepção (AIA, 2007).

2.4.2 O fenômeno da especialização

Segundo Fuks, Raposo e Gerosa (2003), ao trabalhar em grupo o indivíduo pode produzir melhores resultados do que se atuasse individualmente. Em um grupo pode ocorrer a complementação de capacidades, de conhecimentos e de esforços individuais, bem como a interação entre pessoas com entendimentos, pontos de vista e habilidades complementares. Ao expor e argumentar suas ideias para outros, os membros de um grupo podem identificar inconsistências e falhas em seus próprios raciocínios. Juntos, os membros podem buscar ideias, informações e referências para auxiliar na resolução de problemas. Um grupo também tem mais capacidade de gerar alternativas, levantar as vantagens e desvantagens de cada uma, selecionar as opções viáveis e tomar decisões. Não obstante todos os benefícios do trabalho em grupo, o que se observa atualmente é uma grande resistência à cultura da colaboração.

Para Carvalho (2011), o isolamento das especialidades, fragmentação inerente ao paradigma interdisciplinar e sua estrutura linear, não se adapta ao exigido pela realidade do mercado de trabalho e da própria existência moderna, de rapidíssimas mudanças de costumes e fazeres, onde os mais diversos fatores interagem. De acordo com Bruno (2011), o fenômeno da especialização tem suas origens no modelo desenvolvimentista criado pela Revolução Industrial. À época foram formatados sistemas de ensino – até hoje vigentes – voltados para a formação de especialistas para responder às “demandas do mercado”. Essas “demandas do mercado” são exatamente a expressão da atuação daquele modelo retrógrado definido pelos industriais há dois séculos atrás. Vale lembrar

que anteriormente à Revolução Industrial, há cerca de 500 anos atrás, a academia propiciava uma formação intelectual e técnica mais ampla e os que por ela passavam desenvolviam habilidades plurais.

Segundo Carvalho (2011), a compartimentalização da realidade induz à desumanização. A divisão social do trabalho, como efetuada nos dias de hoje, leva a uma alienação crescente, que acaba por criar indivíduos descompromissados com a realidade em que vivem, induzindo à apatia, consumismo, vícios, depressão, baixa produtividade, isolamento e irritabilidade. Na esfera da interdisciplinaridade, a fragmentação do saber permanece, levando à formação de indivíduos autocentrados, descompromissados com o seu entorno. De acordo com Manzione et al. (2011), a informação é o alicerce para o trabalho colaborativo. É preciso, portanto, a criação de processos administrativos e de gestão que ofereçam suporte ao intercâmbio de informações coerentes e relevantes.

Para Melhado (1999), a cultura de separação entre as atividades de projeto e execução de obra, bastante arraigada, é origem de uma perda sistemática do conhecimento pelas profissões de projeto. Cabe, portanto, o questionamento de toda e qualquer abordagem sobre o processo de projeto que contribua para a formação de profissionais com visão cada mais vez mais restrita a um único formato de empreendimento, ou a um único procedimento pertencente ao processo. É razoável afirmar que o fenômeno da especialização caminha em direção contrária à configuração do perfil do coordenador de projetos, partindo-se da premissa de que este profissional deve possuir, talvez mais do que conhecimentos técnicos sobre diferentes especialidades, a habilidade para visualizar o conjunto de atividades concomitantes que configuram o processo de projeto e ao mesmo tempo para discriminar cada uma delas no todo.

A existência de uma equipe multidisciplinar não garante integração entre as pessoas que a constituem. É possível, portanto, realizar um paralelo: a interdisciplinaridade *está para* a coordenação/concatenação, assim como a transdisciplinaridade *está para* a colaboração/integração. A interdisciplinaridade

procura reverter o problema da especialização buscando a integração pelo “filtro da coordenação”, que tem o papel de unificar o produto elaborado, seja físico ou intelectual. As disciplinas ou profissões, contudo, mantêm-se isoladas, retirando de seus próprios limites as inspirações para evolução. A interdisciplinaridade limita-se à negociação entre as especialidades, que conservam sua independência e isolamento. As partes do produto “integrado” se encaixam, mas a integração entre as especialidades não se processa (CARVALHO, 2011).

De acordo com Carvalho (2011), a transdisciplinaridade está na integração e permanente troca de experiências entre as diversas áreas de interesse humano. Na transdisciplinaridade, a coordenação continua sendo necessária, não como filtro que concatena produtos das especialidades, mas como agente garantidor da participação de todas elas por todo o processo. Para o autor, “a atuação transdisciplinar não se constitui em mais uma metodologia, mas em uma postura participante, comprometida e ética, comum em atividades triviais, mas muitas vezes esquecida no dia a dia profissional”.

2.4.3 A gestão do design

Segundo Manzione et al. (2011), a ineficiência dos processos de design correntes tem resultado no desenvolvimento de novos modelos de gestão. Tecnologias de design CAD poderiam ter elevado significativamente o nível de qualidade e eficiência dos modelos correntes, mas na prática isso não foi totalmente realizado. Além disso, tecnologias em si mesmas não conseguem resolver todos os problemas e o advento do BIM pode resultar num gargalo similar. Para uma definição precisa do problema a ser resolvido devemos começar entendendo quais são os principais gargalos correntes que ainda devem ser superados tanto pelas novas tecnologias quanto pelos modelos de gestão e o impacto do comportamento humano relativo a essas questões.

De acordo com Melhado (2003), o processo de produção da indústria da construção carrega um conjunto de especificidades que não são exatamente

gerenciáveis da mesma forma que a empresa construtora em si, em termos administrativos. Obviamente a integração dos processos e a comunicação entre os agentes envolvidos são indispensáveis às duas gestões. Aquelas especificidades dizem respeito a uma flexibilidade inerente ao processo do design do empreendimento: ao conceito de engenharia simultânea que envolve experimentação, simulação e lapidação. O foco não deve ser, como sugerem as certificações de sistemas de qualidade, na relação cliente-fornecedor e sim numa relação interna à empresa construtora que permeia a coordenação das atividades simultâneas dos agentes envolvidos (projetistas, advogados, publicitários, etc.) no que é produzido pela empresa. Ainda de acordo com o autor, é necessária a criação de estruturas ou modelos de *Project Management* (gestão do projeto) orientados ou adaptados ao *Design Management* (gestão do design), tendo em vista que o produto da construção civil é também consequência do design (entre outros aspectos envolvidos) e que o design é em si um dos subprodutos do empreendimento. O aspecto de “serviço” do design – e não apenas de etapa ou de um dos produtos do empreendimento – traz consigo a ideia da integração ou interseção dessa etapa com as anteriores e posteriores, de coleta de dados e de comunicação com a etapa de obra.

Não obstante à identificação dos conflitos e ao desenvolvimento de possíveis soluções no âmbito acadêmico, a dissociação entre design e obra permanece vigente na indústria da construção. Arantes et al. (2010) ressaltam que os projetos (design) ainda se restringem, na prática, a uma função basicamente burocrática ou legal e continuam sendo elaborados de maneira sequencial. Ainda segundo os autores, o forte “poder de negociação” que as empresas construtoras e incorporadoras (principais contratantes de projetos) têm sobre os escritórios de projetos, contribui para uma postura predatória por parte delas, que impõem o critério do preço como determinante em suas contratações. Nesse contexto, avanços nas práticas de projeto pelos escritórios são realizados apenas a partir de demandas das construtoras. De fato, tal espécie de relação não pode contribuir para avanços expressivos no desenvolvimento de práticas de projeto mais integradas e produtos com mais qualidade.

O esboço de um modelo de gestão que integre a gestão do design à gestão do empreendimento é, em si, tarefa muito complexa. A dissociação apresentada na bibliografia entre *Design Management* e *Project Management* é reflexo da complexidade de uma abordagem integrada em um contexto ainda carente de conceitos e definições sólidas. A forma com que são abordados sugere muitas vezes que *Design* e *Project* são processos independentes. Essa insistente dissociação se reflete na postura de baixa interação entre os profissionais gestores de empreendimentos (“gestores de projetos”, encontrados nos *Project Management Offices* – PMOs) e os escritórios internos ou externos de design (“escritórios de projeto”).

Tendo em vista que o principal negócio de uma construtora é a construção de edifícios, essa dissociação parece grave, em qualquer nível de intensidade. Em metodologias de gestão de projetos complexos, como o *Front End Loading* (FEL) a maturidade do design permite avaliar a viabilidade do empreendimento e em função desse aspecto, tomar decisões estratégicas. Isso reflete a proximidade essencial entre *Project* e *Design*, principalmente em projetos de capital. Assim, parece razoável afirmar que a gestão do processo de projeto do empreendimento deve envolver gestão do design (*Design Management*) e gestão do projeto (*Project Management*), de forma indissociável. Os processos de gestão do design, do empreendimento e da organização estão essencialmente atrelados. Na medida em que se aproximam essas gestões, estreita-se o espaço para o surgimento de projetos “bem gerenciados, porém com más soluções”.

Manzione et al. (2011) concluem sobre a falta de metodologia específica para os processos de design colaborativo com a adoção do BIM e reconhecem que essa adoção deve considerar práticas específicas do negócio da organização, mesmo que essas práticas sofram inevitavelmente mudanças ao longo ou logo após sua adoção. Birx (2006) afirma que assim que houver a propagação do uso do BIM na indústria da construção civil haverá mudanças culturais em diversos aspectos referentes ao projeto, processos construtivos, serviços, estrutura organizacional das empresas, entre outros.

Na tentativa de integrar essas abordagens, estudos têm sido desenvolvidos sobre a elaboração de modelos de gestão do design suportado por práticas de *Project Management*, como o GPPIE (Gerenciamento do Processo de Projeto Integrado de Edificações), desenvolvido por Romano (2006), o IDDS (*Integrated Design and Delivery Solutions*) citado por Prins e Owen (2010) ou ainda o modelo desenvolvido por Tavares Júnior (2001).

As práticas de projeto simultâneo suportadas por esses modelos são, por sua vez, suportadas por tecnologias de informação e comunicação. No IDDS, uma das áreas a ser mais profundamente estudada é o processo da colaboração, junto ao desenvolvimento de propostas que superem as várias barreiras culturais existentes que impedem o avanço de novos métodos de gestão. Para Davenport (1998), a elaboração de um modelo para o gerenciamento da informação depende dos interesses, dos problemas e do setor de cada organização.

2.5 A Informação

“Todo homem, por natureza, deseja conhecer”.

Aristóteles

O paradigma do *Lean Construction* discutido anteriormente estabelece o cliente/usuário como ator central, aquele que define o valor do produto. O foco dessa abordagem gira em torno de arquiteturas de sistemas de gestão e produção. Da mesma forma, o atendimento às demandas do usuário é objetivo principal em processos de gestão da informação. Os caminhos da informação se configuram no relacionamento interpessoal. Por esse motivo, a qualidade das relações pessoais influi diretamente nos processos de gestão da informação. Ou seja, aspectos humanos são determinantes para a configuração de um ambiente organizacional dinâmico e saudável. Dessa forma, torna-se necessária uma abordagem multidisciplinar e holística sobre o processo de projeto de edifícios, cujo objetivo seja compreendê-lo em toda sua complexidade. A pesquisa interdisciplinar é um modo de investigação científica que integra disciplinas para

resolver problemas cujas soluções estão fora do escopo de uma única disciplina (MENDES; BAX, 2013). Na interseção de diferentes paradigmas disciplinares se encontra o potencial de encarar antigos problemas a partir de novos pontos de vista e atacar os novos problemas munidos de abordagens inovadoras (CHUA; YANG, 2008).

Para Davenport (1998), comportamentos positivos como compartilhar informação e obter conhecimento duradouro a partir dela devem se tornar um objetivo administrativo básico. Entretanto, muitas organizações tentam criar um ambiente informacional onde haja ampla troca sem perceber que possuem um ambiente informacional feudal, onde os executivos de cada divisão esforçam-se para acumular e ocultar informações. O autor comenta ainda que as “pessoas são os melhores ‘meios’ para se identificar, categorizar, filtrar, interpretar e integrar a informação”, tarefas que o computador, segundo ele, ainda não é capaz de executar satisfatoriamente.

Segundo Winograd (1986) apud Manzione et al. (2011), enquanto trabalham cooperativamente, as pessoas realizam as seguintes ações: a) processamento de informações e tomada de decisões; b) cumprem suas funções de acordo com normas estabelecidas; c) criam e mantêm estruturas de autoridade; d) negociam e promovem competição de interesses; e) estabelecem relações pessoais expressadas através de suas atividades e f) agem através de linguagens.

De acordo com Choo (1998), o processo decisório e a escolha racional humana definem o comportamento de uma organização. Sendo limitada pela racionalidade humana, a decisão está sujeita às limitações mentais do indivíduo, dos conhecimentos e valores que possui. Escolher um curso de ação requer lidar com a ambiguidade e a incerteza. De forma semelhante, decisões sobre soluções de projeto ao longo do processo de concepção arquitetônica são frequentemente fruto da experimentação, de um processo de tentativa e erro, carregadas de subjetividade e satisfatórias até certo ponto (MALARD, 2004).

Aquele que toma decisões comporta-se de duas formas: procura um curso de ação suficientemente bom, em vez de buscar o melhor, que preencha critérios minimamente aceitáveis; simplifica o processo decisório atendo-se às rotinas da organização, elaboradas sobre repertórios que utilizam programas de desempenho que reduzem enormemente os requisitos cognitivos do processo decisório (CHOO, 1998).

Críticos às rotinas e procedimentos padronizados alegam que eles são responsáveis pela inércia das organizações. Rotinas muito rígidas podem impedir o aprendizado da organização, bloquear a criatividade e prejudicar a flexibilidade. Neste modelo de tomada de decisões, enquanto as premissas controlam o processo, elas restringem as maneiras pelas quais as pessoas percebem o mundo e são concebidas como objetos de controle, o que inibe radicalmente as soluções inovadoras. Quando inovam, as organizações criam informações e conhecimentos “de dentro para fora” (do ambiente interno para o externo), um fluxo contrário ao modelo de tomada de decisões tradicional, redefinindo o próprio ambiente organizacional (CHOO, 1998).

De acordo com Manzione et al. (2011) no modelo tradicional de elaboração do design, as pessoas desenvolvem suas atividades de acordo com um grupo de “procedimentos” especificados e desenvolvidos pela administração central, pertencentes a um fluxo de informações padronizadas, como uma forma eficiente de se alcançar determinados objetivos. Tal abordagem é tipicamente deficiente e falha na incorporação apropriada dos requisitos dinâmicos de um sistema complexo que envolve processos criativos. Sistemas computacionais que tentam rigidamente responder a esses padrões tendem a falhar por não considerarem as relações sociais informais que existem nas empresas e que não estão representadas no quadro formal da companhia. Essas interações informais que ocorrem nos ambientes de trabalho têm um papel essencial na condução das tarefas e processos de rotina (DAVENPORT, 1998) e sua importância deve ser considerada no estudo da otimização de processos colaborativos.

Segundo Guimarães e Amorim (2006), parte dos problemas relativos à comunicação decorre da dificuldade em lidar com a informação no ambiente organizacional. O intercâmbio informal de informações – informações não estruturadas – geralmente não é documentado, o que gera a perda da “rastreadabilidade” (possibilidade de recuperação) de informações sobre decisões tomadas, por exemplo, entre os projetistas. Segundo os autores, é impossível gerenciar informações se estas não forem devidamente registradas.

Entre cada um dos três níveis organizacionais (nível operacional, de sistemas e de planejamento/negócios) o grau de estruturação das decisões é variável. Geralmente, no nível de planejamento estratégico e de negócios das organizações, decisões relativas à logística são mais estruturadas do que aquelas relacionadas ao planejamento de atividades de pesquisa e desenvolvimento (BARBOSA; NASSIF, 2012). Sob o ponto de vista de Malard (2004) e Florio (2011), a atividade de concepção de projetos de edifícios pode ser considerada uma atividade muito semelhante às realizadas pelos setores de “pesquisa e desenvolvimento” de uma organização. Tendo em vista que cada produto da indústria da construção civil é um produto único, a atividade de concepção também envolverá ações de caráter analítico e exploratório, muito semelhantes às aquelas da investigação científica: estudos de viabilidade, simulações, verificações, etc. O grau de estruturação das decisões no contexto de uma atividade de caráter experimental é baixo justamente pela grande susceptibilidade de alteração dessas decisões.

Nesse contexto, as tecnologias da informação devem buscar oferecer suporte adequado à operacionalização de uma cultura de projeto integrado e colaborativo nas organizações, o que não significa enrijecer ou padronizar seus processos necessariamente. De acordo com Davenport (1998), “os melhores ambientes informacionais não automatizam o papel do homem”. Pelo contrário, esses ambientes devem garantir a livre expressão do potencial criativo e das habilidades cognitivas do usuário. Sem uma clara compreensão dos processos organizacionais e humanos pelos quais a informação se transforma em percepção, conhecimento e ação, as empresas não são capazes de perceber a

importância de suas fontes e tecnologias de informação (CHOO, 1998). Para Davenport (1998) algumas aplicações em TI podem limitar o pensamento criativo sobre como a informação pode ser montada e estruturada. Em um ambiente informacional (o ambiente pelo qual a informação transita), a facilidade do entendimento e da comunicação sempre deve ser mais importante que o detalhe e a precisão dessa informação.

Para Miranda (2006), a capacidade cognitiva e emocional do indivíduo, assim como os atributos que estabelecem a pertinência de uma informação em determinado contexto, são critérios para as atividades de obtenção e utilização da informação. Por isso, a percepção sobre o que constitui solução para um dado problema pode variar entre pessoas e grupos de pessoas, enquanto essa percepção é fruto de educação, experiência e preferência pessoal. Dessa forma, determinar a relevância ou a pertinência de uma informação é atitude subjetiva e situacional.

Uma vez que o conhecimento pode ser entendido como informação em um determinado contexto, a representação do conhecimento dependerá do conteúdo e do contexto no qual esta informação se insere. Dessa forma, uma ferramenta eficaz de suporte ao processo de projeto deve ter a habilidade de não apenas coletar, armazenar e distribuir conhecimento adequadamente mas também de representá-lo devidamente, para que sirva como recurso relevante naquele contexto específico (CHANDRASEGARAN et al., 2013). Nessa direção, o design (enquanto conjunto de representações gráficas) nunca foi uma forma completamente eficiente de comunicação ou de tradução da informação. Segundo Thomaz (2001), no Brasil, muitos profissionais e empreendedores ainda o entendem como um conjunto de pranchas ricas em símbolos, legendas e abreviações que às vezes apenas o projetista entende.

É possível entender o processo de projeto como um processo informacional na medida em que o primeiro se trata fundamentalmente de um processo de transformação da informação: informação (demandas do usuário) > projeção > informação (projeto do edifício). Para Davenport (1998), processos informacionais

são todas as atividades exercidas por quem trabalha com a informação. Portanto, podemos considerar grande parte das atividades exercidas pelos projetistas como processos informacionais que, como qualquer outro, carecem ser gerenciados. Ainda segundo o autor, para o aperfeiçoamento de qualquer atividade é preciso que seja abordada como um processo e que este seja minuciosamente descrito e detalhado.

Nesse sentido, a gestão do processo de projeto é muito semelhante à gestão da informação. Ambos requerem, inclusive, a existência de uma figura coordenadora. No gerenciamento da informação ela é o “gerente da informação” e na gestão do processo de projeto, o “coordenador de projetos”. Além disso, concentrar o foco nas necessidades e na satisfação dos clientes (finais ou intermediários) torna ambas as atividades mais eficientes.

Integrar saberes dispersos e especializados exige, além do emprego de tecnologias de informação e gestão, o conhecimento sobre o comportamento da informação em determinado ambiente organizacional. A partir desse conhecimento é que se poderá criar modelos eficientes de gestão da informação (ou de gerenciamento do processo de projeto) que sejam coerentes com o contexto, cultura e aspectos humanos inerentes à atividade. Da mesma forma que sistemas de informação são criados a partir de demandas organizacionais, sistemas de gestão do processo de projeto devem ser criados a partir de uma realidade estabelecida em determinada organização. Davenport (1998) estabelece a “arquitetura da informação” como um guia para estruturar e localizar a informação dentro de uma organização, podendo ser descritiva (envolvendo um mapa do ambiente informacional no presente) ou determinista (oferecendo um modelo do ambiente em alguma época futura). Vale ressaltar que a imprevisibilidade sobre os ambientes informacionais impacta diretamente os modelos de gestão do processo de projeto, tornando qualquer arquitetura determinista obsoleta com o passar do tempo.

Segundo Manzione et al. (2011), a articulação do trabalho colaborativo requer um largo número de atividades intermediárias, mediação e controle de indivíduos,

definição dos critérios de tempo e qualidade e descrição precisa do que precisa ser feito. Em uma linha de produção semi-estruturada, as atividades também consideram a incerteza e a interatividade, tornando-as ainda mais difíceis de serem planejadas e fazendo do processo de coordenação um esforço contínuo de negociação e renegociação entre os agentes.

Nenhum administrador é capaz de planejar todos os eventos de um ambiente informacional. Planos altamente detalhados, oriundos de arquiteturas deterministas, tendem a inibir comunicações sobre mudanças no ciclo da informação. Davenport (1998) afirma que a maioria dos gerentes de TI reconhece que os ambientes informacionais estão sempre mudando e já sabe que a abordagem tradicional de modelagem e desenvolvimento de sistemas pode facilmente tornar-se obsoleta antes de ser finalizada. Ao desenvolver novos sistemas baseados em computadores, os tecnólogos da informação percebem que nunca conseguem prever o que estará acontecendo em três ou quatro anos. Daí a efemeridade dos modelos de gestão do processo de projeto. Por um movimento iniciado pela introdução de novos formatos digitais de informações, é possível observar a dificuldade que surge em lidar com eles e em como gerenciá-los no ciclo da informação. O surgimento do formato IFC (*Industry Foundation Classes*) de arquivos digitais de softwares BIM (assunto a ser abordado posteriormente) convoca para uma nova forma de se pensar o intercâmbio de informações e a gestão desse processo, diferente de quando um arquivo não podia ser lido por determinados clientes (consumidores da informação).

Segundo Davenport (1998), trabalhar em diversas dimensões significa considerar disciplinas como sociologia, psicologia e estratégia de negócios. Muitas organizações já começaram a integrar a administração de diversos tipos de informação: computadorizada e não computadorizada, estruturada e não estruturada, via texto, áudio, vídeo. Essa integração tem sido impulsionada não apenas pelas novas tecnologias da informação, mas também pela necessidade de se melhorar o aproveitamento de formas pouco convencionais de informação. Ainda assim, a verdadeira integração não ocorrerá sem maiores mudanças nas estruturas organizacionais das empresas (THOMAS et al., 2002).

2.5.1 Conhecimento tácito e explícito

O conhecimento é um recurso que um ser dotado de inteligência possui e utiliza para a resolução de problemas. Portanto, conhecimento é algo que depende de fatores pessoais e do contexto em que se insere. O que é conhecimento para uma pessoa, pode não ter significado algum para outra. Para Chandrasegaran et al. (2013), as pesquisas no campo dos processos produtivos deveriam focar na investigação da transformação de conhecimentos tácitos e explícitos, dentro de um modelo de gestão que considerasse estes conhecimentos como recursos em aplicações práticas. Prins e Owen (2010) consideram que ferramentas de TI devem oferecer maior capacidade de compartilhamento de conhecimentos ao invés de apenas permitirem a troca e o armazenamento de dados e informações.

Choo (1998), fazendo referência ao que disseram Nonaka e Takeuchi (1997), afirma que a principal razão do sucesso das empresas japonesas é sua competência na construção do conhecimento organizacional. Para o autor, isso se estabelece quando se reconhece o relacionamento sinérgico entre conhecimento tácito e conhecimento explícito. O primeiro se refere ao conhecimento individual, próprio da pessoa, que é difícil de formalizar ou comunicar a outros. É constituído do *know-how* subjetivo, dos *insights* e intuições. O conhecimento explícito se refere ao conhecimento formal, que é fácil de se transmitir entre indivíduos e grupos, frequentemente codificado em regras, especificações, manuais de boas práticas, etc. Os dois tipos de conhecimento são complementares. Enquanto o conhecimento tácito permanecer isolado no indivíduo, terá pouco valor para a organização. Ao mesmo tempo, o conhecimento explícito não surge espontaneamente, mas é cultivado a partir do tácito. As organizações japonesas reconhecem no conhecimento tácito uma fonte de vantagem competitiva e de inovação.

Sob o ponto de vista da teoria cognitiva e da relação entre o conhecimento tácito e explícito, Florio (2011) propõe procedimentos que possibilitam a conversão do conhecimento tácito em explícito no âmbito da produção arquitetônica. Basicamente, esses procedimentos se baseiam no processo de exposição dos

argumentos sobre as decisões projetuais, de reflexão sobre a prática, algo que exige um grande esforço mental do projetista.

Choo (1998) apresenta as quatro formas de conversão do conhecimento propostas por Nonaka e Takeuchi (1997), ilustradas na Figura 2.1, que são: socialização, externalização, combinação e internalização. Socialização é o processo pelo qual se adquire conhecimento tácito compartilhando experiências. Externalização é o processo pelo qual o conhecimento tácito é traduzido em conhecimento explícito pela utilização de modelos, analogias e linguagem estruturada. É provocada pelo diálogo e pela reflexão coletiva e ocorre principalmente durante a fase de criação de um conceito no desenvolvimento de um novo produto. Combinação é o processo de pelo qual se constrói conhecimento explícito reunindo conhecimentos também explícitos de fontes variadas: memorandos, relatórios, manuais, banco de dados, etc. Internalização é o processo pelo qual o conhecimento explícito é incorporado ao conhecimento tácito. As experiências adquiridas e formalizadas são internalizadas pelos indivíduos na forma de modelos mentais. Nesse processo, é como se os indivíduos revivessem indiretamente a experiência de outros (CHOO, 1998).

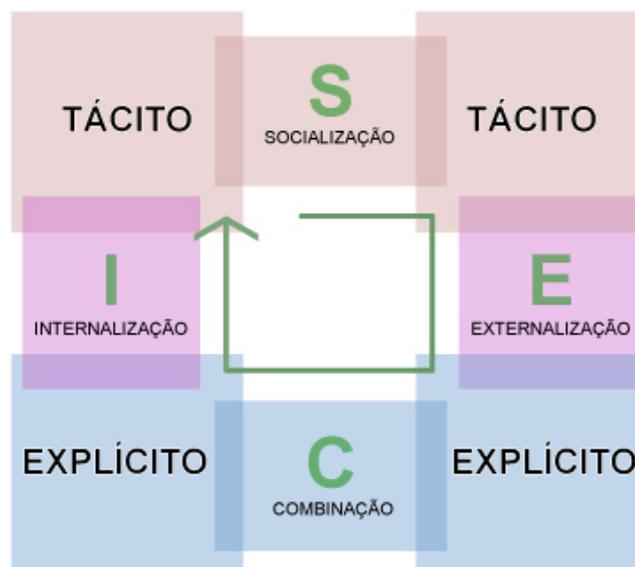


Figura 2.1 – Os processos de conversão do conhecimento. Adaptado de Choo (1998).

De acordo com o modelo SECI (socialização, externalização, combinação e internalização), o processo de conversão do conhecimento organizacional começa sempre com os indivíduos que tem algum *insight* ou intuição sobre uma possível otimização, sobre algo novo a ser colocado em prática. Todos esses processos de busca e uso da informação são dinâmicos, não lineares e socialmente desordenados, que se desdobram em camadas de contingências cognitivas, emocionais e situacionais. O contexto em que a informação é usada determina de que maneiras e em que medida ela é útil (CHOO, 1998).

Conhecimentos e experiências geralmente se encontram dispersos pela organização e se concentram em geral em determinados indivíduos ou unidades de trabalho. Em uma organização, o conhecimento reside na mente dos indivíduos e precisa ser convertido em conhecimento compartilhado para se transformar em inovação. De acordo com o autor, a conversão do *know-how* tácito em conhecimento explícito, que é utilizado no projeto de novos produtos, é processo fundamental e estratégico. A externalização do conhecimento tácito requer um salto mental e quase sempre envolve o uso criativo de metáforas e analogias.

No âmbito do processo de concepção de projetos, segundo Florio (2011), pela experimentação é possível a aquisição de expertise, ou do *know-how*. Daí a importância que é dada à experimentação no ensino das disciplinas de projeto de arquitetura. A experimentação permite aprender fazendo – “reflexão-na-ação” (SCHÖN, 2000) –, promovendo um conhecimento duradouro. As teorias sobre arquitetura só podem ser plenamente absorvidas por meio da experiência prática: adquirem significado quando incorporadas à experimentação. Não obstante, ainda segundo Florio (2011), muitas das ações desenvolvidas na prática não podem ser claramente anunciadas e explicadas racionalmente. Ações estas motivadas pelo conhecimento tácito, aquele conhecimento de caráter procedimental e que reside muitas vezes no âmbito da subjetividade. Reflexão-na-ação (SCHÖN, 2000) significa pensar e fazer simultaneamente: uma alternância indissociável entre conhecimento tácito e explícito.

2.6 Tecnologias da Informação e Comunicação

“The purpose of computing is insight, not numbers”.

Richard Hamming, 1962.

De acordo com Barrett e Lee (2005), as novas formas de colaboração criadas a partir de técnicas de gestão inovadoras que consideram o potencial criativo de todos os agentes envolvidos no processo de projeto contribuem para o incremento da qualidade dos edifícios. Entre essas novas formas de colaboração estão aquelas que envolvem a adoção de tecnologias da informação e comunicação. Agregar qualidade pela otimização do processo de projeto através do emprego de tecnologias da informação significa incrementar o valor da construção na medida em que representa avanços para a produtividade.

A abordagem CSCW vai de encontro a essa temática. Segundo Grudin (1994), *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* é o conceito de uma cultura de cooperação entre indivíduos através de sistemas de informação multiusuários que subsidiem a articulação e o compartilhamento de tarefas e de um ambiente informacional. Um *groupware* é um aplicativo ou sistema computacional que oferece suporte ao trabalho cooperativo, prestando assistência a grupos de pessoas engajadas em uma tarefa comum, providenciando uma interface com um ambiente compartilhado. Nesse contexto, Manzione et al. (2011) defendem que um ambiente de informação compartilhado precisa ser altamente transparente e limpo, implicando na necessidade de pesquisas mais profundas em questões como autoria, propriedade, origem, estratégias e responsabilidades sobre a produção e a propagação das informações.

A complexidade cada vez maior dos produtos da indústria da construção civil requisita a participação de um número cada vez maior de profissionais de diversas especialidades. Esse contingente de profissionais, por sua vez, precisa ser orquestrado de forma a estabelecer não apenas a interação, mas a integração de suas atividades ou ainda, sob o ponto de vista da Ciência da Informação, a integração dos processos informacionais realizados por cada um. De acordo com

Dias (2002), a otimização do acesso à informação é o objetivo principal dos estudos na área da Ciência da Informação. Segundo o autor, o acesso eficiente pressupõe que as informações sejam organizadas por meio de sistemas de informação (SI) e de recuperação da informação (SRI). Saracevic (1999) afirma que “a Ciência da Informação está inexoravelmente ligada à Tecnologia da Informação”, reconhecendo a importância da computação para a aplicabilidade da Ciência da Informação. Esse contexto conduz ao estudo e desenvolvimento de ferramentas computacionais específicas para os processos informacionais da indústria da construção civil (CRESPO; RUSCHEL, 2007).

Para Silva e Novaes (2008), os procedimentos envolvidos no processo de projeto devem ser submetidos à sistematização. Para isso, sistemas computacionais de gerenciamento de informações são necessários, tais como: sistemas operacionais em rede, sistemas de comunicação em grupo, de armazenamento e segurança de dados, aplicativos de planejamento, aplicativos específicos de projeto, internet e extranets (ambientes de colaboração).

Segundo Turban (2003), o sistema de informação é um conjunto de componentes relacionados entre si que coleta, processa, armazena, analisa e dissemina a informação, com um propósito específico para determinados usuários. Para Mendes e Bax (2013), os sistemas de informação abrangem entrada, processamento e saída de informações, com o objetivo de realizar processos de comunicação.

Sistemas de informação são criados a partir de demandas específicas de uma organização ou de um negócio (DAVENPORT, 1998). Portanto, torna-se imprescindível que os profissionais envolvidos no processo de projeto participem também do desenvolvimento e otimização dos recursos tecnológicos de informação, enquanto usuários e principais interessados nos avanços das tecnologias de suporte ao projeto.

Thomaz (2001) discorre sobre os “sistemas neurais” (sistemas computacionais de informação) como uma espécie de tecnologia precursora da Modelagem da

Informação da Construção (BIM – *Building Information Modeling*), onde cada procedimento do processo de projeto seria submetido ao crivo de informações armazenadas sobre processamentos anteriores (bases de dados, de conhecimento tecnológico e experimental), coletadas por retroalimentação. Esse conjunto de informações, segundo o autor, seria capaz de auxiliar a validação das decisões de projeto, ou seja, serviria como referencial para a análise crítica. Não obstante, ele afirma também que esses sistemas neurais sempre dependeriam da atuação do homem para serem operados.

A partir da observação da evolução das ferramentas digitais, já no ano de 2001, Thomaz (2001) antevê com exatidão o futuro que se configurava para a atividade de compatibilização: “num futuro próximo, a alimentação de uma máquina com os diferentes projetos, elaborados na mesma linguagem por diferentes projetistas, em diferentes locais, possibilitará a visualização quase que imediata das incompatibilidades e interferências entre os distintos projetos (...). Neste dia, em poucas reuniões entre os projetistas, construtores e eventuais consultores, todos os problemas do projeto poderão ser solucionados, possibilitando ainda a cada ator o maior conhecimento global da construção. O homem, todavia, como orquestrador do aparato tecnológico, jamais será substituído”.

Nesse discurso, o autor aponta uma das contribuições mais expressivas dos softwares BIM ao processo de projeto de edifícios nos dias de hoje: a otimização da atividade de compatibilização. Observa-se que com o aumento da utilização dos softwares BIM entre os projetistas das diversas especialidades, acompanhado da evolução dos aspectos de interoperabilidade entre os sistemas, as tradicionais reuniões de coordenação técnica caminham para uma remodelação, na medida em que a compatibilização dos projetos for se tornando desnecessária. Surge então, a necessidade de uma abordagem sobre a atividade de coordenação técnica que considere as transformações que surgem no processo de projeto, mais especificamente no processo de design, a partir da adoção de sistemas informatizados que caminham para a interoperabilidade.

Os sistemas CAD evoluíram para os sistemas BIM, os quais não se restringem apenas à representação geométrica do projeto (modelagem de sólidos e detalhamentos bidimensionais), mas são capazes de suportar dados mais ricos e complexos associados ao produto. Em geral estes sistemas também acomodam recursos para simulações avançadas e para a gestão do ciclo de vida do produto. Eles integraram diversos aspectos do processo de projeto em ferramentas mais concisas (CHANDRASEGARAN et al., 2013). Tavares Júnior (2001) acredita que a Modelagem da Informação da Construção de forma colaborativa entre as diversas disciplinas envolvidas no ciclo de vida do projeto da construção é de fundamental importância para a integração do processo e gerenciamento da informação na construção civil.

De acordo com Manzione et al. (2011), para a recíproca adaptação entre tecnologia e organização é necessário entender as interações complexas entre a natureza técnica de sistemas multiusuários e a organização dos trabalhos, o que requer uma abordagem técnica-social para implementação bem sucedida de sistemas de trabalho colaborativo.

Owen et al. (2010) comentam que inovações como BIM e IPD têm sido desenvolvidas de forma isolada e sem a devida consideração das relações globais entre pessoas, processos e tecnologias. Segundo os autores as quatro maiores questões a serem resolvidas são: a) processos colaborativos por todas as fases do projeto; b) incremento das habilidades; c) informação integrada e automação dos sistemas e d) gestão da informação e do conhecimento.

Barbosa e Nassif (2012) realizaram um estudo sobre as práticas concernentes ao uso de tecnologias da informação em contextos organizacionais, categorizando-as em quatro grupos: a) práticas de TI para apoio gerencial; b) práticas de TI para apoio à inovação; c) práticas de TI para apoio aos processos de negócios e d) práticas de TI para apoio operacional. Os resultados indicaram que as tecnologias da informação nas organizações estudadas são mais utilizadas para apoio aos processos de negócios e operacionais do que para apoio gerencial e menos ainda

para apoio à inovação (“acelerar a introdução de novos produtos e serviços” e “facilitar a criatividade e exploração de ideias”).

Em paralelo à divulgação do conceito sobre qualidade na década de 90 e às discussões da sua implementação no setor da construção, foram desenvolvidas ferramentas computacionais com o propósito de contribuir para a melhoria da qualidade dos projetos de edificações. Segundo Andery (2003), o sucesso da implantação de sistemas de gestão da qualidade baseados na norma ISO 9001 em empresas de projeto depende de quatro elementos essenciais, entre eles, a utilização de tecnologias da informação.

Nascimento e Santos (2002) apontam barreiras para o uso de tecnologias da informação e comunicação pela indústria brasileira da construção civil: falta de padrões na comunicação, métodos de gestão ultrapassados, pouco investimento financeiro, estruturas curriculares acadêmicas com pouca ênfase nas aplicações de TI, entre outras. A facilidade oferecida por ferramentas digitais cada vez mais inteligentes para representação e dimensionamento detalhado dos edifícios evidencia a importância da qualidade da formação profissional acadêmica e da experiência do projetista.

Nessa direção, entender os aspectos cognitivos envolvidos no processo pelo qual o projetista guarda e manipula informações visuais durante a concepção do produto proveria o conhecimento que poderia auxiliar no desenvolvimento de ferramentas computacionais voltadas aos estágios iniciais de concepção. Estudos sobre a linguagem de representação do projeto, no processo criativo de geração de ideias, também podem ajudar no desenvolvimento de uma representação do conhecimento apropriada à etapa de concepção. A representação gráfica talvez seja a mais adequada em termos de flexibilidade de alteração, concisão e fácil detecção de falhas. A tendência é a criação e o desenvolvimento de modelos precisos que oferecerão a possibilidade de mais *insights* no processo criativo. Os sistemas CAD devem passar a oferecer aos projetistas a criação de melhores soluções, ao invés de limitar suas possibilidades de pensar sobre o projeto (CHANDRASEGARAN et al., 2013).

Com relação às tendências evolutivas das tecnologias digitais de suporte aos processos da indústria da construção civil, nota-se uma concentração no desenvolvimento de ferramentas para compartilhamento de designs (2D e 3D), edição de arquivos de desenho usando o web browser, visualização interativa de dados do projeto permitindo revisão por múltiplos usuários e sistemas operacionais, desenvolvimento de sistemas de interface para uso com ferramentas de projeto (interação humano-computador) e uso da nuvem computacional para compartilhamento e processamento da informação (RUSCHEL; HARRIS; BERNARDI, 2011).

Vale ressaltar que enquanto existe um número razoável de ferramentas destinadas aos estágios finais do projeto, como os de detalhamento e orçamentação, existem relativamente poucas ferramentas de suporte à etapa do projeto conceitual, à geração de ideias. Este fator reduz a capacidade do projetista em manipular, representar e utilizar dados de projeto nestes estágios, limitando-o ao seu conhecimento prévio e às suas próprias experiências. Os conhecimentos sobre os requisitos e condicionantes do projeto disponíveis na fase conceitual são geralmente imprecisos e incompletos. Historicamente, as ferramentas destinadas às etapas finais da projeção foram as que primeiro surgiram, tendo suas origens na década de 1960. A maior parte delas surgiu de uma necessidade latente da época e encontrou aplicação imediata na indústria. As ferramentas destinadas ao projeto conceitual (ou à concepção) são mais recentes e surgiram a partir de 1995. É interessante observar como as ferramentas de croquis digitais são ainda mais recentes, o que demonstra um reconhecimento da importância dessa forma de conhecimento desestruturado no processo de projeto. Muitas ferramentas de CAD vêm sendo continuamente modificadas a fim de incorporar recursos para o desenvolvimento de projetos conceituais (CHANDRASEGARAN et al., 2013).

Celani (2002) chama atenção para o termo “computação” que deve ser entendido como um processo inteligente de geração de soluções e não apenas de registro de representações gráficas ou de informações parametrizadas. Nesse contexto, a

autora afirma que o uso da computação no processo de projeto de arquitetura ainda é muito limitado, embora a sua utilização esteja cada mais presente nas etapas de esquematização, modelagem e implementação de projetos.

Malard, Rhodes e Roberts (1997) apontam para a grande contribuição da modelagem tridimensional que, no seu nível mais básico de utilização, funciona como uma ferramenta rápida de visualização de ideias, permitindo ao projetista explorar sua imaginação de modo mais preciso e eficiente do que é possível com desenhos bidimensionais ou maquetes físicas, dado o rápido *feedback* que proporciona. Ainda segundo os autores, o desafio das ferramentas digitais é auxiliar na criação de novas ideias projetuais, não apenas como anteparo para representação, mas como inteligência artificial capaz de interpretar dados (das dimensões técnica, simbólica e funcional), sugerir soluções e traçar caminhos no processo de concepção.

Brady (1997) aprofunda o raciocínio de Malard, Rhodes e Roberts (1997) sobre a importância e eficácia das maquetes virtuais. Segundo a autora, é essencial que a tecnologia computacional utilizada no processo de representação do projeto permita a consideração da natureza dinâmica e quadridimensional da arquitetura. Nesse sentido, as animações tridimensionais são capazes de expressar a relação entre o indivíduo e o espaço através do movimento no tempo. Pela exploração de animações se dá a compreensão das questões inerentes ao projeto (funcionais, técnicas, etc.) como experiência da realidade pretendida. Para criarem essa “metáfora virtual da realidade intencionada” as aplicações computacionais se baseiam na relação entre expressão visual e percepção: “a visualização de uma ideia como forma e a representação da forma como experiência” (BRADY, 1997).

Conceitos e métodos computacionais aplicáveis ao processo de projeto requerem que este seja descrito de maneira lógica e ordenada. A partir dessa crença, Celani (2002) considera importante o desenvolvimento de algoritmos matemáticos que, aplicados aos sistemas de informação, racionalizem o processo de criação e de geração de soluções de projeto. Por outro lado, segundo Malard (2004), talvez não exista uma metodologia para o processo de concepção, não sendo possível

sistematizá-lo. A autora considera a subjetividade e a ambiguidade como elementos inerentes e fundamentais ao processo criativo. De acordo com Chandrasegaran et al. (2013), todas as tentativas de racionalização do processo de concepção a partir da criação de uma base de dados para que o processo pudesse ser "repetido" não foram bem sucedidas. Todas elas se baseavam na captura e registro de todos os procedimentos do projetista ao longo do processo da projeção a fim de se encontrar padrões reutilizáveis.

Diferentes modelos de representação do conhecimento utilizados no processo de projeto demonstram a diversidade dos tipos de conhecimento nessa atividade. Desde as mais básicas formas de representação, como modelos baseados em ontologias, até modelos multidisciplinares utilizados para representar objetos virtualmente, todos eles procuram capturar e representar diferentes aspectos do projeto do produto, nos diferentes estágios do processo e através de diferentes equipes de projetistas. Talvez não exista um único modelo unificado que capture e gerencie todas as informações do processo de projeto. A resposta pode estar na direção do uso de sistemas múltiplos interoperáveis (CHANDRASEGARAN et al., 2013).

O estabelecimento de ferramentas computacionais centradas no usuário requer um melhor entendimento do funcionamento do processo cognitivo dos projetistas, de forma que a transformação dos seus pensamentos em representação gráfica capture e expresse o conhecimento efetivamente. Técnicas de representação do conhecimento geralmente envolvem técnicas centradas no computador, de forma que esse conhecimento possa ser entendido, armazenado, organizado e gerenciado pela máquina. Por outro lado, as técnicas centradas no ser humano são capazes de otimizar a criatividade do projetista. O desafio reside na criação e adoção de representações eficientes em ambos os casos, integrando os métodos de especificações formais (como as ontologias) aos métodos gráficos e visuais (CHANDRASEGARAN et al., 2013).

2.6.1 Ambientes de colaboração

Ambientes de Colaboração, Ambientes Colaborativos ou Extranets são ambientes virtuais que funcionam como instrumento de apoio à coordenação oferecendo uma plataforma para o gerenciamento do fluxo de dados, documentos e arquivos eletrônicos previamente formatados. Segundo Monasterio et al. (2004), a utilização de aplicações como os Ambientes de Colaboração resultantes do avanço tecnológico proporcionado pelo advento da internet, é considerada um fator importante para a obtenção da melhoria da qualidade em projeto. Ainda segundo os autores, embora o Ambiente de Colaboração seja uma ferramenta com grande potencial para levar qualidade ao processo de projeto, atendendo aos requisitos da NBR ISO 9001, essa ferramenta exige que os usuários compreendam e incorporem uma nova forma de trabalho para explorar ao máximo suas potencialidades.

A utilização de Ambientes de Colaboração exige um processo de assimilação dessa nova tecnologia, que envolve fatores técnicos e comportamentais. Os fatores técnicos estão ligados ao domínio das funcionalidades da aplicação. Os fatores comportamentais estão ligados à postura dentro desses ambientes (forma de expressão escrita, interpretação, compreensão das discussões e notificações) e às rotinas que os usuários destes ambientes devem desenvolver (padronizações, acessos constantes, respostas rápidas, etc.).

2.6.2 Building information modeling

A partir da discussão sobre a informação envolvida no processo de projeto e sobre as tecnologias emergentes de suporte ao seu processamento, é importante considerar o que afirmam Scheer et al. (2007). Segundo os autores, o principal objetivo da última geração dessas ferramentas digitais, considerada a geração da “modelagem do produto”, é a conjunção de dois grupos de informações: as geométricas, que dizem respeito às características espaciais do produto e as não geométricas, onde se incluem atributos associados às primeiras.

Segundo Souza, Amorim e Lyrio (2009), o conceito de modelagem do produto ganhou força no final da década de 70 do século passado, diante das inúmeras mudanças econômicas, com a globalização dos mercados e o aumento das pressões sobre as empresas. Na busca por melhorias dos processos, tornou-se essencial uma abordagem integrada dos diferentes aspectos relacionados ao produto, a fim de se atingir um mercado cada vez mais exigente quanto a prazos, qualidade e custos. A modelagem do produto surge então como uma importante ferramenta auxiliando na concepção, validação e construção do produto, garantindo o aumento da produtividade e a sobrevivência dos negócios.

No contexto da construção civil, o aumento da complexidade dos processos acarretou a necessidade de inserção de uma mentalidade industrial, buscando a aplicação de soluções adotadas na indústria da manufatura. Neste sentido, a ideia de modelagem do produto deu origem ao conceito BIM como uma modelagem que busca integrar todos os processos relacionados à construção da edificação (SOUZA; AMORIM; LYRIO, 2009).

Na geração de modelagem do produto se incluem as ferramentas BIM: softwares de Modelagem da Informação da Construção. Softwares BIM são sistemas de informação digitais de apoio ao processo de projeto integrado de edifícios, onde os componentes do edifício são representados por elementos virtuais tridimensionais, de maneira que a esses elementos seja possível associar informações ou parâmetros além daqueles que se referem à forma do objeto representado. Por exemplo, um objeto parede, é um objeto que se comporta como uma parede real e possui dimensões como comprimento, largura e altura, visualizáveis concomitantemente. Dizer que um modelo BIM é parametrizado, significa dizer que a cada elemento é atribuído um conjunto de parâmetros – além das suas três dimensões – que o descreve com maiores detalhes, como por exemplo: materiais, fabricantes, custo de produção e outras especificações.

Segundo Crespo e Ruschel (2007), o principal benefício do modelo BIM surge da possibilidade de se utilizar um único modelo digital que integra os projetos

arquitetônicos e complementares, capaz de suportar todos os aspectos do ciclo de vida do projeto da construção. De acordo com Freitas e Ruschel (2010), os modelos geométricos digitais substituem cada vez mais as maquetes físicas no processo de projeto, apesar de ainda serem adotadas para apresentação de projetos e em simulações analíticas de insolação e ventilação.

Segundo Barrett e Lee (2005), o custo da perda de informações ao longo do ciclo de vida do projeto ainda é muito alto, sendo parte dele atribuída à falta de interoperabilidade entre os sistemas de informação. Segundo Crespo e Ruschel (2007), a interoperabilidade entre sistemas ocorre quando cada sistema reconhece o formato e a linguagem do sistema com o qual troca informações. A interoperabilidade elimina a necessidade de se replicar dados de entrada que já tenham sido gerados e facilita o fluxo de informações entre diferentes aplicativos.

Manzione et al. (2011), se referenciando ao que foi dito por Rekola e Kojima et al. (2010) e Moum e Koch et al. (2009), indicam que as empresas precisam desenvolver interoperabilidade nos seus processos de negócios para perceberem os benefícios da tecnologia BIM, incluindo sua aplicação entre organizações, o que requer mudanças que vão além da adoção de uma nova tecnologia. Os autores afirmam ainda que, de acordo com Rekola e Kojima et al. (2010), há pouco entendimento sobre como fluxos de trabalho e práticas de negócios podem ser otimizados pela interoperabilidade para obtenção dos benefícios do BIM nos processos da indústria da construção civil. O Instituto Americano de Arquitetos identificou a falta de entendimento dos membros da indústria em como obter a integração dos fluxos de trabalho através de uma tecnologia integrada como obstáculo número um para o uso da interoperabilidade (AIA, 2007).

De acordo com Andrade e Ruschel (2009), um dos obstáculos para a disseminação de sistemas BIM está na falta de entendimento destes pelos profissionais da indústria da construção civil. O BIM, enquanto novo paradigma de prática projetual, envolve a colaboração e comunicação entre os diversos agentes. As autoras observam que poucas empresas e profissionais que utilizam a ferramenta BIM buscam a padronização e a colaboração efetivas. Os

profissionais utilizam softwares BIM como ferramentas de CAD melhoradas, sem alterar seus processos de trabalho. Para Manzione et al. (2011), o BIM pode ser considerado uma revolução do trabalho colaborativo porque proporciona mudanças em como e quando os agentes colaboram e na base contratual sobre a qual trabalham.

Os aspectos legais relacionados ao BIM merecem destaque e é preciso que se busque soluções legais para a atribuição do pertencimento do modelo e da responsabilidade na exatidão do conteúdo de informações. A constante atualização do modelo, mesmo durante a construção e posteriormente durante o uso do edifício, torna necessária a formulação de contratos que garantam os direitos autorais dos projetistas, mas que permitam a inserção de novas informações e o acesso ao modelo por todos os outros participantes do processo (KYMMEL, 2008).

Segundo Tobin (2008), o uso de softwares BIM como ferramentas de CAD melhoradas representa o estágio inicial do paradigma BIM, denominado de BIM 1.0 (em uma escala de 1.0 a 3.0), no qual a interoperabilidade é incipiente ou inexistente. As principais características da geração BIM 1.0 são: a capacidade de geração automática de documentos e a possibilidade de adição de informações diversas aos elementos geométricos tridimensionais. Segundo o autor, nesse estágio de adoção, o desenvolvimento do projeto do edifício ainda aparece como uma atividade fragmentada, estabelecida por produtos independentes produzidos por cada disciplina.

Ainda de acordo com Tobin (2008), o último estágio de adoção da tecnologia BIM, denominado BIM 3.0, representa a prática integrada. O processo de projeto nesta fase se caracteriza por atividades em equipes multidisciplinares que se utilizam de modelos integrados, onde o fluxo de informação acontece de forma contínua, sem perdas ou sobreposições. Assim, os diferentes profissionais de projeto e construção irão construir um “modelo único” para um propósito coletivo que é a construção virtual do edifício ou de seu “protótipo”, construído colaborativamente em um ambiente virtual tridimensional.

A adoção de ferramentas BIM pelas empresas do setor da construção civil não se trata de um procedimento simples. Para Crespo e Ruschel (2007), esse processo impõe uma prática que transcende as questões operacionais do trabalho e representa, portanto, uma série de mudanças para as organizações: “a linguagem passa a ser vista não apenas no seu aspecto descritivo, mas como uma forma de ação social, dirigida para uma orientação mútua (...). Para que possam ser implementadas com sucesso, são necessárias, além da maturidade organizacional, ferramentas adequadas, técnicas e metodologias de trabalho que suportem a evolução do uso de ferramentas de desenho CAD para a modelagem orientada ao objeto”.

Para Souza, Amorim e Lyrio (2009), a adoção ou não do BIM pelas empresas de projetos configura-se como uma decisão estratégica ligada não apenas às práticas tecnologicamente avançadas para o setor de projetos, mas deve basear-se também na observação sobre os desafios e oportunidades presentes no cenário empresarial.

Ao mesmo tempo, é importante ressaltar que BIM não se trata de um software ou de um sistema de informação, mas de um novo paradigma sobre a produção na indústria da construção civil. Amor e Owen (2011) observam a tendência de utilização do BIM mais como uma tecnologia de design e menos como um processo inteligente integrado, mesmo sendo este último mais vantajoso financeiramente, especialmente se relacionado com os processos do *Lean Construction* e com as novas formas de colaboração como as sugeridas pelo IPD (*Integrated Project Delivery*).

Segundo Manzione et al. (2011), embora exista uma difusão crescente do BIM, em vários casos sua implementação acontece de forma semelhante ao que acontece na implementação da tecnologia CAD e reproduz um processo corrente, praticamente inalterado. Para maximizar o potencial da tecnologia BIM é necessária a reavaliação do papel dos profissionais envolvidos por todo o processo de projeto. A modificação de aspectos culturais é desafiadora,

especialmente quando se refere ao desenvolvimento da confiança em um ambiente suspeito e arriscado como o setor da AEC. Nesse setor, cultura e mentalidade permanecem isolados, a troca de informações é desordenada e baseada em processos de baixa inteligência. Decisões são frequentemente tomadas autonomamente e sem a participação multidisciplinar, sob a falta de uma compreensão holística e precisa de toda a equipe. A aplicação de um processo integrado de design desenvolvido a partir da necessidade do cliente é virtualmente impossível de se realizar nessas estruturas correntes (OWEN et al., 2010).

A interoperabilidade entre plataformas e agentes do processo de projeto é frequentemente lembrada para o eficiente uso da tecnologia BIM. Entretanto, para que seja alcançada, os membros da equipe devem ser capazes de utilizar essa tecnologia e também de se adaptar às novas formas de colaboração e práticas integradas. A interoperabilidade se torna efetiva apenas no momento em que essas habilidades são assimiladas pelas organizações em um contexto institucional para todos os agentes (PRINS; OWEN, 2010).

A falta de um protocolo universal para a representação do conhecimento é sem dúvida uma das razões primárias para a falta de interoperabilidade entre as ferramentas de projeto, especialmente aquelas adotadas nas fases iniciais do processo. Gerenciar a comunicação efetiva entre diversos atores e a representação apropriada do conhecimento sobre o projeto (enquanto processo e produto simultaneamente) é o grande desafio das tecnologias da informação (CHANDRASEGARAN et al., 2013).

Manzione et al. (2011) citam parte da pesquisa de doutorado do primeiro autor, que buscou investigar questões relacionadas à colaboração, com o objetivo de propor um novo modelo de gestão para o processo colaborativo de design usando ferramentas BIM. A pesquisa mostrou que mais de três quartos do grupo pesquisado ainda se encontrava em níveis muito iniciais de uso ou entendimento da tecnologia BIM. A maior parte dos participantes demonstrou falta de compreensão do conceito da tecnologia BIM e seu aspecto colaborativo. Sobre a

percepção do processo de gestão do design, 63,2% dos participantes o vê apenas como forma de “cumprir o calendário”. Entre aqueles que adotam a tecnologia BIM, a maior dificuldade identificada foi a colaboração entre parceiros do projeto (78,9%). Entre as conclusões relacionadas aos problemas de colaboração e aos seus aspectos humanos, pode-se destacar: a) BIM ainda é entendido apenas como ferramenta computacional para o desenvolvimento do design e b) no seu estado atual de desenvolvimento, o BIM é empregado como uma tecnologia da informação sem uma metodologia de gestão do design definida.

Segundo Andrade e Ruschel (2009), os profissionais da indústria da construção civil exploram pouco os recursos de colaboração no processo de projeto com o BIM. Enquanto os aplicativos BIM não possuem robustez na interoperabilidade, a colaboração efetiva permanecerá distante.

A utilização do BIM traz consigo desafios particulares à equipe de design. Quando implementado em uma larga escala, arquitetos frequentemente se deparam com gargalos relativos à acessibilidade ao modelo e ao gerenciamento do processo de projeto. Para superar essas dificuldades, a Grafisoft criou o BIM Server: uma solução para colaboração vinculada ao modelo. A tecnologia desenvolvida tornou possível a troca de dados instantânea, dentro ou fora do escritório (LAN/WEB). A função acessada pela ferramenta “teamwork” no aplicativo permite que projetistas das diversas disciplinas trabalhem sobre o mesmo modelo, ao mesmo tempo. A web semântica presente em softwares como o BIM Server exerce um papel chave no processo de projeto: através da internet modelos virtuais podem ser criados, manipulados e compartilhados entre todos os colaboradores (CHANDRASEGARAN et al., 2013).

Segundo Kiviniemi et al. (2008) apud Andrade e Ruschel (2009), o grande desinteresse das organizações vinculadas à indústria da construção civil no aperfeiçoamento da interoperabilidade entre os aplicativos BIM é decorrência da pouca penetração do conceito BIM no mercado. A maioria das empresas não considera o modelo baseado na integração como algo importante.

2.6.3 Realidade virtual

Segundo Baltazar e Cabral (2006), o conceito sobre Realidade Virtual foi cunhado na década de 1990 por Jaron Lanier, ganhando popularidade a partir daquele momento e fazendo com que ambientes digitais passassem a ser a tônica de diversos centros de pesquisas computacionais. Mais recentemente surgiram também as expressões *Virtual Worlds* e *Virtual Environments* (RUSCHEL; FRACAROLI; SILVA, 2005).

De acordo com Sampaio, Henriques e Martins (2010), realidade virtual (RV) é uma tecnologia que permite aos usuários explorar e manipular ambientes tridimensionais interativos em tempo real. A realidade virtual é vista atualmente como uma tecnologia de integração, com grande potencial de contribuição à comunicação entre os agentes do processo de projeto e mais recentemente, como uma ferramenta de suporte à tomada de decisões.

Bertol (1997) define realidade virtual como um mundo gerado por computador, onde é possível a experiência imersiva em tempo real. O termo “realidade virtual” engloba o ambiente virtual (ou espaço virtual) e os equipamentos utilizados para imersão no sistema (equipamentos de entrada de dados, interfaces). À sensação de imersão no ambiente, a autora atribui a expressão “senso de presença”, fator determinante para a criação de uma realidade virtual separada do mundo “real”. Para Faas et al. (2014), os elementos chave da realidade virtual são o mundo/lugar virtual, o senso de imersão, a resposta sensorial e a interatividade. Ademais, diferentes fatores são determinantes para se experimentar o senso de presença, tais como: noção espacial, qualidade de imersão, envolvimento, qualidade da interface, navegabilidade no ambiente virtual, veracidade, interatividade e previsibilidade.

A psicologia cognitiva sugere que humanos podem experimentar variados graus de presença à qualquer momento, em qualquer lugar. Isto vai depender do grau de atenção dividido entre o mundo físico e o mundo mental interno. Algumas pessoas experimentam altos níveis de engajamento/envolvimento com o uso de

outros meios além dos aplicativos de realidade virtual, como com filmes, livros ou até mesmo sonhos. Eles sentem como se fizessem parte daquele ambiente ou se identificam fortemente com um personagem de um livro. Durante essa imersão, as pessoas se colocam no lugar do personagem e experimentam o que o personagem experimenta. Elas se tornam imersas no mundo do personagem (FAAS et al., 2014).

De acordo com Adams (1995), a realidade virtual é uma simulação espaço-temporal, ou “quadridimensional”: uma animação tridimensional apresentada em um contexto interativo, em tempo real. Sabe-se que a percepção do espaço arquitetônico não se esgota nas três dimensões (largura, altura e profundidade). À variável tempo é atribuída a responsabilidade pela existência de uma quarta dimensão, que surge pelo deslocamento do observador, ao ocupar sucessivos e diferentes pontos de vista (REGO, 2001). Em 1948, o arquiteto Bruno Zevi, em sua obra *Saber ver a Arquitetura*, pontuou: *“a realidade do objeto não se esgota nas três dimensões da perspectiva; para possuí-la integralmente eu deveria fazer um número infinito de perspectivas dos infinitos pontos de vista. Existe, pois, outro elemento além das três dimensões tradicionais e é precisamente a deslocação sucessiva do ângulo visual”* (ZEVI, 1978).

Para Lévy (1999), realidade virtual é um tipo de simulação interativa, na qual o explorador tem a sensação física de estar imerso na situação. O autor define realidade virtual em diversos contextos, dentre eles, no contexto da informação, como um “dispositivo informacional” onde a mensagem é um espaço de interação dentro do qual o explorador pode controlar um representante de si mesmo (“avatar”) para realizar seus processos informacionais (busca e uso da informação).

Segundo Steuer (1992), o conceito de realidade virtual é frequentemente reduzido à ideia de um conjunto de equipamentos, dispositivos e hardwares, não se considerando o caráter “experimental” da tecnologia. O autor procura definir realidade virtual como um tipo particular de experiência humana, estratégia que possibilitaria a comparação entre diferentes sistemas de realidade virtual, não

tendo como referência a questão tecnológica exclusivamente. Para isso, parte do conceito de “presença” (*presence*). Para o autor, presença é a sensação de estar presente em um ambiente a partir da percepção do mesmo, mediada por processos mentais. Quando a percepção é auxiliada por uma tecnologia de comunicação, percebem-se dois ambientes distintos simultaneamente: o ambiente físico no qual o sujeito se faz de fato presente e o ambiente apresentado ao sujeito através da tecnologia (mídia). O termo “telepresença” é utilizado para descrever a presença no segundo ambiente. Telepresença é a experiência de presença em um ambiente através de um meio de comunicação. Por conseguinte, realidade virtual seria “toda e qualquer experiência de telepresença”. Tal definição transfere o termo realidade virtual da ideia de um conjunto específico de hardware para a ideia de percepções de um indivíduo (STEUER, 1992).

De acordo com Faas et al. (2014), o senso de presença e o senso de imersão são utilizados como métrica para avaliar o nível de engajamento e de envolvimento do projetista na tarefa de concepção. “*Flow*” é o nome que os autores atribuem a este senso de presença que, segundo eles, significa uma concentração intensa em determinada atividade, o sentimento de controle total sobre uma tarefa que gera a perda da noção de tempo, a experiência de imersão em uma atividade. O senso de presença tem demonstrado uma relação positiva com a performance de atividades em ambientes virtuais e pode ser um fator determinante da qualidade e do sucesso da implementação de uma tecnologia de realidade virtual em tarefas de concepção. Altos níveis de presença indicam que o projetista está altamente focado em seu trabalho e têm relação direta com a alta performance dos projetos e com as melhores soluções. Baixos níveis de presença estão relacionados a uma performance mediana nas atividades de concepção criativa. A partir dessas relações é possível concluir que o nível de presença pode servir como um indicador de performance em atividades de projeto que utilizem dos sistemas de realidade virtual.

Realidade virtual pode também ser considerada um meio de comunicação, um espaço compartilhado de visualidade e de construção de sentido, enquanto

articula e dinamiza o discurso e o debate (SOBRINHO; HAGUENAUER, 2013). Para Silva, Ruschel e Oliveira (2007), os fundamentos da realidade virtual têm relação com a percepção humana: o movimento, a interação, a capacidade de escolher caminhos, de definir situações sensório-motoras e fundamentalmente de se desligar do ambiente real (físico). Quanto a esses aspectos, de acordo com Baltazar e Cabral (2006), os modelos digitais manipuláveis parecem ser mais efetivos por não possuírem escala fixa como as maquetes físicas e os modelos digitais estáticos, fazendo com que o usuário se engaje imediatamente num processo de abstração, o que contribui muito para a compreensão do espaço a partir de sua representação.

Métodos convencionais de croquis no papel ou com maquetes físicas em miniatura dos edifícios, ainda que úteis para analisar e amadurecer ideias, oferecem limitações à estimulação e inspiração dos projetistas. Porque o projetista não pode se projetar dentro do habitáculo sobre o qual ele pensa e concebe, a experiência da reflexão-na-ação é cerceada (CHAN; HILL; CRUZ-NEIRA, 1999).

Inúmeras decisões-chaves referentes ao projeto são tomadas nas fases iniciais do processo onde se vê, posteriormente, tomadores de decisão procurando por aprovação de suas propostas. Muitos agentes acabam marginalizados e desconsiderados nesse processo. Isso é ainda mais grave no processo de projetos urbanos de alta complexidade que envolvem anos de projeto e inúmeros agentes. Nesse contexto, a informação torna-se importante para melhor fundamentar as decisões. Frequentemente, as ferramentas destinadas ao suporte do processo decisório são orientadas aos especialistas, focam principalmente nos elementos técnicos do projeto e falham em comportar aspectos espaciais e temporais do projeto, não refletindo a interação entre as diferentes especialidades. Além disso, as questões que essas ferramentas se propõem a representar e resolver envolvem três ou quatro dimensões, o que não é possível realizar eficientemente apenas com a representação bidimensional. As deficiências desses sistemas geralmente levam a uma comunicação falha entre a enorme variedade de agentes envolvidos (ISAACS et al., 2011).

Torna-se necessário o desenvolvimento de ferramentas de suporte à tomada de decisão que permitam o envolvimento profundo de todos os *stakeholders*, a partir do entendimento compartilhado sobre as complexas questões envolvidas no processo de projeto. A criação de modelos virtuais tridimensionais e interativos com o uso de técnicas de criação de jogos digitais leva à mudança desse cenário, permitindo exploração e manipulação em tempo real de complexos dados multidimensionais na forma de um ambiente virtual tridimensional. Pela utilização de ambientes virtuais imersivos surge a possibilidade de se considerar as habilidades perceptivas e espaciais do usuário, otimizando o processamento de informações complexas por ele. Assim, configura-se um ambiente propício para a transformação do processo de tomada de decisões em um processo compartilhado e colaborativo (ISAACS et al., 2011).

Uma ferramenta computacional eficiente que auxilie o projetista a tomar melhores decisões sustentadas por informações adequadas e suficientes, requer um sofisticado esquema de representação do conhecimento. A consciência de que decisões de projeto tomadas no início do processo de concepção têm maior impacto em termos de custos e energia, resultou na necessidade de se adiantar conhecimentos sobre o projeto geralmente requeridos nas etapas finais às etapas iniciais. Nesse contexto, a tecnologia da realidade virtual permitiu a simulação de soluções de projeto, cenários de produção e de uso do produto, de forma que estes conhecimentos pudessem ser gerados ou trazidos à tona ainda nos estágios iniciais (CHANDRASEGARAN et al., 2013).

Segundo Adams (1995), a interação do usuário com o ambiente simulado se dá por meio de uma interface homem-computador (*human-computer interaction* – HCI). Dessa forma, o universo da tecnologia de realidade virtual é composto por elementos de diversas naturezas, entre eles, os dispositivos físicos que captam informações do mundo físico (dispositivos de entrada de dados) e as transferem para o mundo virtual na forma de impulsos elétricos, como por exemplo os mouses, teclados, luvas de dados (do inglês, *data gloves*), óculos especiais, bastões, detectores de sinais biológicos, etc. Entre os sistemas de saída de dados

(que enviam informações do ambiente ao usuário) se encontram os sistemas de visualização (HMDs – *head mounted displays*, projeções, CAVEs, monitores, óculos), os sistemas táteis e sonoros (FRACAROLI, 2006).

Sistemas de realidade virtual facilitam a interação intuitiva entre ser humano e computador mediante pouco treinamento e instruções. Isso fica muito evidente ao se observar os novos dispositivos de interação baseados em gestos, disponíveis no mercado dos jogos virtuais como o Nintendo Wii™ e o Microsoft Kinect™. Interações baseadas em gestos em sistemas de realidade virtual indicam o potencial de exploração das interfaces como uma alternativa para os projetistas darem forma e melhor comunicar suas ideias. O desenvolvimento de melhores interfaces homem-computador, mais naturais e intuitivas, torna-se uma importante contribuição em direção à verdadeira democratização do processo de projeto (CHANDRASEGARAN et al., 2013).

É importante ressaltar que a realidade virtual pode se apresentar de diferentes formas, segundo níveis de interatividade e de imersão (ADAMS, 1995; RUSCHEL; FRACAROLI; SILVA, 2005), como apresentado na Tabela 2.1. Como discutido anteriormente, realidade virtual considera, por definição, a sensação de imersão. Portanto, o critério para definição do grau de imersão é a intensidade do senso de presença (ou telepresença) oferecida por determinada infraestrutura de realidade virtual. É possível combinar os níveis de interatividade com os níveis de imersão, dando origem, por exemplo, a um ambiente de realidade virtual imersiva (nível de imersão) e passiva (exploração automática). Ou ainda, a um ambiente de realidade virtual não imersiva e interativa (com possibilidade de modificação do ambiente).

Tabela 2.1 – Variações de Realidade Virtual.

| Interatividade Imersão | RV Passiva | RV Exploratória | RV Interativa |
|---|--------------|-------------------|-----------------|
| RV não Imersiva | RVnl passiva | RVnl exploratória | RVnl interativa |
| RV Imersiva | RVI passiva | RVI exploratória | RVI interativa |

- Realidade Virtual Passiva: exploração do ambiente virtual de forma automática e sem interferência do usuário. Os percursos e as vistas são pré

determinados.

- Realidade Virtual Exploratória: o usuário pode escolher as rotas e as vistas, mas não pode de outra forma interagir com entidades contidas nas cenas ou no ambiente.
- Realidade Virtual Interativa: além da exploração dirigida pelo usuário, as entidades virtuais no ambiente reagem às suas ações, podendo ser manipuladas.
- Realidade Virtual não Imersiva (RV não Imersiva): fraca sensação de presença.
- Realidade Virtual Imersiva (RVI): forte sensação de presença.

Segundo Malard, Rhodes e Roberts (1997), existem dois tipos de animação: a linear e a interativa. Na animação linear define-se previamente o percurso do observador e o tempo de observação pelo modelo. Na animação interativa o observador caminha através do modelo com o auxílio de um dispositivo de interação (mouse, por exemplo), detendo-se nos pontos que desejar e focalizando a cena que lhe convier. É importante apontar a diferença de conceitos sobre a variação “realidade virtual interativa” entre os autores Malard, Rhodes e Roberts (1997) e Ruschel, Fracaroli e Silva (2005). Para os primeiros autores, a interativa se assemelha ao que os segundos identificam como exploratória.

Pesquisas sobre Realidade Virtual e suas variações avançam com o intuito de desenvolver soluções passíveis de serem amplamente adotadas pelo mercado. No Brasil, entre os principais centros de pesquisa nessa linha estão o Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI) da Escola Politécnica da USP, o Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia (LAMCE) da UFRJ, o Núcleo de Ensino e Pesquisa em Automação e Simulação (NEPAS) da Escola de Engenharia da USP – São Carlos e o Laboratório de Novas Tecnologias nas Artes Visuais (NTAV Lab) da UCS – RS.

Várias soluções já foram desenvolvidas pelo grupo da UFRJ, incluindo: sistema de Supervisão Remota RA, onde o usuário, a partir de qualquer localização, pode inspecionar uma obra sobrepondo a maquete virtual do projeto às imagens da obra em tempo real. A supervisão remota acrescenta camadas de informações 2D

e 3D sobre o vídeo capturado. Este conceito serviu de base para um outro projeto chamado "Telepresença", constituído por um receptor de vídeo posicionado na obra e um terminal de acesso remoto imersivo composto de visores 3D para uso individual que permitem controlar o ponto de vista com movimentos do corpo do inspetor. Outra solução em fase avançada de desenvolvimento é o sistema Base de RA Externo que permite ao profissional de obra inspecionar, em loco, a execução do projeto, através do mesmo princípio de sobreposição do modelo virtual às imagens capturadas em tempo real por um aparato eletrônico composto por *tablet*, câmeras, sensores e softwares específicos (FERNANDES; CUNHA; LOPES, 2012).

Empresas brasileiras como a Absolut Technologies já desenvolveram e instalaram ambientes virtuais colaborativos de diferentes configurações ("CAVEs", salas colaborativas e de telepresença, *power walls*) em grandes empresas e centros de pesquisa como a Petrobras, Volkswagen, Fiat, Repsol, Statoil, P&G, Santander, Telefônica, USP São Carlos, Poli USP, as CAVEs da Universidade de Iowa (EUA) e da Universidade de Hong Kong. Multinacionais como Boeing, Volkswagen, Chrysler, Ford, Caterpillar e GM estão adotando as CAVEs em seus processos produtivos com o objetivo de reduzir o número de protótipos físicos para avaliação de designs intermediários. Ao adotar essas tecnologias, as empresas podem utilizar diversos protótipos virtuais para avaliação e simulação do produto em desenvolvimento, economizando tempo e dinheiro e contribuindo para melhores produtos finais, tornando-se mais competitivas (RYKEN; VANCE, 2000). No intuito de compartilhar avanços e esforços para o desenvolvimento dessa tecnologia, pesquisadores da Universidade de Illinois criaram o CAVERN - *Cave Research Network*: um grupo para estudos e difusão da CAVE, constituído por centros de pesquisas e empresas ao redor do mundo (LEIGH et al., 1999).

A Prototipagem Virtual (do inglês, *Virtual Prototyping*) acompanha a velocidade do mercado atual de intensa competitividade global. O novo paradigma da engenharia e do projeto simultâneo estabelece que projetistas combinem diferentes disciplinas para criar produtos que correspondam às demandas desse mercado. No âmbito da engenharia simultânea, a prototipagem virtual permite que

os projetistas avaliem a performance do produto, identificando conflitos na proposta inicial a fim de otimizá-lo, sendo capaz de comunicar dados e informações de forma eficiente e rápida, uma vez que a elaboração de múltiplos protótipos físicos é tarefa extremamente cara e por vezes inviável. Além disso, o protótipo virtual pode absorver mais facilmente as contribuições simultâneas de todos os projetistas envolvidos no processo de projeto (MCHUGH; ZHANG, 2011).

O avanço das tecnologias da informação tem forçado a indústria a transformar seus sistemas de produção para sistemas orientados à informação. Para Iwata et al. (1997), os “sistemas virtuais de produção” (do inglês, *Virtual Manufacturing Systems*) têm o potencial de integrar recursos de produção à tarefas operacionais. Sistemas virtuais de produção são adotados como o núcleo informacional em sistemas avançados de manufatura, provendo a informação necessária ao estabelecimento das operações. Ao mesmo tempo, os autores chamam atenção para um gap semântico, uma falha de comunicação existente entre sistemas reais de produção e a infraestrutura informacional (sistemas de informação ou sistemas virtuais de produção) de uma empresa. As atividades de produção raramente possuem correspondência com a linguagem dos sistemas de informação.

Jayaram et al. (2001) apresentam diversos exemplos de aplicações da realidade virtual para os diferentes estágios do ciclo de projeção de um produto, desde o projeto conceitual passando pelo projeto preliminar e análises críticas, planejamento e análise do processo de produção, testes do produto com simulações e análise de desmontagem para manutenção ou reciclagem. As aplicações iniciais de RV na engenharia se concentraram em prover métodos para visualização tridimensional estereoscópica e análise crítica. Entretanto, o advento da engenharia simultânea alterou a perspectiva sobre o processo de desenvolvimento dos produtos e as aplicações de RV nesse contexto avançaram de ferramentas para concepção dos projetos para ferramentas de simulação da produção e de suporte à manutenção. Segundo os autores, a diferença significativa atribuída ao uso da RV na avaliação e análise dos projetos se refere

à avaliação da relação entre o humano usuário e o projeto do produto. No processo de projeto conceitual, a modelagem virtual tridimensional provê aos projetistas métodos para avaliar protótipos virtuais precocemente e realizar modificações que resultam em benefícios de custo e de qualidade do projeto, enquanto processo e produto. Em projetos automobilísticos, o objetivo da prototipagem virtual é reduzir o número de protótipos físicos, substituindo-os por modelos virtuais que podem ser usados para avaliação dos aspectos ergonômicos do veículo.

Correções posteriores às decisões tomadas ao longo da fase inicial de concepção do produto são geralmente consumidoras de tempo e resultam na elevação dos custos de cada um dos estágios consecutivos do seu desenvolvimento. Nesse contexto, a adoção da prototipagem virtual nas fases iniciais de concepção no âmbito da engenharia simultânea (com atores em diferentes localidades) transforma a prática do processo de design ao oferecer suporte para o compartilhamento facilitado de dados visuais tridimensionais de um projeto, utilizando-se de tecnologias avançadas de compartilhamento via web e de realidade virtual para visualização interativa de sistemas técnicos altamente complexos (DURSTEWITZ et al., 2001).

Silva, Ruschel e Oliveira (2007) realizaram uma pesquisa para avaliar a eficácia da aplicação das animações gráficas na dinâmica do processo de projeto, em termos de compreensão pelo usuário do ambiente representado. Concluíram que essa compreensão, utilizando-se da simulação do ambiente com realidade virtual não imersiva e passiva (exploração automática e sem interferência do usuário), deve ser considerada com cautela. Dessa forma, não é verdadeiro afirmar que esse formato de realidade virtual seja suficiente para a compreensão adequada do espaço a ser construído.

Não obstante à tendência da indústria cinematográfica pela criação de uma realidade virtual cada vez mais semelhante à realidade física, vale ressaltar que, em termos de utilidade ao processo de projeto, deve se considerar que o grau de realismo da simulação não é aspecto crucial para a percepção do objeto. Um

experimento realizado por Ruschel e Oliveira (2004) para avaliação do impacto da representação tridimensional como instrumento de comunicação no processo de projeto, concluiu que a animação simplificada e a animação realista traduzem o projeto arquitetônico de forma equivalente para o usuário. Em outras palavras, entre as visualizações das maquetes virtuais simplificadas e realísticas não há diferença significativa de percepção do ambiente pelo usuário.

2.6.4 Realidade virtual imersiva

Freitas e Ruschel (2010) afirmam que os fundamentos da realidade virtual são: simulação, interação e imersão. Segundo as autoras, interação é a capacidade do computador em detectar as entradas do usuário e modificar em tempo real o mundo virtual via comandos desse usuário (através de mouse, teclado, *data gloves*). Imersão é o sentimento de estar dentro do ambiente através de dispositivos de visualização (presença). Steuer (1992) define “interatividade” em termos da possibilidade de intervenção sobre a forma e o conteúdo de um ambiente simulado, em tempo real.

Imersão, como a presença, também está relacionada ao senso de engajamento em uma atividade, mas é considerada um traço individual e se relaciona à tendência particular de se comportar de forma descontraída e de se tornar envolvido em um fluxo contínuo de estímulos. É, portanto, um estado psicológico (WITMER; SINGER, 1998). A imersão é a tendência que um indivíduo possui em experimentar a presença. O senso de imersão pode levar ao senso de presença, que tende a aumentar com o aumento da fidelidade de reprodução ou simulação do mundo físico. Importantes fatores que aumentam o nível de imersão incluem o isolamento do ambiente físico, percepção de inclusão no ambiente virtual, formas naturais e espontâneas de interação e controle no ambiente virtual e percepção de movimentação (FAAS et al., 2014).

A visão, mais do que qualquer outro sentido, é responsável pelo reconhecimento do mundo ao nosso redor. Conseqüentemente, a maioria das aplicações de

realidade virtual se concentra na simulação visual. Os sistemas mais simples simulam a sensação de profundidade através da perspectiva e paralaxe em monitores comuns. A visão binocular, de onde surge a estereoscopia, proporciona a sensação de profundidade através da convergência das imagens dos dois olhos (realizada pelo cérebro). Quando um objeto é visualizado pelos dois olhos, são obtidas duas imagens diferentes (dois pontos de vista). Ambas as vistas convergem para um ponto focal, uma única imagem final. A ilusão estereoscópica sustenta-se na habilidade de um mecanismo binocular em computar profundidade combinando a informação obtida a partir de dois pontos de vistas ligeiramente diferentes. Os dispositivos visualizadores de realidade virtual (monitores, projetores, óculos estereoscópicos, HMDs) procuram recriar este fenômeno para que se obtenha a melhor simulação possível (BERTOL, 1997).

A partir dos estudos dos autores supracitados, é razoável afirmar que a diferença mais evidente entre a forma imersiva da realidade virtual e as formas não imersivas é exatamente o grau de imersão oferecido pelo funcionamento concomitante de softwares e hardwares em cada uma das plataformas. Por sua vez, o grau de imersão pode ser determinado pela intensidade da sensação de imersão ou senso de presença em um ambiente de realidade virtual. Nesse contexto, pelo uso de aplicativos e equipamentos sofisticados, as plataformas de realidade virtual imersiva (Ambientes de Imersão ou, do inglês, *Immersive Environments*) são capazes de oferecer ao usuário simulações mais fiéis à sua experiência no mundo físico, mais intensas em termos de sensação de imersão. Em suma, a realidade virtual, por definição, considera a sensação de presença, ao passo que a realidade virtual imersiva procura intensificar esta sensação, incrementando a experiência espaço-temporal do usuário.

Milgram e Kishino (1994) propõem o Espectro de Realidade Virtual ou *Virtuality Continuum* (Figura 2.2), uma espécie de métrica para classificação das tecnologias de RV ao longo de uma escala que possui em suas extremidades o mundo “real” e o mundo virtual. Os diversos tipos de RV são distribuídos ao longo dessa escala em função da existência de elementos reais ou virtuais. Entre os extremos existe a Realidade Misturada (do inglês, *Mixed Reality*), onde elementos

do mundo real se misturam aos elementos do mundo virtual em diferentes proporções.

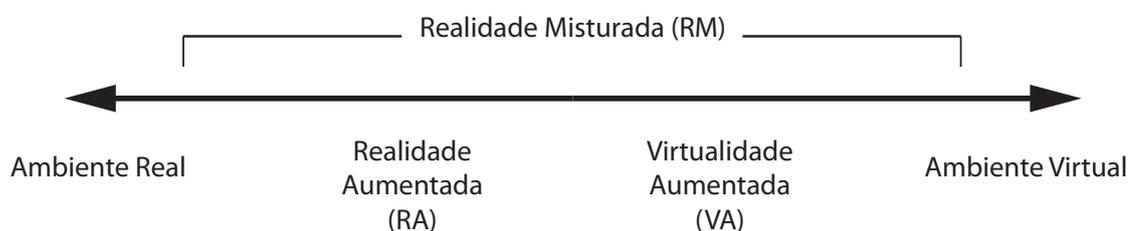


Figura 2.2 – *Virtuality Continuum*. Adaptado de Milgram e Kishino (1994).

A Realidade Aumentada (do inglês, *Augmented Reality*) tem como base o mundo real, incrementado com informações ou objetos virtuais. Um sistema de RA suplementa o mundo real com objetos gerados por computador que parecem coexistir no espaço do mundo real. Enquanto a realidade virtual imersiva e os ambientes de imersão tratam apenas de uma única realidade – a do mundo virtual – a realidade aumentada trata da composição de uma terceira realidade (percebida através de equipamentos visuais, como monitores) a partir da sobreposição da realidade física com a realidade virtual (sob a forma de inserção de elementos virtuais em um ambiente físico) (AZUMA et al., 2001; SOBRINHO; HAGUENAUER, 2013).

Balding (2009) discute como a incorporação de tecnologias imersivas pode modificar o processo de projeto. Os ambientes imersivos apontados pelo autor são: displays ampliados, para visualizar projetos ou objetos em escala real, visualização do espaço com realidade aumentada e cavernas digitais (CAVEs). O autor também comenta sobre inovações em termos de interfaces: canetas, *tablets*, monitores *multi-touch* e equipamentos de reconhecimento de gestos.

Okeil (2010) faz uma comparação entre as diversas formas de utilização de ferramentas computacionais no processo de projeto, considerando ambientes não imersivos, ambientes com imersão ao final do processo de concepção, ambientes alterando imersão e não imersão durante a concepção, ambientes de projeto totalmente imersivos e ambientes híbridos cuja proposta é unir as vantagens dos

anteriores. O autor conclui que todas as formas de recursos computacionais analisadas apresentam deficiências.

Uma pesquisa realizada por Righi, Celani e Ruschel (2009) verificou que a lousa interativa, equipamento que configura um ambiente de imersão segundo Balding (2009), foi utilizada mais para fins de debate no desenvolvimento dos projetos do que para a simples apresentação dos resultados. De forma semelhante, ao realizarem um estudo no ambiente de imersão denominado VR-Desktop, pesquisadores da Universidade Estadual da Pensilvânia (EUA) constataram que os usuários adotaram o sistema como um espaço multimídia para comunicação de seus projetos para outros usuários, além do uso previsto (individual, para maturação das próprias soluções de projeto). Os estudantes envolvidos na pesquisa comentaram também sobre algumas contribuições em nível psicológico, tais como o sentimento de "estar dentro do projeto" ou quanto à habilidade de comunicar aos demais usuários o que enxergavam em sua imaginação. Os pesquisadores concluíram que técnicas envolvendo a profunda percepção do projeto oferecida por essa tecnologia, são capazes de comunicar informações relevantes de forma mais eficiente e com menor deturpação de conteúdo em comparação às técnicas tradicionais de visualização tridimensional (KALISPERIS et al., 2002).

É importante considerar o comportamento social envolvido na utilização de modelos tridimensionais para suporte a decisões coletivas. Baltazar e Cabral (2006), em um experimento que envolveu testes e comparações de diversos modos de visualização e negociação em grupo do espaço, concluíram que melhores resultados são alcançados quando são utilizados modelos digitais manipuláveis e quando ocorre a ação (gestos, impulsos e iniciativas) entre aqueles que negociam e não apenas o debate. Segundo Davenport (1998), "no nível mais básico trocamos mais informações com colegas que estão no mesmo espaço físico. Estudos sistemáticos sobre a comunicação organizacional mostram que a proximidade física aumenta a frequência da comunicação em grupo. Algumas empresas vêm tentando administrar a informação ao criar espaços que facilitem a interação".

A respeito da utilização de multimídia no processo de projeto, Malard, Rhodes e Roberts (1997) chamam atenção para a forma interativa de sua aplicação, quando os meios (textuais, gráficos, sonoros, vídeos) são compilados em um ambiente digital onde seja possível que o usuário interaja, reestruture e manipule a informação de acordo com suas necessidades. De acordo com Eco (2000) o processo de comunicação requer do receptor uma atitude crítica, a clara consciência da relação em que está inserido e o intuito de fruir dessa relação. Segundo Mendes e Bax (2013), a crescente humanização da tecnologia implica na desintermediação da relação usuário-informação, fenômeno cada vez mais expressivo na sociedade da informação ubíqua (em todo lugar, a todo o momento).

A possibilidade de participação ativa do usuário na busca pela informação que necessita tem sido considerada um fator determinante para o sucesso de sistemas de informação, cuja principal função é realizar o encontro entre informação e usuário. Com o uso da realidade virtual interativa, o receptor da mensagem se torna o aspecto mais importante do processo de comunicação, forçando-o a assumir um papel de participação ativa no processo, permitindo-o investigar e compreender aquilo que de fato lhe interessa no conteúdo da mensagem. A realidade virtual oferece ao receptor a possibilidade de investigar aquilo que lhe interessa a partir de sua própria experiência existencial-espacial (MALARD; RHODES; ROBERTS, 1997).

2.6.5 Ambientes de imersão

A experiência de imersão em ambientes virtuais tem sido explorada e aperfeiçoada principalmente por pesquisas no campo da Ciência da Computação. Pesquisadores da Microsoft (JONES et al., 2013) apresentaram a tecnologia IllumiRoom, o protótipo de um sistema que projeta imagens periféricas que ultrapassam os limites da tela do monitor, mesclando o ambiente físico de uma sala ao ambiente virtual. Esse tipo de sistema procura atender às características

cognitivas humanas relacionadas ao sentido da visão e da atenção visual periférica apresentada por Cordiviola (2006), ao afirmar que todo objeto é percebido em um contexto com o qual se relaciona: "vemos ações em cenários e cenários em mundos. Podemos então, com certa facilidade, estabelecer as relações entre parte e todo, entre figura e fundo, entre detalhe e estrutura".

A estereoscopia em Ambientes de Imersão se refere à visualização de um mesmo foco por dois mecanismos de captação de imagens. No ser humano, a imagem percebida pelo cérebro resultará da combinação de duas imagens captadas pelo aparato binocular, uma em cada olho. Este par de imagens recebe o nome de par estereoscópico. Essas imagens são diferentes devido à distância entre os dois olhos: cada olho vê a cena de um ponto de vista ligeiramente diferente, mantendo-se o foco visual. Essa diferença é interpretada pelo cérebro como profundidade, permitindo-nos ver o ambiente em três dimensões. Ademais, elementos da cena como iluminação e oclusão auxiliam na percepção de profundidade, podendo ser explorados na geração de pares estereoscópicos (RAPOSO et al., 2004).

Para se reproduzir o efeito da estereoscopia com imagens geradas pelo computador, é necessário fornecer a cada olho uma imagem diferente a partir do dispositivo de visualização (um monitor, por exemplo). Existem duas formas principais de se realizar essa reprodução: utilizando-se estereoscopia passiva ou ativa. Na estereoscopia passiva, as duas imagens são exibidas simultaneamente (sobrepostas) pelo monitor e os óculos de estereoscopia passiva atuam como filtros: cada óculo captará uma das imagens. Geralmente, cada lente desses óculos possui uma cor que captará a imagem que é projetada na cor correspondente. Dessa forma, cada olho verá apenas uma das imagens. A imagem final é computada pelo cérebro, que unirá as duas imagens e criará a sensação de profundidade. Devido ao uso de duas imagens coloridas, a imagem final perde bastante sua qualidade em termos de coloração. Na estereoscopia ativa, o dispositivo de projeção da imagem, seja um monitor ou um projetor, funciona em conjunto com os óculos especiais de estereoscopia ativa. Um software específico (muitas vezes desenvolvido apenas para tal função) realiza a

separação da imagem bidimensional em duas imagens sobrepostas (para o olho esquerdo e direito). O dispositivo de projeção, quando estereoscópico (monitor ou projetor), é capaz de reproduzir as duas imagens do par estereoscópico. O par estereoscópico é capturado pelos óculos, que realizam a seleção de cada uma das imagens para cada um dos olhos do observador, em sincronia com o dispositivo de projeção. Enquanto a imagem exibida é a imagem para o olho esquerdo, a lente do olho direito é fechada, a visão por este olho é bloqueada e vice-versa. Esse movimento de bloqueio da visão de cada olho é realizado a uma frequência altíssima de forma a criar a ilusão de profundidade. Essa tecnologia não compromete a visualização das cores do modelo, pois não trabalha com filtros ou pares estereoscópicos coloridos (RAPOSO et al., 2004).

A realidade virtual tem sido utilizada no processo de projetos de engenharia mecânica para facilitar a interação e a montagem de protótipos virtuais tridimensionais. Na confecção de protótipos virtuais, a realidade virtual imersiva auxilia usuários em realizar tarefas de montagem dos seus componentes (FAAS et al., 2014). Ambientes virtuais também têm sido utilizados como uma ferramenta valiosa no processo de ensino e aprendizado nas escolas primárias norte americanas. Simulações específicas foram desenvolvidas para aplicação em sistemas de realidade virtual imersiva com o objetivo de auxiliar a investigação científica e fomentar o desejo pelo aprendizado nos alunos. Esses ambientes empregam grandes telas multiusuários para suporte à exploração colaborativa em primeira pessoa (por dois a quatro usuários), à coleta de dados e à construção de hipóteses (MOHER; JOHNSON; CHO, 2001).

De acordo com Rehn et al. (2004), ambientes de imersão permitem investigar resultados de simulações de operações de produção da indústria seriada. Simulações de cenários de linhas de produção já utilizam de sistemas que modelam ambientes bidimensionais, semelhantes às plantas em CAD, mas que não permitem uma interação direta com o usuário (a não ser por comandos de zoom, pause e controle da velocidade da animação). O uso do ambiente de imersão abre caminho para a concepção simultânea de produtos e de seus

processos de produção, além de possibilitar o treinamento dos operários na linha de montagem virtual.

Devido à possibilidade de apresentação de modelos virtuais em tamanho real no ambiente imersivo, os layouts de fábricas virtuais podem ser eficientemente projetados e examinados em termos de requisitos de espaços de circulação e de trabalho para os operários e produtos na linha de montagem. Com a realidade virtual, para além das possibilidades oferecidas pelas aplicações tradicionais de criação de layouts industriais escalonados e apresentados em monitor convencional, os operários podem literalmente entrar na fábrica virtual, manipular os produtos virtuais e avaliar o layout da linha de produção (JAYARAM et al., 2001).

A "fábrica virtual" é um modelo integrado e interativo de simulação dos principais subsistemas de uma fábrica, considerando-a como um todo, oferecendo-se como um suporte à tomada de decisões operacionais, táticas e estratégicas. Com o uso da fábrica virtual é possível reproduzir as operações reais de uma linha de produção, avaliar e validar a integração entre diferentes subsistemas de produção. Algumas abordagens sobre a fábrica virtual enfatizam o uso da realidade virtual enquanto ferramenta para visualização avançada de projetos industriais, incluindo de seus ambientes internos. O conceito da fábrica virtual também engloba a ideia de um ambiente de informação compartilhado, utilizando-se de tecnologias como o CAD/CAM (*Computer Aided Design/Manufacturing*) em torno do desenvolvimento de um projeto ou produto. A realidade virtual, enquanto ferramenta para o desenvolvimento de fábricas virtuais, enfatiza a representação do ambiente industrial como um espaço virtual tridimensional, utilizando de tecnologia avançada de imersão onde seja possível simular a experiência do trabalhador na linha de produção (JAIN et al., 2001).

A natureza imersiva e interativa dos ambientes de imersão adotados no processo de concepção de edifícios permite ao projetista perceber, compreender e manipular elementos tridimensionais do edifício no ciberespaço (do inglês, *cyberspace*). Dessa forma, o projetista é capaz de compreender imediatamente

os aspectos espaciais do objeto, compreender os principais componentes periféricos e suas relações (como de sistemas de HVAC), experimentar a configuração espacial do layout e apreciar a dimensão estética dos elementos estruturais. Projetos que se utilizam da realidade virtual possuem grande potencial comunicativo (BIOCCA, 1992).

Utilizando-se da modelagem tridimensional e de animações em ambientes de realidade virtual imersiva torna-se possível a realização de simulações para obtenção de melhores soluções de projeto em um espaço de tempo mais curto. A definição do problema e dos critérios do projeto, centrados na geração de soluções para o usuário final estão contidos em uma metodologia que estabelece a eficiência do processo de concepção. Nesse processo, a concepção inicial é realizada sem a utilização do ambiente imersivo e apenas as propostas finais, mais amadurecidas, são modeladas e projetadas no ambiente de imersão em escala real para serem avaliadas mais profundamente. Em projetos de grande complexidade e custos elevados, essas tecnologias são especialmente interessantes pois contribuem para a garantia de soluções mais alinhadas com as necessidades dos usuários e mais amadurecidas dentro de um determinado prazo limitador, reduzindo a possibilidade de decepções futuras. A possibilidade de se experimentar um determinado espaço antes deste estar construído pode resultar na economia de grandes quantidades de tempo e dinheiro na construção. Os projetistas podem observar e avaliar detalhes específicos do projeto enquanto se locomovem pelo ambiente de imersão, literalmente sentido como é se habitar o local resultante. Qualquer alteração necessária no ambiente verificada a partir da navegação é realizada de forma *offline*: o modelo é reeditado no software de modelagem e exportado novamente para o software do sistema imersivo. Através da simulação de diferentes soluções de projeto, grande parte do processo de tentativa e erro inerente ao processo de concepção pode ser eliminado (BROWNING; EDEL, 1995).

O método tradicional de operação dos ambientes de imersão geralmente requer que o modelo tridimensional seja elaborado em ambiente não imersivo. O modelo concluído é então exportado para um segundo software que realizará a conversão

desse modelo em um anáglifo para a projeção. O modelo ou as alterações tem que ser realizadas "offline" ao se finalizar a navegação. Este procedimento restringe as possibilidades de adoção dos sistemas de realidade virtual nas etapas iniciais de concepção do design, limitando o uso da realidade virtual apenas como uma ferramenta de visualização ao invés de uma ferramenta de projeto e modelagem. No intuito de contornar esse problema, pesquisadores da ISU (*Iowa State University* – EUA) desenvolveram uma ferramenta CAD (VADeT – *Virtual Architectural Design Tool*) destinada à modelagem em tempo real dentro dos ambientes de imersão (CHAN; HILL; CRUZ-NEIRA, 1999).

As ferramentas de modelagem virtual em tempo real são desenvolvidas a fim de permitirem a manipulação e edição de superfícies e objetos virtuais através de métodos compatíveis com a manipulação de objetos reais físicos maleáveis. O sistema de rastreamento eletromagnético do ambiente de imersão converte o movimento das mãos do usuário em dados de entrada. As superfícies manipuladas se atualizam em tempo real em função da posição e orientação dos dispositivos de interação utilizados pelo usuário (mouse 3D, por exemplo). O conjunto desses dispositivos configura uma interface humano-computador mais avançada do que aquela oferecida pela estação de trabalho convencional (teclado e mouse) (PERLES; VANCE, 2002).

No processo de concepção de novos produtos, não é suficiente a habilidade de coletar, gerar e compartilhar grandes quantidades de dados. É preciso que inventores e gestores sejam capazes de realizar esse processo colaborativamente. O processo colaborativo de exploração e obtenção de conhecimento em ambientes virtuais foi possibilitado pelo surgimento e avanço dos ambientes de imersão, que diferem das Extranets descritas anteriormente neste trabalho. O senso de presença que surge pela sua utilização transforma a maneira como os dados são explorados, contribuindo para o processo mental de assimilação de informações complexas. Usuários são capazes de ver, navegar e interagir com os dados de uma forma intuitiva, em um contexto completamente tridimensional que preserva relações espaciais fundamentais para o reconhecimento do objeto. O uso desses ambientes virtuais colaborativos (do

inglês, *Collaborative Virtual Environments – CVE*) permite que usuários em diferentes localizações físicas interajam entre si e com os dados compartilhados em um mundo virtual, como se estivessem no mesmo ambiente físico, processo denominado “tele-imersão”. A tele-imersão representa a mais avançada abordagem de integração entre mídias e redes de computadores na otimização dos CVEs. O desenvolvimento de ambientes virtuais colaborativos de tele-imersão requer a revisão sobre os fatores humanos inerentes a esses sistemas, ajustando o foco das pesquisas em HCI (*human-computer interaction*) da manipulação de objetos virtuais para a co-manipulação desses objetos por mais de um agente, o que requer a consideração sobre como se comportam em um ambiente compartilhado. Em ambientes de colaboração remota, questões sobre a comunicação casual e não-verbal também devem ser consideradas (LASCARA et al., 1999).

Recursos computacionais de baixo custo, dispositivos de visualização e redes computacionais estão tornando possível a criação de ambientes colaborativos que são verdadeiramente capazes de encurtar distâncias. Os ambientes colaborativos do EVL (*Electronic Visualization Laboratory, University of Illinois at Chicago*) procuram integrar informações bidimensionais de alta resolução com informações tridimensionais, incorporando uma variedade de modalidades de visualização e interação. A colaboração através de CAVEs foi estudada e desenvolvida também em sua forma "remota", onde usuários de CAVEs localizadas distantes umas das outras podiam compartilhar o mesmo ambiente virtual através de redes computacionais de alta velocidade. Essa tecnologia permitiu a criação de ferramentas utilizadas mais tarde no processo colaborativo de concepção na indústria automobilística (LEIGH et al., 2007). Também foram estudadas ferramentas que permitiram múltiplas perspectivas nos ambientes virtuais colaborativos (CVE's). Entender como participantes imersos em ambientes de realidade virtual com o uso de CAVEs cooperam é essencial para se extrair o potencial colaborativo dessa tecnologia. A colaboração síncrona e assíncrona entre usuários de CAVEs em diferentes localidades (incluindo continentes) é suportada por redes de alta velocidade. Quando os participantes estão imersos (ou tele-imersos) eles são capazes de interagir entre si em um ambiente virtual

compartilhado que pode ser o ambiente do projeto de um novo carro ou de um novo edifício. Ao mesmo tempo em que todos os usuários visualizam o mesmo modelo tridimensional, cada um deles pode escolher um ponto de vista diferente e aplicar filtros a esse modelo de forma que visualize as informações que lhes sejam pertinentes. A sua visualização particular também pode ser compartilhada com outros usuários (PARK; KAPOOR; LEIGH, 2000).

Utilizando-se da tele-imersão, agentes representados como avatares compartilham via web os detalhes de um mundo virtual imersivo a partir de diferentes localidades. Eles não apenas se encontram em uma sala para discutir sobre a estrutura de um edifício, por exemplo. Eles se encontram no próprio edifício. Atualmente, essa é a tecnologia que oferece a simulação mais próxima possível da experiência física. Nos ambientes tele-imersivos os usuários experimentam um grande senso de presença, mais intenso do que teriam com o uso de qualquer outra mídia colaborativa, o que representa uma nova dimensão de colaboração virtual (LEIGH et al., 1999).

Apesar da maioria das aplicações de prototipagem virtual em ambientes de imersão ser desenvolvida para operar a partir de modelos CAD existentes, aplicações para modelagem tridimensional dentro do ambiente já foram desenvolvidas. Essas aplicações pretendem possibilitar a criação rápida, edição e visualização de volumes complexos através de comandos de voz e gestuais. Um estudo comparativo sobre a geração de volumes tridimensionais entre diferentes sistemas CAD e uma aplicação de modelagem no ambiente de imersão chamada *Virtual Design Studio* (VDS) mostrou que a geometria pode ser criada no sistema VDS utilizando-se apenas metade das etapas convencionais de modelagem, alcançando-se uma produtividade de dez a trinta vezes maior. Utilizando de ferramentas dessa espécie, os analistas podem determinar e realizar alterações em tempo real na forma do produto para alcançar melhores resultados de eficiência funcional, reavaliando posteriormente os resultados dessas alterações. Essas ferramentas também possuem recursos de inserção de planos de corte movidos pelas mãos do usuário e atualizados em tempo real (JAYARAM et al., 2001).

De fato, ainda são necessários diversos avanços para essas aplicações, referentes às especificações de hardware (sistemas de rastreamento, de projeção, de feedback tátil) e de software (integração CAD-VR, gráficos em tempo real, projeto colaborativo sincronizado na filosofia dos CVEs, interoperabilidade). Entre os avanços no contexto dos sistemas imersivos baseados em projeção, é preciso que se desenvolva a possibilidade de rastreamento de múltiplos usuários. Geralmente, uma única pessoa utiliza os dispositivos de rastreamento de posição e movimentos, de forma que os outros participantes terão que ver a mesma imagem que é gerada pela leitura dos movimentos do primeiro, o que dificulta o entendimento concomitante do objeto virtual por mais de um usuário, inibindo a comunicação entre eles (JAYARAM et al., 2001).

De acordo com Kalisperis et al. (2002), à época do surgimento dos sistemas de realidade virtual baseados em projeção (*projection-based VR*), nos anos 90, não obstante à sua boa performance, eram tão caros que apenas alguns poucos puderam ser construídos. Ainda hoje, embora tenham se tornado mais duráveis e de menor custo, o uso desses sistemas é restrito a poucos grupos de pesquisa. Enquanto muitos esforços têm sido realizados no intuito de aplicar RV à solução de problemas práticos de uma vasta gama de disciplinas, para muitos potenciais usuários a realidade virtual continua representando uma busca dificultosa, frequentemente necessitando que pesquisadores trabalhem para muito além das fronteiras de seus campos de conhecimento (OTTO et al., 2003).

Projetistas são geralmente muito resistentes quanto à ideia de substituírem as ferramentas que vêm utilizando há cerca de vinte anos e terem que adotar uma nova tecnologia. É natural esperar que no futuro, todos os projetos tridimensionais sejam elaborados em verdadeiros ambientes tridimensionais e não em representações de modelos tridimensionais em telas bidimensionais. A mudança é esperada de forma gradual, em direção à adoção de uma ferramenta mais eficiente que promete revolucionar o processo de projeto (JAYARAM et al., 2001).

Atualmente existem diversos ambientes de imersão distribuídos por universidades, centros de pesquisa e tecnologia e empresas ao redor do mundo. A seguir são apresentados alguns exemplos e seus respectivos avanços.

CAVE™ / CAVE2™ – *Electronic Visualization Laboratory (EVL)* / Universidade de Illinois em Chicago (*University of Illinois at Chicago*), EUA

A primeira CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*) foi desenvolvida em 1992 na Universidade de Illinois em Chicago (UIC), Estados Unidos, por Tom DeFanti e Carolina Cruz-Neira. O sistema consiste em uma sala cúbica com três metros de lado, cujas faces (exceto o teto e a face lateral de acesso) são anteparos de projeção de imagens por projetores estereoscópicos. As imagens estereoscópicas são visualizadas com óculos 3D de estereoscopia ativa. Também fazem parte do sistema dispositivos de rastreamento eletromagnético do movimento da cabeça (localizado nos óculos de estereoscopia ativa) e das mãos do usuário (no mouse 3D ou “varinha”), a fim de produzir a perspectiva correta de acordo com o ponto de vista que ele procura ao se movimentar (perspectiva centrada no observador). Um sistema de áudio estéreo realiza a sonorização. Múltiplos usuários podem ocupar a CAVE, interagindo entre si. Na CAVE, hardware e software devem funcionar de forma integrada, característica muito complexa de se obter. O verdadeiro desafio está na utilização de softwares que ofereçam suporte ao desenvolvimento de aplicativos para RV (BERTOL, 1997; CRUZ-NEIRA, 1996; LEIGH et al. 1999).

Sistemas imersivos de realidade virtual baseados em projeções (*projection-based systems*), como a CAVE, permitem que o usuário participe diretamente na cena gerada por computador, através de uma experiência completamente imersiva, com exploração do ambiente pelo movimento da cabeça, navegação pelo caminhar e manipulação dos objetos virtuais por gestos das mãos e dedos (CRUZ-NEIRA, 1996).

A possibilidade de incorporar simulações em tempo real dos objetos de investigação da ciência, provê ao pesquisador-usuário um arcabouço de

informações qualitativas e quantitativas que somado ao seu repertório de conhecimentos e sua intuição sobre o problema, permite a exploração e seleção de dados para que obtenha *insights* assertivos sobre o fenômeno investigado (CRUZ-NEIRA; SANDIN; DEFANTI, 1993).

Entre outras diversas aplicações, a CAVE foi utilizada na avaliação de propostas finais (as mais efetivas) no processo de concepção de layout de determinados espaços de um hospital, os quais deveriam ser projetados de forma a atender um rigoroso critério de ventilação. O fluxo de ar dentro do ambiente foi simulado e apresentado no ambiente imersivo, permitindo ao projetista entender os efeitos de determinados elementos do ambiente (como aberturas, disposição do mobiliário, fontes de ventilação mecânica) sobre a distribuição de partículas do ar possivelmente nocivas aos usuários daquele espaço. A modelagem tridimensional de objetos no ambiente imersivo é mais rápida, fácil e intuitiva do que utilizando software CAD. Todo o processo de modelagem (utilizando-se o mouse 3D/varinha) e de simulação do fluxo do ar foi realizado dentro da CAVE (GIALLORENZO et al., 1999).

Pesquisas anteriores mostraram que a produtividade utilizando-se a CAVE pode superar o dobro da produtividade utilizando-se desenhos impressos. Vários projetos no EVL procuraram integrar pessoas dispostas em localidades diferentes em um ambiente de trabalho virtual compartilhado, entre eles: Continuum, LambdaVision, SAGE, Varrier e Dynallax (que permitem a visualização de imagens estereoscópicas sem o uso de óculos de estereoscopia), AGAVE, NG-CAVE (que procura integrar todas as tecnologias anteriores) (LEIGH et al., 2007).

A NG-Cave pode ser considerada o projeto inicial da atual CAVE2. A CAVE2 *Hybrid Reality Environment* é um sistema de realidade virtual imersiva único no mundo, baseado em monitores planos (e não em projeção, como a primeira CAVE) dispostos lado a lado configurando uma sala de formato cilíndrico. Ela permite a visualização de gráficos 2D e 3D simultaneamente. Esta sala circular com aproximadamente sete metros e meio de diâmetro por dois metros e meio de altura é composta por 72 painéis de LCD estereoscópicos (que emitem imagens

3D estereoscópicas), criando um ambiente panorâmico de 320 graus. Não se tratam de TVs LCD convencionais, mas de painéis customizados com filtros polarizadores. A CAVE2 foi concebida para suportar diversos modos de operação: o espaço inteiro pode ser dedicado a uma simulação virtual tridimensional imersiva, ou a visualizações de gráficos bidimensionais, funcionando como uma grande parede de LCDs convencional. No modo híbrido, é possível ter diversas aplicações 2D e 3D, em funcionamento ao mesmo tempo (LEIGH et al., 2007).

C2/C4/C6 – Virtual Reality Applications Center (VRAC) / Universidade Estadual do Iowa (Iowa State University), EUA

O C6 é um sistema de realidade virtual baseado em projeção. Em suas versões iniciais foi denominado por C2 e posteriormente C4. É composto por um cômodo cúbico (completo) constituído por três paredes fixas, uma móvel (acesso), um piso e um teto. Projetores lançam imagens estereoscópicas computacionais em todas as seis superfícies. Os movimentos da cabeça do usuário são capturados por rastreadores magnéticos sem fio enquanto os movimentos das mãos são rastreados por luvas de dados (do inglês, *data gloves*) ou “varinhas” (do inglês, *wand*). Os modelos tridimensionais podem ser alterados pelo projetista a partir de gestos naturais das mãos. A análise interativa das intervenções nos modelos realizada neste ambiente imersivo permite que várias pessoas discutam simultaneamente os resultados de possíveis soluções desenvolvidas em tempo real. Movimentos naturais das mãos tornam a modificação do modelo mais fácil e o rastreamento da posição do olhar do observador facilita a observação intuitiva da geometria tridimensional (RYKEN; VANCE, 2000; CHIPPERFIELD; VANCE, 2005).

Estudos na C6 avançam em direção à incorporação de recursos táteis aos ambientes de imersão. Já é possível se tatear objetos virtuais – ainda que de forma incipiente – através de dispositivos de feedback háptico como o PHANTOM 1.5. Os benefícios envolvidos na adoção desse equipamento giram em torno da facilidade de manipulação de peças complexas em atividades de prototipagem ou montagem virtual (do inglês, *virtual prototyping* e *virtual assembly*) tornando este

processo mais rápido e intuitivo do que se utilizando apenas teclado e mouse ou dispositivos de rastreamento eletromagnético. O feedback tátil também provê mais informações sobre a geometria do objeto para além do que oferece a visualização avançada, aumentando a percepção sobre o mesmo (FISCHER; VANCE, 2003).

VR-Desktop – Immersive Environments Lab (IEL) / Universidade Estadual da Pensilvânia (Pennsylvania State University), EUA

À época do planejamento e execução desse projeto, o objetivo do grupo de pesquisa foi a criação de um sistema de realidade virtual acessível a uma variedade maior de usuários considerando suas habilidades computacionais, métodos de trabalho e orçamentos, de forma que pudessem compreender os benefícios dos ambientes de imersão, estendendo o alcance da utilização desses sistemas à comunidade acadêmica e à indústria. Para isso procuraram desenvolver um sistema de baixo custo, empregando tecnologias e componentes de hardware já disponíveis no mercado. Denominado VR-Desktop, o sistema foi inicialmente concebido como uma tela panorâmica para imersão tridimensional, destinado ao desenvolvimento e visualização de projetos. Foi equipado com duas grandes telas, posicionadas lado-a-lado, com uma angulação de 120 graus entre elas. Segundo os pesquisadores, essa angulação produziria uma sensação de imersão semelhante àquela oferecida pela CAVE™ da Universidade de Illinois, em Chicago (pioneira e mais avançada nesse tipo de ambiente de imersão) (KALISPERIS et al., 2002). No ano de 2003, o IEL transformou a estrutura de duas telas em um conjunto de três telas. O objetivo da mudança foi ampliar a sensação de imersão para o usuário – pela consideração da visão periférica – e criar a possibilidade de acomodar uma audiência maior quando necessário (OTTO et al., 2003).

De acordo com Otto et al. (2003), a justificativa para a criação do VR-Desktop foi a baixa aceitação da primeira geração dos sistemas de RV baseados em projeção (CAVEs). Os autores atribuem essa situação a três principais fatores: 1) a pouca acessibilidade à suas configurações tecnológicas avançadas, incluindo aos

aplicativos de realidade virtual que pudessem ser adotados por usuários não familiarizados com programação; 2) um ambiente de programação para não-programadores e 3) o alto custo inerente à aquisição e manutenção dessas estruturas.

No VR-Desktop os estudantes de arquitetura puderam trabalhar através de uma interface computacional familiar (Windows), utilizando a experiência de realidade virtual exploratória em escala humana e display estereoscópico para incrementar a qualidade de seus trabalhos, através de uma melhor compreensão das relações arquitetônicas envolvidas (OTTO et al., 2003).

CAVERNA Digital – Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI) / Universidade de São Paulo, BR

A CAVERNA Digital é uma infraestrutura de realidade virtual desenvolvida por pesquisadores do Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI) da Escola Politécnica da USP. Trata-se da primeira “cave” da América Latina, concluída em 2001. É composta por cinco telas de 3x3m: quatro laterais e o piso. Conta com instalações avançadas de áudio e sensores de rastreamento de movimento, oferecendo alto grau de envolvimento para o usuário. São utilizados 24 computadores (*cluster*) que trabalham em conjunto produzindo um desempenho equivalente ao das supermáquinas gráficas utilizadas nas CAVEs dos grandes centros de pesquisa norte americanos. A tecnologia desenvolvida na CAVERNA Digital foi utilizada posteriormente na concepção e montagem do sistema de realidade virtual da Universidade de Iowa (EUA), realizada pela empresa brasileira Absolut Technologies, bem como em diversos outros centros de pesquisa ao redor do mundo (ZUFFO et al., 2001).

3. MÉTODO

Segundo Freitas e Ruschel (2010), muitas pesquisas têm sido empreendidas no intuito de se identificar as vantagens concernentes à utilização da realidade virtual imersiva e as dificuldades de inserção deste recurso na forma de projetar dos profissionais. De acordo com Sobrinho e Haguenuer (2013), é latente a necessidade de desenvolvimento de novos métodos para avaliação das novas mídias digitais, nas quais se incluem as diferentes variações de realidade virtual.

O método de pesquisa adotado neste trabalho define-se como qualitativo e exploratório. Procura realizar uma comparação qualitativa do nível de percepção sobre o objeto representado virtualmente (ambiente interior de um edifício), entre duas situações: utilizando-se infraestrutura para Realidade Virtual não Imersiva (RVnI) e para Realidade Virtual Imersiva (RVI).

A tecnologia utilizada na pesquisa para o caso do ambiente de Realidade Virtual não Imersiva é constituída de uma estação de trabalho convencional composta por:

- um computador de alto desempenho com as seguintes configurações: sistema operacional Windows 7 Professional 64 bits; processador Intel Core i7-980 (6 núcleos) 3,33GHz cache 12M, memória RAM de 24GB, 2 discos rígidos (HDs) de 2TB cada; 3 placas de vídeo NVIDIA GeForce GTX 580;
- um monitor LCD Samsung Syncmaster 2033 SW 20";
- um mouse e um teclado usb.

Para o caso do ambiente de Realidade Virtual Imersiva, foi utilizado o Ambiente de Imersão Virtual de Tecnologia Simplificada da Escola de Arquitetura da UFMG, denominado AIVITS, composto por:

- mesmo computador de alto desempenho citado anteriormente;
- três módulos de projeção idênticos equipados com um projetor estereoscópico e um espelho (cada). Dois são equipados com o projetor DepthQ HDs3D-1 (HDMI, 120Hz) e um com o modelo DepthQ WXGA (VGA,

60Hz);

- uma grande tela panorâmica de tecido sintético com dimensões de 1,70m de altura por 6,81m de largura, elevada a 0,4m do piso;
- óculos de estereoscopia passiva (filtro simples);
- um mouse e um teclado usb.

Entre o período de março/2013 a março/2014 foram registrados os procedimentos para a recomposição do Ambiente de Imersão Virtual de Tecnologia Simplificada – AIVITS – da Escola de Arquitetura da UFMG, realizada por quatro bolsistas de extensão universitária do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da mesma Escola e pelo autor desse trabalho. A seguir, apresenta-se uma breve descrição das atividades realizadas neste período, incluindo os obstáculos encontrados e suas soluções.

- Montagem da estrutura física do Ambiente de Imersão:

Composto por três “gaiolas” que comportam uma única tela de tecido sintético e três projetores estereoscópicos. O grande desafio foi estabelecer uma única imagem de alta resolução em uma única tela formada pela continuidade das três projeções. Para ilustrar: em um PC convencional, tem-se um monitor (conectado a uma única placa de vídeo). Em PCs que possuem duas placas de vídeo é possível conectar um segundo monitor. Eles funcionarão independentemente e o sistema operacional terá à disposição duas telas (áreas de trabalho) onde em cada uma é possível maximizar uma janela, de aplicativos diferentes ao mesmo tempo. Na estrutura do ambiente de imersão, comparativamente, foi necessário que três placas de vídeo disponíveis fossem conectadas cada uma a um projetor. Cada projetor projetava uma área de trabalho em um terço da tela panorâmica. Foi preciso configurar essas placas de vídeo para que uma única janela de aplicativo ocupasse as três áreas de trabalho disponíveis (dos três projetores ativos). Isso apenas foi possível ao se utilizar os dois projetores HDMI no modo VGA.

- Configuração dos projetores especiais:

Os projetores HDMI (DepthQ HDs3D-1) foram adquiridos segundo especificação técnica exigida para o pareamento adequado com os óculos de estereoscopia ativa NVIDIA GEFORCE 3D VISION READY. Os óculos acompanham um software específico que realiza a comunicação entre eles e os projetores HDMI e um emissor infravermelho USB que, conectado ao CPU, emite sinais para os óculos. Entretanto, mais tarde, foi constatado que estes óculos não eram compatíveis com o outro modelo de projetor (DepthQ WXGA) existente e anterior à compra dos novos modelos HDMI. Este projetor mais antigo, do tipo VGA, não possuía frequência de renovação de frames (Hz) suficiente para o uso dos óculos de estereoscopia ativa (óculos GEFORCE 3D VISION). Buscou-se trocar o VGA por outro HDMI a fim de otimizar a compatibilidade e possivelmente o funcionamento do AIVITS. No entanto, não foi possível a aquisição de um novo projetor HDMI por dificuldades de financiamento. Outra dificuldade encontrada foi com relação ao funcionamento dos óculos de estereoscopia ativa: todas as vinte unidades armazenadas (por cinco anos) estavam defeituosas (suspeita-se que o tempo de vida das baterias internas dos óculos prescreveu). Seguiu-se para a realização de testes com o uso dos óculos de estereoscopia passiva (filtro simples), que confirmaram a possibilidade de obtenção do efeito da estereoscopia, entretanto, com perda massiva de qualidade da imagem. Nesse caso, os dois projetores HDMI foram utilizados no modo VGA.

- Desenvolvimento da maquete virtual estereoscópica do ambiente do hall de acesso do edifício da Escola de Arquitetura da UFMG, utilizando-se os softwares Sketch Up e Unity:

Para obtenção de animações tridimensionais estereoscópicas, verificou-se a possibilidade de desenvolver as maquetes com o Sketch Up, exportadas em extensão .3ds para o software Unity que realizou posteriormente a conversão do modelo não estéreo para o formato estéreo. Este software também importa modelos dos aplicativos Revit e do ArchiCAD, permitindo que estes modelos

BIM possam ser transformados em imagens estereoscópicas. A maquete foi confeccionada no Sketch Up, exportada em extensão .3ds e tratada com a aplicação de cores e texturas no Unity.

A seguir são apresentadas fotografias do AIVITS que datam do mês de novembro de 2013 (Figuras 3.1 a 3.7).



Figura 3.1 – Tela panorâmica do AIVITS. Elaborado pelo autor.



Figura 3.2 – Tela panorâmica e módulo de retro projeção. Elaborado pelo autor.



Figura 3.3 – Módulos de projeção por trás da tela panorâmica. Elaborado pelo autor.



Figura 3.4 – Os três módulos de projeção. Elaborado pelo autor.



Figura 3.5 – Computador de alto desempenho. Elaborado pelo autor.



Figura 3.6 – Óculos de estereoscopia ativa.
Elaborado pelo autor.



Figura 3.7 – Óculos de estereoscopia passiva.
Elaborado pelo autor.

O AIVITS é o primeiro Ambiente de Imersão do estado de Minas Gerais e pretende oferecer uma interface para facilitar o compartilhamento de dados e conhecimentos entre projetistas, integrando-os em um processo colaborativo. O objetivo geral do sistema é viabilizar a experiência virtual imersiva no âmbito da representação tridimensional e da interpretação de projetos de construção civil. Os aspectos técnicos referentes aos softwares, hardwares e demais equipamentos do AIVITS se basearam nas configurações do projeto VR-Desktop, do Laboratório de Ambientes de Imersão (*Immersive Environments Lab*) da Universidade Estadual da Pensilvânia (*Penn State University*), EUA.

O projeto AIVITS foi pausado em 2009 e retomado em abril de 2013. A principal investigação em andamento é a do desenvolvimento de uma interface compatível com o software Sketch Up, um aplicativo comum no âmbito do processo de concepção de projetos de arquitetura, visando sua utilização em projeção estereoscópica. Para isso, tem-se explorado as funcionalidades do software Unity, uma plataforma para desenvolvimento de jogos digitais.

O esquema de funcionamento do sistema é apresentado na Figura 3.8. Primeiramente, a maquete virtual é desenvolvida no software Sketch Up e então exportada para o Unity, que é capaz de criar o par de imagens estereoscópicas e uni-las em um anáglifo (modelo estereoscópico). Este procedimento é realizado utilizando-se o computador mencionado anteriormente que também realiza a distribuição dessa imagem para os três projetores estereoscópicos, a partir de

suas três placas de vídeo. A imagem é então projetada simultaneamente sobre os espelhos dos módulos de projeção e rebatida para a tela panorâmica. Utilizando-se dos dispositivos de navegação (teclado e mouse convencionais) e dos óculos de filtro simples o usuário é capaz de se locomover através do espaço virtual percebendo profundidades.

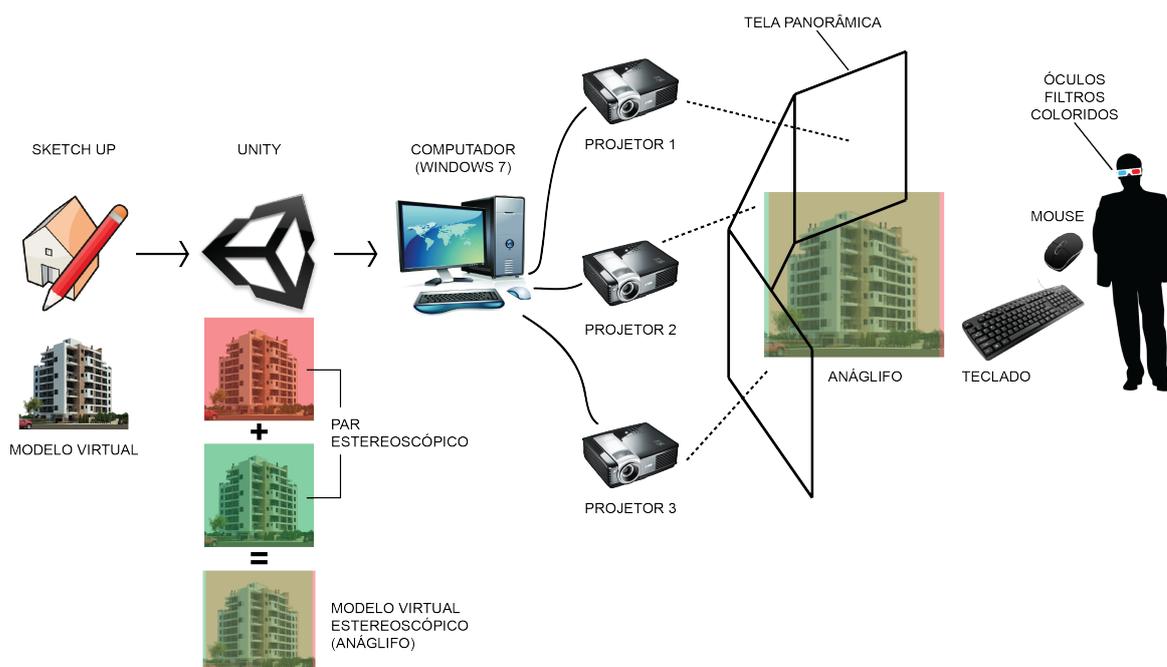


Figura 3.8 – Esquema de funcionamento do AIVITS. Elaborado pelo autor.

Faas et al. (2014) consideram presença e imersão como atributos, ferramentas necessárias ao processo de concepção e investigam se o nível de engajamento na atividade de concepção está relacionado à melhores performances e melhores projetos. Em sua investigação, utilizam os "Questionários de Presença" criados por Witmer e Singer (1998), compostos por questões subjetivas e pessoais. Porém, são criticados por diversos autores que defendem que esses questionários não são capazes de coletar a sensação de presença, mas as propriedades dos sistemas de realidade virtual. Por outro lado, os PQs (do inglês, *Presence Questionnaires*) são úteis ao padronizarem o processo de coleta de informações para estudos dessa natureza e têm sido usados para comparar presença entre ambientes virtuais e ambientes físicos. São compostos por cerca de vinte questões, cujas respostas variam dentro de uma escala.

O procedimento de coleta de dados para este trabalho se baseou na submissão dos Questionários de Verificação de Percepção (QVP) para preenchimento pelos participantes da pesquisa, em ambas as situações (OLIVEIRA, 2003). A aplicação desses questionários permitiu coletar a percepção dos participantes. Outro questionário utilizado no experimento, intitulado Questionário de Caracterização do Perfil do Participante (QCPP), também foi baseado sobre aquele desenvolvido e utilizado por Oliveira (2003). As metodologias utilizadas nos trabalhos de Oliveira (2003) e Fracaroli (2006), referências para o presente procedimento experimental, são fundamentadas pelos estudos de Okamoto (1999), Gifford (2002), Rohrer (1997) e Bertol (1997).

O procedimento experimental completo foi realizado nas seguintes etapas (descritas detalhadamente em seguida):

1. Definição do ambiente de estudo;
2. Desenvolvimento das maquetes/ambientes virtuais;
3. Elaboração dos questionários (QCPP e QVPs);
4. Ensaio do experimento;
5. Definição e caracterização dos participantes, utilizando-se o QCPP;
6. Apresentação da animação a cada um dos participantes em RV não Imersiva e aplicação concomitante do QVP RVnI;
7. Apresentação da animação a cada um dos participantes em RVI e aplicação concomitante do QVP RVI;
8. Visita do participante ao ambiente físico e aplicação concomitante do QVP AF;
9. Análise dos dados coletados.

Na primeira etapa, estabeleceu-se como ambiente de estudo o hall de acesso do edifício da Escola de Arquitetura da UFMG (Figura 3.9). Os critérios para sua escolha foram: facilidade de coleta de informações (desenhos técnicos e levantamentos); facilidade de visita ao ambiente físico; nível de complexidade moderado em termos de proporções, formatos e diversidade de elementos construtivos; proximidade física ao Laboratório Radamés (onde está situado o AIVITS).



Figura 3.9 – Hall da Escola de Arquitetura da UFMG. Elaborado pelo autor.

Na etapa 2, os alunos bolsistas de extensão universitária do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFMG, ambos do 4º período do curso, confeccionaram as maquetes virtuais para cada plataforma, RV não Imersiva e RVI. Primeiramente, a partir de desenhos técnicos do projeto de reforma do edifício, foi elaborada uma maquete virtual do ambiente utilizando-se o software Sketch Up Pro (versão 8.0.3117), para os testes com RV não Imersiva. Esta maquete foi então exportada em extensão .3ds e importada pelo Unity (versão 4.0.1F2). Neste software foi possível criar uma maquete em formato estereoscópico (o anáglifo) que serviria posteriormente para os testes com RVI. As Figuras 3.10 e 3.11 a seguir apresentam imagens das maquetes virtuais para os sistemas não imersivo e imersivo, respectivamente.

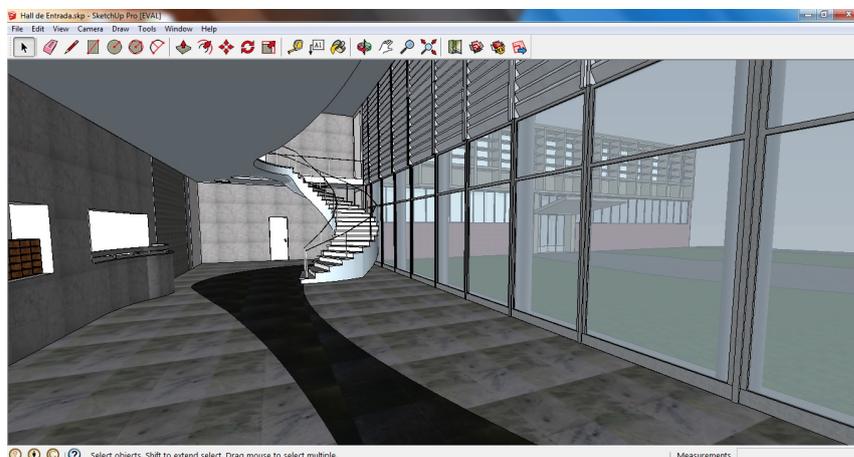


Figura 3.10 – Maquete virtual para ambiente não imersivo. Elaborado pelo autor.



Figura 3.11 – Maquete virtual estereoscópica para Ambiente de Imersão. Elaborado pelo autor.

Optou-se neste trabalho pelo desenvolvimento de animações do tipo exploratória e simplificada (RUSCHEL; FRACAROLI; SILVA, 2005). A realidade virtual exploratória é aquela em que o usuário pode explorar o ambiente virtual definindo seu próprio percurso, detendo-se nos pontos que desejar e focalizando a cena que lhe convier. O termo “simplificada” diz respeito ao grau de realismo da animação, que neste caso não possui recursos de *rendering* como luz, sombra e texturas em relevo. Tem-se portanto a criação de dois ambientes de realidade virtual:

1. Ambiente de Realidade Virtual não Imersiva exploratória simplificada (RVnI – estação de trabalho convencional);
2. Ambiente de Realidade Virtual Imersiva exploratória simplificada (RVI – AIVITS).

A animação de cada um dos dois ambientes virtuais foi configurada para o observador em primeira pessoa, com altura do ponto de vista igual a 1,70 metro. Tanto a resolução do monitor LCD para a RVnI quanto dos projetores do Ambiente de Imersão foram configuradas em 1280 x 720 pixels. Dois dos projetores (os HDMLs) foram utilizados com taxa de atualização de 120Hz (120 atualizações da imagem por segundo) e o terceiro (o VGA) com 60Hz, assim como o monitor LCD. A distância entre os olhos do participante e a imagem era de aproximadamente 60cm para o monitor e 210cm para a tela panorâmica. Essa última distância foi definida tendo como referência os ângulos do campo de visão dentro dos quais a percepção humana pode ser considerada ótima: 180°

horizontais e 120° verticais (BERTOL, 1997). Dessa forma, procurou-se posicionar o participante diante da tela panorâmica como mostrado na Figura 3.12 (em planta) e na Figura 3.13 (em vista lateral), obtendo-se os ângulos de 140° horizontais e 44° verticais.

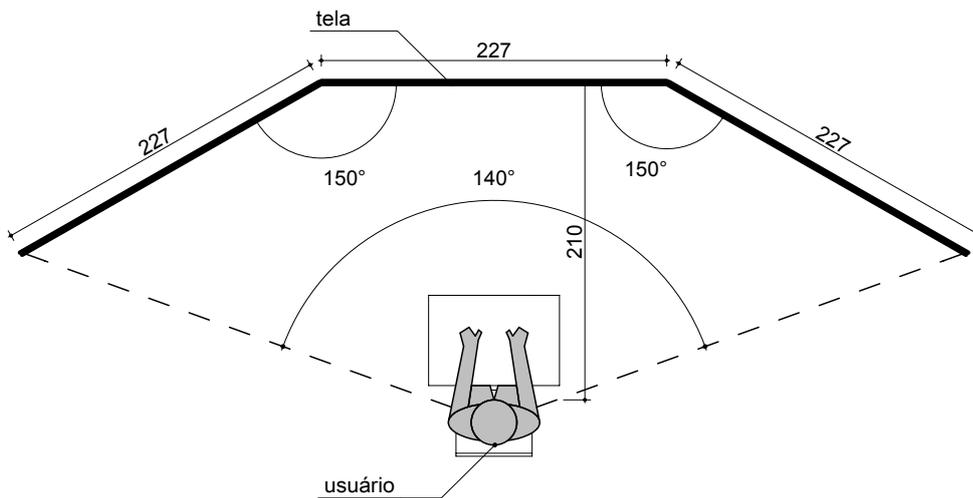


Figura 3.12 – Posição do participante ao utilizar o AIVITS (planta). Elaborado pelo autor.

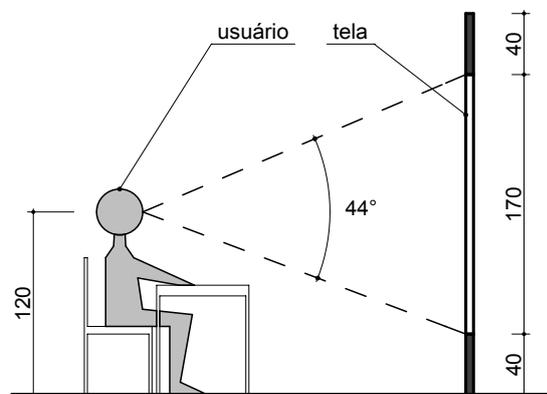


Figura 3.13 – Posição do participante ao utilizar o AIVITS (vista lateral). Elaborado pelo autor.

Na etapa 3 foram elaborados os questionários de Caracterização do Perfil do Participante (QCPP) e de Verificação de Percepção (QVP), de acordo com os estudos de Oliveira (2003), Fracaroli (2006) e Faas et al. (2014). O QCPP procura coletar características individuais que podem funcionar como filtros condicionantes do nível de percepção do espaço pelo usuário e se encontra no Apêndice 2 deste trabalho.

Os QVPs são compostos por perguntas objetivas que tiveram como base os aspectos físicos do ambiente em estudo (dimensões, formas, disposição no espaço, etc.). As perguntas objetivas permitem opções de respostas também objetivas como sim, não ou valores numéricos. Como discutido anteriormente, dentre os fatores determinantes para se experimentar a presença em ambientes de realidade virtual se encontra a noção espacial: uma consciência adquirida pelo usuário sobre o espaço que o envolve. É a partir desse fator que as perguntas dos QVPs foram criadas. Para a verificação da noção espacial, as questões procuraram estimular a percepção do participante em relação a: distâncias verticais, formato e área do espaço (pela avaliação da capacidade de lotação), quantidade e localização espacial de elementos, distâncias horizontais e distância entre elementos.

Evitou-se a inclusão de questões subjetivas aos QVPs após a constatação na bibliografia (WITMER; SINGER, 1998; OLIVEIRA, 2003; FRACAROLI, 2006; FAAS et al., 2014) de que este tipo de questão poderia conduzir a dados de baixa relevância ou a conclusões inconsistentes. Ademais, as questões subjetivas utilizadas por Oliveira (2003) e Fracaroli (2006) adotavam uma escala de conforto ergonômico como métrica (ex.: “espaço suficiente” ou “espaço insuficiente”). Acredita-se que tal escala contribui ainda mais para incrementar-se a subjetividade dos questionários, visto que o conceito e a avaliação sobre conforto ergonômico é bastante variável entre indivíduos. Nos QVPs deste trabalho, as seis alternativas possíveis de resposta (letra “a” à letra “f”) foram dispostas numa sequência de forma que a alternativa “a” fosse a mais discrepante da alternativa “e” e ainda, de forma que a alternativa “a” e “e” fossem igualmente distantes da alternativa central “c”. A alternativa “f” é igualmente distante de todas as outras e significa percepção inexistente para os fins dessa pesquisa (anula a questão).

Para cada ambiente visitado foi desenvolvido um QVP, sendo portanto, três questionários diferentes: o QVP RVnI destinado aos testes no ambiente de Realidade Virtual não Imersiva, o QVP RVI para o ambiente de Realidade Virtual Imersiva e o QVP AF, utilizado no Ambiente Físico. Os QVPs utilizados nos testes

dos ambientes de realidade virtual (QVP RVnI e QVP RVI) possuíam sete questões idênticas, mas ordenadas de forma diferente. O QVP utilizado nos testes do ambiente físico (QVP AF) possuía as mesmas sete questões – ordenadas também de outra forma – além de outras duas questões adicionais, totalizando nove questões. O objetivo da alteração da ordem das questões entre os três QVPs foi de evitar que o participante, enquanto respondia ao QVP no segundo ou terceiro ambiente, se lembrasse da resposta que havia dado à uma determinada questão no QVP anterior. Acreditou-se que este fator pudesse condicionar a escolha das respostas dos QVPs. Os QVPs encontram-se no Apêndice 1 deste trabalho.

Esta pesquisa contou com a participação de 30 pessoas, entre profissionais da construção civil (arquitetos e engenheiros), engenheiros de outras áreas envolvidos com atividades de projeto, estudantes de arquitetura e leigos (de outras profissões). Todos os participantes se enquadram dentro dos critérios definidos para a composição da amostra, que foram: idade mínima de 18 anos e grau de escolaridade mínimo igual ou superior a 1º grau completo. Nos estudos de Fracaroli (2006), Oliveira (2003) e Faas et al. (2014) participaram respectivamente 73 (para cada tecnologia analisada), 50 e 30 pessoas.

Todos os participantes que não compõem os grupos de profissionais da área, de engenheiros de outras disciplinas e de estudantes de arquitetura, foram considerados leigos, mesmo que possuíssem formação de nível superior. Os convites foram realizados através de e-mail, contato telefônico, aplicativos de mensagem eletrônica e presencialmente, duas semanas antes do início do experimento. Para cada participante foram agendados data e horário para comparecerem ao Laboratório.

Na quarta etapa foi realizado um ensaio do experimento. O objetivo foi simular o experimento propriamente dito, correspondente às etapas de coleta de dados (etapas 5 à 8). Esta etapa se estendeu por uma semana e permitiu o ajuste de alguns detalhes do procedimento experimental tais como: dos enunciados de algumas questões do QVP, da disposição dos equipamentos para o experimento

no Ambiente de Imersão, da melhor configuração possível em termos de resolução e imagem dos projetores, ajustes nas maquetes virtuais, entre outros. O ensaio permitiu também estimar o tempo do experimento por participante – cerca de 20 minutos.

As etapas 5, 6, 7 e 8 se referem aos procedimentos de coleta de dados e foram realizadas no Laboratório Radamés e no hall de acesso do edifício da Escola de Arquitetura, nesta ordem, com cada um dos participantes. Inicialmente, o participante era introduzido ao objetivo da pesquisa e ao procedimento experimental mediante explanação do pesquisador. Após breve treinamento sobre como utilizar o mouse e o teclado para exploração dos ambientes virtuais, o participante foi apresentado às duas animações – primeiro à animação não imersiva, depois à animação imersiva. O participante explorava cada um dos ambientes virtuais até que respondesse a todas as questões do QVP. O tempo utilizado nestas tarefas foi registrado. Da mesma forma, cada participante visitava o ambiente físico e respondia ao QVP, com registro do tempo novamente. A Figura 3.14 apresenta momentos do procedimento de coleta de dados enquanto um participante assistia à animação em realidade virtual não imersiva (à esquerda) e em seguida à animação em realidade virtual imersiva (à direita) com o uso dos óculos de estereoscopia passiva.



Figura 3.14 – Participante assistindo à animação em RVnI (esq.) e em RVI (dir.). Elaborado pelo autor.

Na etapa 9 foram realizadas as comparações entre as respostas obtidas sobre a percepção dos ambientes virtuais com as respostas obtidas sobre a percepção do

ambiente físico (RUSCHEL; FRACAROLI; SILVA, 2005). Não se esperou que o participante fosse preciso na percepção do ambiente físico, ou seja, que ele fosse capaz, por exemplo, de dizer qual é a verdadeira altura do pé direito (questão de número 1 do QVP). O objetivo foi comparar o que ele percebeu sobre o pé direito ao visitar o ambiente físico com o que ele percebeu sobre o mesmo pé direito ao visitar os ambientes virtuais.

Essas comparações foram realizadas com o objetivo de se obter os Índices de Manutenção da Percepção (IMP) que serviriam para todas as análises posteriores. A resposta a uma determinada questão do QVP aplicado em um dos ambientes virtuais (RV não Imersiva ou RVI) foi comparada com a resposta à mesma questão quando aplicada na visita ao ambiente físico. A compatibilidade entre as respostas das duas situações indica a capacidade daquela tecnologia em reproduzir a percepção obtida no ambiente físico, considerando-se que essa capacidade existe quando as respostas são idênticas ou não existe quando elas forem diferentes. A partir das comparações foi possível se verificar qual das tecnologias permite uma percepção do ambiente virtual mais próxima da percepção do ambiente físico.

Para essas comparações, foi estabelecida uma escala de valores numéricos para cada uma das possíveis respostas de cada questão, apresentada na Tabela 3.1 (FRACAROLI, 2006). Subtraindo-se o valor numérico da resposta à uma determinada questão aplicada na visita ao ambiente virtual do valor numérico da resposta à mesma questão aplicada na visita ao ambiente físico, obtém-se o nível de semelhança entre as percepções nas diferentes situações, como apresentado na Tabela 3.2, que é o Índice de Manutenção da Percepção (IMP) citado anteriormente (OLIVEIRA, 2003). Quanto mais próximo de zero for o valor absoluto dessa operação, maior é o nível de semelhança entre as percepções. Neste trabalho são analisados apenas os IMPs nulos (diferença igual a zero), pois são representantes de uma percepção idêntica entre as duas situações (ambiente físico *versus* ambiente virtual). Por exemplo: se o valor da resposta à questão 1 na visita ao ambiente virtual for 2 e o valor da resposta à mesma questão na visita ao ambiente físico também for 2 (mesmas respostas), o resultado da subtração

desses valores será nulo, ou seja, o Índice de Manutenção da Percepção é igual a zero e a percepção sobre aquela questão nas duas situações será idêntica. Considera-se que a tecnologia de realidade virtual – RV não Imersiva ou RVI – que obtiver um número maior de resultados nulos é aquela que oferece a percepção sobre o ambiente virtual mais semelhante à percepção sobre o mesmo ambiente em seu formato físico. Em outras palavras, é a tecnologia que oferece a experiência mais próxima da experiência “real”.

Tabela 3.1 – Escala de valores numéricos das respostas das questões do QVP.

| Resposta | Valor numérico |
|----------|----------------|
| a) | 1 |
| b) | 2 |
| c) | 3 |
| d) | 4 |
| e) | 5 |
| f) | sem valor |

Tabela 3.2 – Exemplo de cálculo do Índice de Manutenção da Percepção.

| Questão do QVP | Participante n° X | | Diferença (AV) – (AF) | IMP |
|----------------|--|----------------------|-----------------------|-----------|
| | Valor numérico da resposta escolhida Ambiente Virtual (AV) | Ambiente Físico (AF) | | |
| 1 | 2 | 5 | $2 - 5 = -3$ | 3 |
| 2 | sem valor | 3 | sem valor | sem valor |
| 3 | 3 | 1 | $3 - 1 = 2$ | 2 |
| 4 | 5 | 5 | $5 - 5 = 0$ | 0 |
| 5 | 1 | 2 | $1 - 2 = -1$ | 1 |

Considera-se que a escolha da alternativa “f” (“não consigo avaliar”) significa que o participante não deseja ou tem receio em expressar sua percepção (uma vez que, pelo funcionamento dos sentidos, ela se configura involuntariamente). Nessa situação, não se atribui um valor numérico à essa alternativa e a percepção sobre determinada característica de um determinado ambiente (virtual ou físico) não será mensura e não poderá ser comparada com outras em termos numéricos. Portanto, o IMP dessa questão não será computado.

4. RESULTADOS

Os dados coletados no procedimento experimental dessa pesquisa são apresentados nessa seção. A descrição dos dados é realizada na forma de textos, tabelas e gráficos. Os resultados obtidos a partir dos cruzamentos e interpretações desses dados fundamentarão as conclusões apresentadas nos itens consecutivos (itens 5 e 6). A análise dos dados é realizada segundo os tópicos: perfil dos participantes; manutenção da percepção global; performance das tecnologias; manutenção da percepção por questão e por filtro condicionante.

Durante o procedimento experimental diversos participantes expressaram verbalmente sensações e opiniões. Três participantes relataram ter notado elementos do espaço virtual com maior facilidade utilizando a RVI. Seis participantes demonstraram bastante entusiasmo enquanto ou após utilizarem o Ambiente de Imersão. Dois participantes disseram ter se localizado melhor no espaço virtual utilizando o sistema imersivo. Um único participante relatou ter sentido dores de cabeça após a utilização dos óculos de estereoscopia passiva para visualização na RVI. Por fim, foi possível verificar que outros dois participantes tiveram dificuldades em se movimentar pelo espaço virtual do Ambiente de Imersão com o uso do teclado e mouse convencionais.

4.1 Perfil dos participantes

Para caracterização mais precisa da amostra, parte-se para uma análise do perfil dos participantes do experimento segundo os filtros de percepção apontados por Okamoto (1999): faixa etária, gênero, escolaridade, ocorrência de daltonismo, familiaridade com recursos 3D, conhecimento prévio do ambiente estudado. Adicionalmente, a amostra ainda é caracterizada segundo a profissão dos participantes de acordo com os grupos: arquitetos e engenheiros, estudantes de arquitetura e “outras profissões”.

A média da idade dos participantes da amostra é de 28 anos. O participante mais novo possui 18 e o mais velho, 59 anos. Como mostra a Figura 4.1, a maioria dos participantes se localiza entre as idades de 25 e 31 anos (70% da amostra).

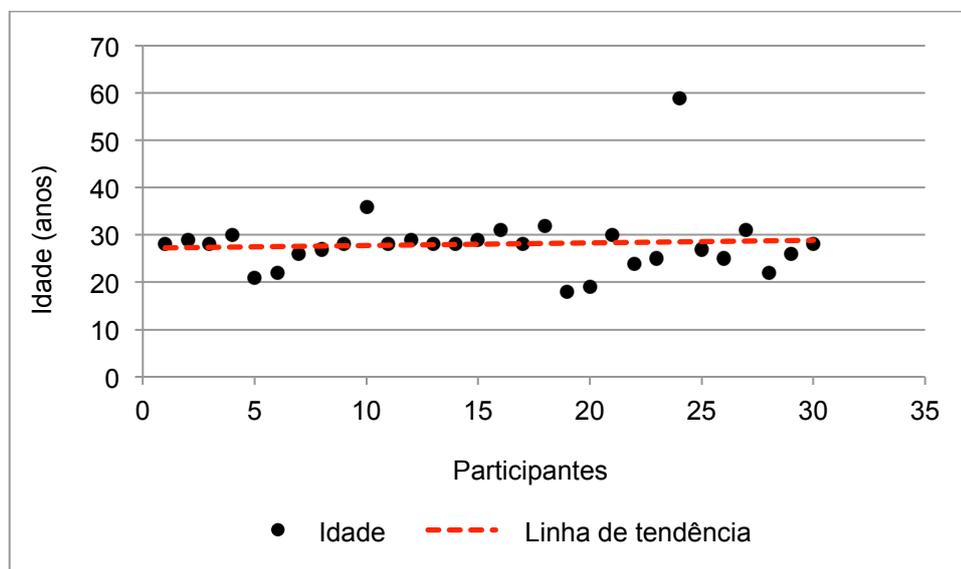


Figura 4.1 – Dispersão etária da amostra.

A Figura 4.2 apresenta a distribuição de gêneros dentro da amostra, onde 43% dos participantes são mulheres (13) e os 57% restantes são homens (17).

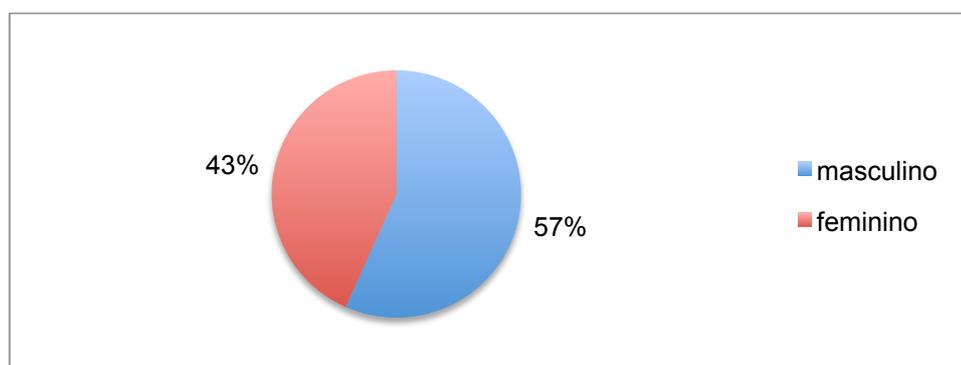


Figura 4.2 – Distribuição de gênero da amostra.

Considera-se como grau de escolaridade do participante o título ou grau mais elevado concluído pelo mesmo. Ou seja, participantes que se enquadram na categoria “2° grau” podem estar cursando o 3° grau mas, como ainda não o concluíram, foram classificados como 2° grau. O mesmo acontece para as demais categorias. A Figura 4.3 apresenta o gráfico de distribuição do grau de

escolaridade dos participantes do experimento, cuja maior fração é de participantes com pós-graduação.

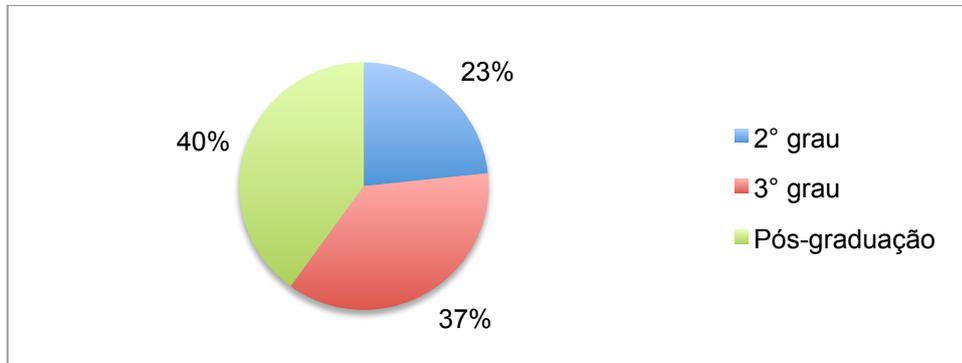


Figura 4.3 – Distribuição do grau de escolaridade da amostra.

A seguir é apresentado o gráfico de distribuição dos conjuntos de profissões da amostra (Figura 4.4), a saber: grupo de arquitetos e engenheiros (profissionais da indústria da construção ou de outras indústrias, envolvidos com a atividade de projeção); grupo de estudantes de arquitetura (arquitetos ainda em formação) e grupo de outras profissões (considerados leigos em termos de conhecimento sobre a atividade de projeto e suas ferramentas). No grupo de arquitetos e engenheiros também foi considerado um único designer, pois considera-se que está envolvido com a atividade de projeto. É importante ressaltar que o grupo de estudantes de arquitetura corresponde exatamente ao grupo com “2º grau” no gráfico anterior (Figura 4.3). Ademais, todos os estudantes de arquitetura – portanto todos os participantes com 2º grau – têm idade entre 18 e 25 anos, localizando-se abaixo da linha de tendência na Figura 4.1.

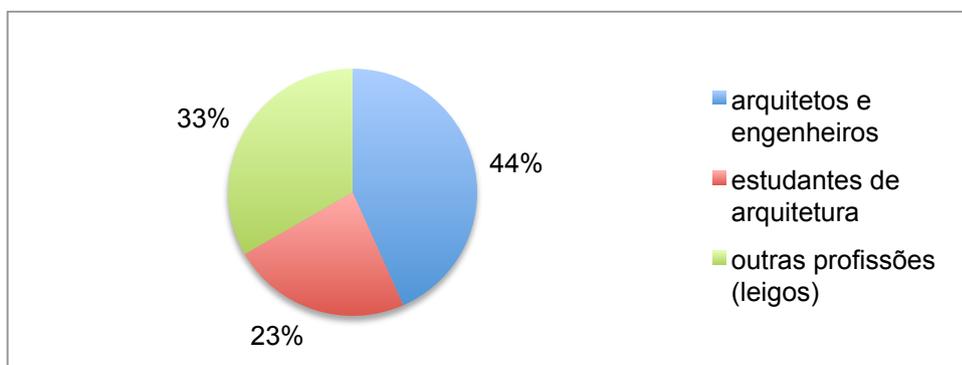


Figura 4.4 – Distribuição dos conjuntos de profissões da amostra.

O gráfico de ocorrência de daltonismo (Figura 4.5) indica que apenas 7% da amostra sofre de daltonismo, uma perturbação da percepção visual caracterizada pela incapacidade de diferenciar todas ou algumas cores, manifestando-se geralmente pela dificuldade em distinguir o verde do vermelho. Os 7% da amostra equivalem a dois participantes, que expressaram ter o distúrbio apenas indicando no questionário (não foi apresentada nenhuma comprovação ou laudo médico).

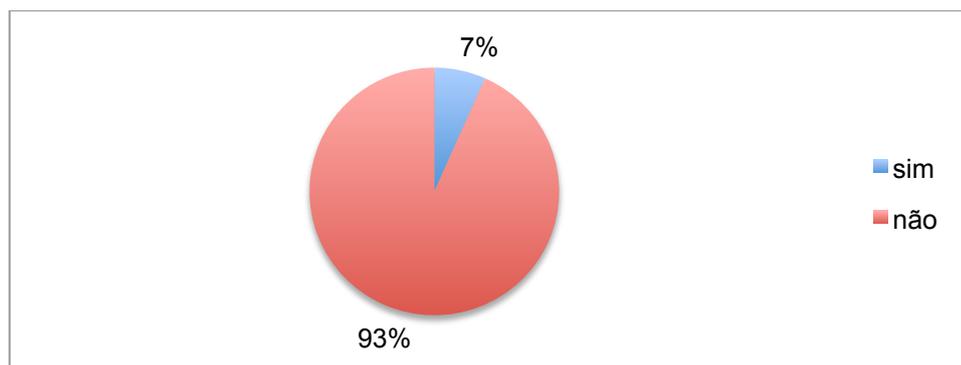


Figura 4.5 – Ocorrência de daltonismo na amostra.

A familiaridade com recursos e ferramentas computacionais de representação tridimensional diz respeito ao conhecimento dos participantes sobre ferramentas digitais de modelagem geométrica. Esperava-se que a porcentagem de participantes com este conhecimento fosse igual ou menor (mas ainda próximo) que a soma das porcentagens de arquitetos e engenheiros e estudantes de arquitetura, de 67% (ver Figura 4.4). Essa expectativa foi confirmada, como mostra a Figura 4.6, com um percentual de participantes com familiaridade com recursos 3D igual a 60%.

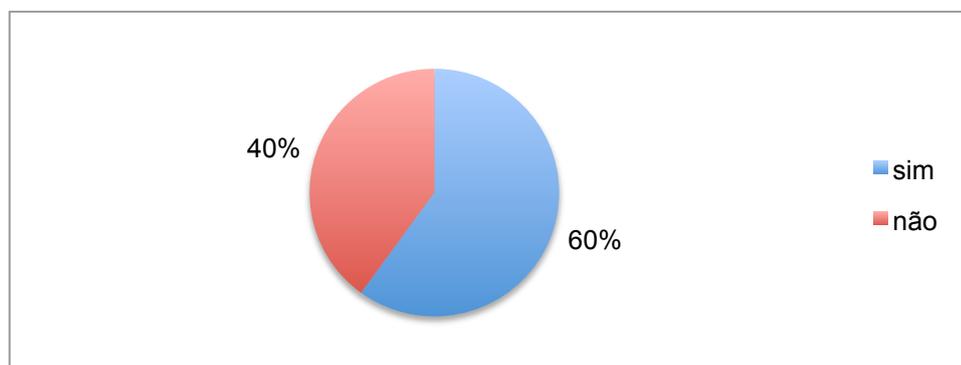


Figura 4.6 – Distribuição de participantes com familiaridade com recursos 3D.

Finalizando a análise do perfil dos participantes, procedeu-se para a caracterização da amostra segundo o conhecimento prévio do ambiente estudado. A Figura 4.7 apresenta os percentuais relativos a este aspecto, onde é possível verificar que 63% da amostra conhecia previamente o ambiente de estudo (hall do edifício da Escola de Arquitetura da UFMG), enquanto os 37% restantes não conheciam.

É importante ressaltar que o grupo com conhecimento prévio do hall (63% da amostra, ou 19 participantes) está completamente contido no somatório dos grupos de “engenheiros e arquitetos” e “estudantes de arquitetura” no gráfico da Figura 4.4 (cujo total é de 67%, ou 20 participantes). Ou seja, quase todos os engenheiros, arquitetos e estudantes de arquitetura possuem conhecimento prévio do hall e nenhum participante pertencente à categoria “outras profissões” da Figura 4.4 tinha conhecimento prévio do ambiente.

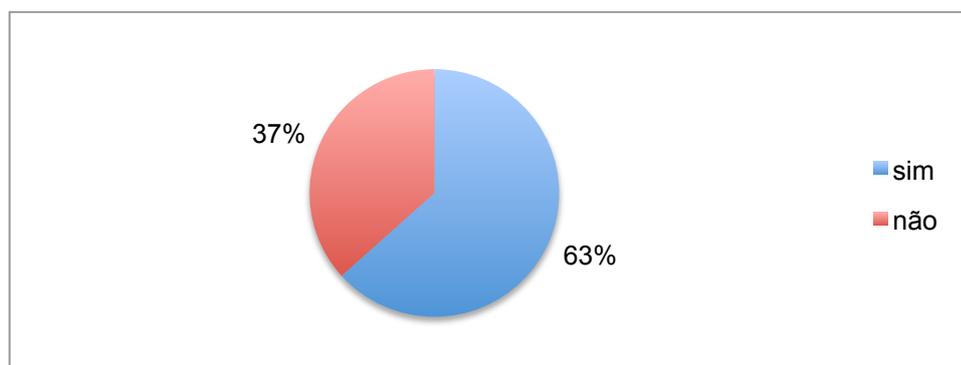


Figura 4.7 – Distribuição de participantes com conhecimento prévio do hall.

4.2 Manutenção da Percepção Global – MPG

De acordo com Fracaroli (2006), a Manutenção da Percepção Global (MPG) é determinada em termos da relação entre IMPs nulos e não nulos. Se o índice é nulo, manteve-se a percepção, caso contrário não se manteve. A diferença das porcentagens de IMPs nulos entre as duas tecnologias (RVnI e RVI) representa a MPG. Foram utilizadas as respostas de todas as questões dos QVPs, exceto das questões 8 e 9 do QVP AF (Ambiente Físico) que coletaram a opinião pessoal e

subjetiva dos participantes a respeito da similaridade das animações com o ambiente físico.

Como discutido anteriormente, cada uma das sete questões é respondida em três situações (RVnl, RVI e AF). Seriam obtidos sete IMPs referentes à comparação RVnl x AF e outros sete referentes à comparação RVI x AF, por participante. No entanto, um participante da amostra respondeu letra “f” (“não consigo avaliar”) à uma das questões do QVP (Questão 2), descartando os dois possíveis IMPs resultantes dessa questão para esse participante. Dessa forma, o número total de IMPs gerados nesse experimento foi de: (29 participantes x 14 IMPs) + (1 participante x 12 IMPs) = 418 IMPs (209 para cada tecnologia).

Dentre todos os Índices de Manutenção da Percepção analisados para a relação RVnl x AF (209 IMPs) 60% foram iguais a zero (nulos), sendo 40% diferentes de zero (não nulos). Para a relação RVI x AF, 71% foram nulos e 29% não nulos. A diferença das porcentagens de IMPs nulos entre as duas tecnologias (RVI e RVnl) é de 11% (71% - 60% = 11%), como mostra a Figura 4.8 a seguir.

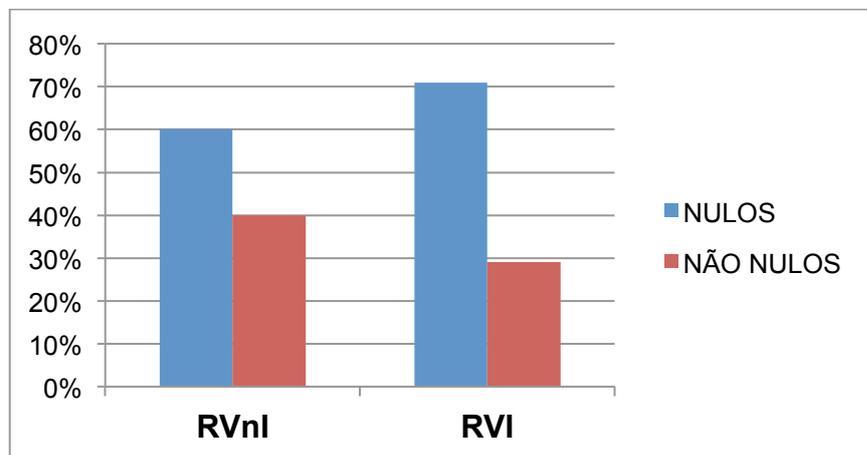


Figura 4.8 – IMPs nulos e não nulos entre RVnl e RVI.

Para determinação da significância dessa diferença, foi utilizado o software de estatística Statcamp Action 2.8 (software livre). Realizou-se o Teste de Proporção Entre Duas Amostras, capaz de testar uma hipótese comparando as proporções de duas populações independentes. Realizando-se o teste entre as duas populações de IMPs nulos e não nulos (60% / 40% para RVnl e 71% / 29%

para RVI) obteve-se um p.valor igual a 0,018. O p.valor representa a probabilidade da diferença observada entre as tecnologias ser devida ao acaso. Essa probabilidade de 1,8% é menor que o nível de significância limite adotado no teste, de 0,05 ou 5%. Assim, pode-se afirmar com 95% de confiança que a diferença de 11% não foi devida ao acaso, ou seja, ela é significativa.

4.3 Performance das tecnologias

A Performance das tecnologias pode ser determinada pelos IMPs obtidos por cada participante – Performance Objetiva –, como também em termos de suas avaliações subjetivas, coletadas pelas questões 8 e 9 dos QVPs – Performance Subjetiva. O cálculo das performances é útil para uma avaliação geral – mas ainda superficial – do desempenho das tecnologias pela amostra. Neste momento, as performances não são relacionadas com o perfil dos participantes, o que será realizado mais adiante, no cálculo da Manutenção da Percepção por Filtro Condicionante (item 4.5).

4.3.1 Performance Objetiva

Para a determinação e comparação da Performance das tecnologias em termos dos Índices de Manutenção da Percepção, é realizado o cálculo da diferença entre a soma dos IMPs da relação RVnl x AF e a soma dos IMPs da relação RVI x AF para cada participante, doravante denominada Performance Objetiva e representada pelo Índice de Performance Objetiva. O Índice de Performance Objetiva representa a diferença entre a manutenção da percepção com o uso da RVnl e a manutenção da percepção com o uso da RVI, para cada participante.

Como explicado anteriormente, cada participante do experimento obteve sete IMPs para a relação RVnl x AF e sete IMPs para a relação RVI x AF (exceto um que obteve apenas seis em cada). O cálculo é realizado da seguinte forma: somam-se os valores dos 7 IMPs-RVnl e dos 7 IMPs-RVI, para cada participante,

obtendo-se dois resultados. Em seguida, subtrai-se o segundo resultado do primeiro e obtém-se o Índice de Performance Objetiva que pode ser positivo, nulo ou negativo. Um exemplo desse cálculo é apresentado na Tabela 4.1 a seguir.

Tabela 4.1 – Cálculo do Índice de Performance Objetiva.

| Participante n° X | | |
|--|------------------|----------------|
| Questão do QVP | IMP (RVnl x AF) | IMP (RVI x AF) |
| 1 | 1 | 0 |
| 2 | 0 | 0 |
| 3 | 1 | 1 |
| 4 | 3 | 0 |
| 5 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 |
| 7 | 1 | 0 |
| Soma dos IMPs: | 6 | 1 |
| Índice de Performance Objetiva: | 6 - 1 = 5 | |

Se o índice é positivo, tem-se que a RVI oferece melhor percepção; se é nulo, ambas as tecnologias oferecem a mesma percepção ao usuário; se é negativo, tem-se que a RVnl oferece melhor percepção. Como mostra a Figura 4.9, para 54% do total de participantes a RVI proporcionou melhor percepção do ambiente virtual em relação à RVnl. Para 33% dos participantes ocorreu o contrário: a RVnl proporcionou melhor percepção do ambiente virtual. Para 13% dos participantes as duas tecnologias ofereceram a mesma qualidade de percepção sobre o ambiente virtual.

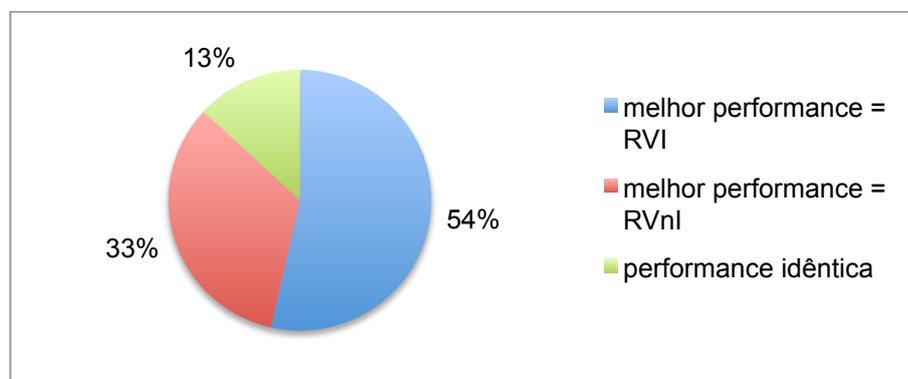


Figura 4.9 – Distribuição da Performance Objetiva pela amostra.

Para dois dos três grupos no gráfico da Figura 4.9 onde a Performance Objetiva é diferente de zero, ou seja, onde a melhor performance é da RVnl ou da RVI, gera-se um gráfico comparativo dos valores dos índices de performance de seus componentes (Figura 4.10). Ao compararmos as duas tecnologias nesse gráfico, vemos que elas se comportam de forma diferente com relação aos índices. No primeiro grupo, onde a melhor performance foi da RVI (54% da amostra), a mediana dos índices é 2, com valores entre 1 e 5. No segundo grupo, onde a melhor performance foi da RVnl (33% da amostra), a mediana dos índices é -1, com valores entre -2 e -1 (com um ponto excêntrico em -4).

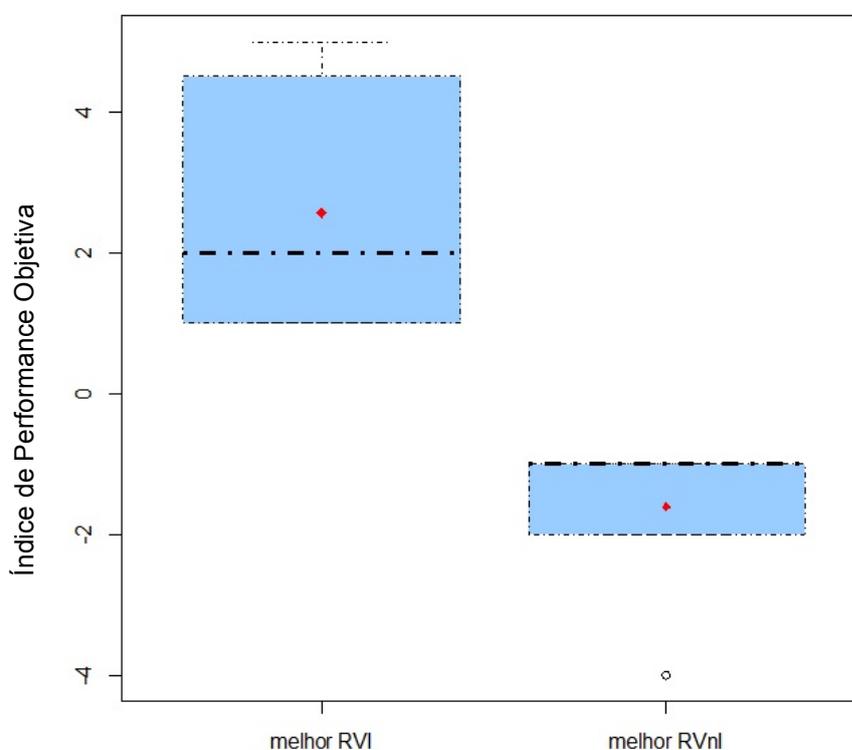


Figura 4.10 – Índices de Performance Objetiva entre as tecnologias.

4.3.2 Performance Subjetiva

As respostas às questões 8 e 9 do QVP AF (Ambiente Físico) coletaram a opinião pessoal e subjetiva dos participantes a respeito da similaridade das animações virtuais com o ambiente físico. Não foram utilizadas para o cálculo do IMP Global mas representam uma avaliação geral de cada participante sobre as tecnologias experimentadas. A Figura 4.11 apresenta os resultados. Para 54% dos

participantes o ambiente virtual visitado através do Ambiente de Imersão (RVI) é mais semelhante ao ambiente físico do que o ambiente virtual visitado pelo monitor convencional (RVnI). Para 43% da amostra os ambientes virtuais são equivalentemente semelhantes ao ambiente físico. Para apenas um participante (3%) o ambiente virtual na RVnI é mais semelhante ao físico do que é o ambiente virtual na RVI.

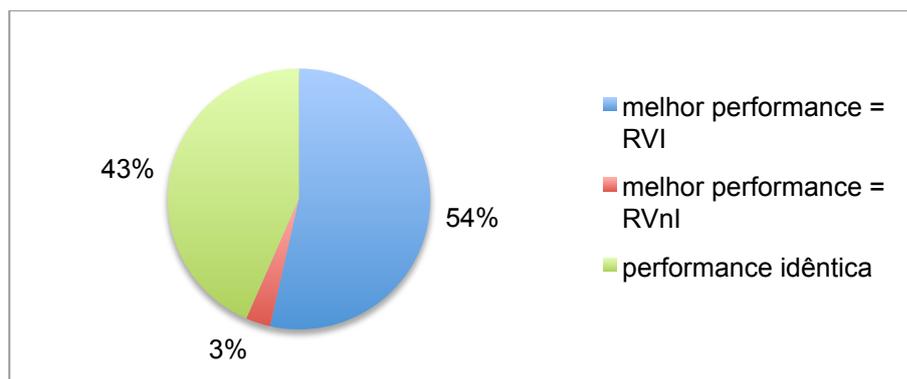


Figura 4.11 – Distribuição da Performance Subjetiva pela amostra.

4.4 Manutenção da Percepção por Questão – MPQ

A Manutenção da Percepção por Questão se refere ao número de IMPs nulos em cada um das questões, separadamente. Avaliando-se a MPQ é possível verificar a influência de cada questão na Manutenção da Percepção Global. Seu cálculo é realizado para ambas as situações: na comparação RVnI x AF e na RVI x AF. Desse cálculo excluem-se as questões 8 e 9, subjetivas e que não originam um IMP. Dessa forma, o número total de IMPs coletados por cada questão é de 30, para cada uma das tecnologias (60 no total). Assim como realizado para determinação da Manutenção da Percepção Global (item 4.2), obtém-se a diferença entre as porcentagens de IMPs nulos das duas situações e realiza-se o cálculo da significância dessa diferença – e seu respectivo p.valor – através do Teste de Proporção Entre Duas Amostras.

4.4.1 Questão 1

A Questão 1 apresenta a seguinte interrogação, relativa à distância vertical: “A distância máxima entre o piso e o teto do ambiente é de...”. Foi a primeira questão do QVP RVnl, a terceira do QVP RVI e a quinta do QVP AF.

A Figura 4.12 mostra que para a RVnl, 33% dos IMPs foram nulos (10 em 30), enquanto 67% foram diferentes de zero (20 em 30). Para a RVI, 63% foram nulos (19 em 30) enquanto 37% foram diferentes de zero (11 em 30). Para a Questão 1, a diferença das porcentagens de IMPs nulos entre as duas tecnologias (RVI e RVnl) é de 30% (63% - 33%), a favor da RVI. Calculando-se a significância dessa diferença, verifica-se que a mesma é significativa (com p.valor igual a 0,02).

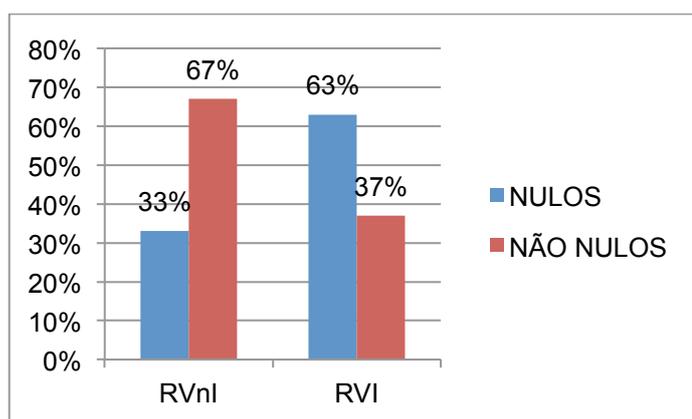


Figura 4.12 – IMPs nulos e não nulos da Questão 1, para RVnl e RVI.

4.4.2 Questão 2

A Questão 2 apresenta a seguinte interrogação, relativa à mensuração da área pela capacidade de lotação: “O número máximo de pessoas em pé que o ambiente comporta é de...”. Foi a segunda questão do QVP RVnl, a quarta do QVP RVI e a sétima do QVP AF.

A Figura 4.13 mostra que para a RVnl, 48% dos IMPs foram nulos, enquanto 52% foram diferentes de zero. Para a RVI, 45% foram nulos, enquanto 55% foram diferentes de zero. Para essa questão, a diferença das porcentagens de IMPs

nulos entre as duas tecnologias (RVI e RVnl) é de 3% (48% - 45%), a favor da RVnl. Calculando-se a significância dessa diferença, verifica-se que a mesma não é significativa (com p.valor igual a 0,79).

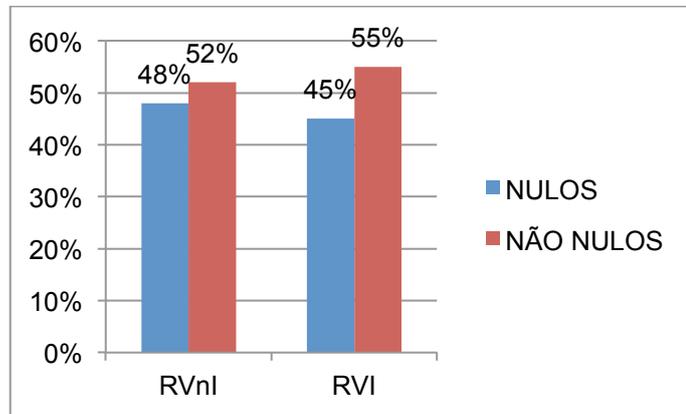


Figura 4.13 – IMPs nulos e não nulos da Questão 2, para RVnl e RVI.

4.4.3 Questão 3

A Questão 3 apresenta a seguinte interrogação, relativa à quantificação de elementos: “O número total de portas existentes no ambiente é de...”. Foi a terceira questão do QVP RVnl, a segunda do QVP RVI e a terceira do QVP AF.

A Figura 4.14 mostra que para a RVnl, 67% dos IMPs foram nulos, enquanto 33% foram diferentes de zero. Para a RVI, 87% foram nulos, enquanto 13% foram diferentes de zero. Para essa questão, a diferença das porcentagens de IMPs nulos entre as duas tecnologias (RVI e RVnl) é de 20% (87% - 67%), a favor da RVI. Calculando-se a significância dessa diferença, verifica-se que a mesma não é significativa (com p.valor igual a 0,07, maior que 0,05).

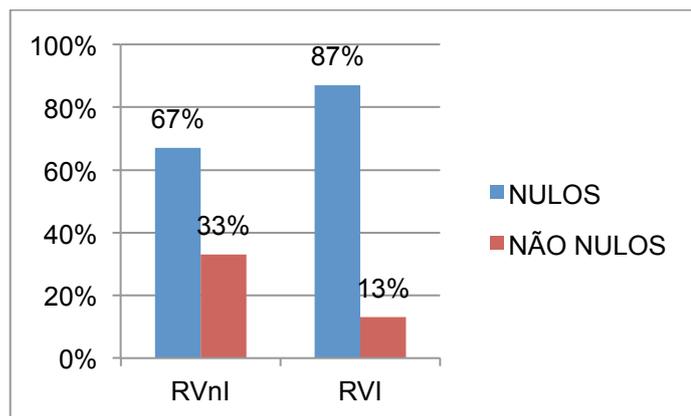


Figura 4.14 – IMPs nulos e não nulos da Questão 3, para RVnl e RVI.

4.4.4 Questão 4

A Questão 4 apresenta a seguinte interrogação, relativa ao formato do espaço: “A forma que melhor define este ambiente é...”. Foi a quarta questão do QVP RVnl, a sexta do QVP RVI e a segunda do QVP AF.

A Figura 4.15 mostra que para a RVnl, 87% dos IMPs foram nulos, enquanto 13% foram diferentes de zero. Para a RVI, 94% foram nulos, enquanto apenas 6% foram diferentes de zero. Para essa questão, a diferença das porcentagens de IMPs nulos entre as duas tecnologias (RVI e RVnl) é de 7% (94% - 87%), a favor da RVI. Calculando-se a significância dessa diferença, verifica-se que a mesma não é significativa (com p.valor igual a 0,39).

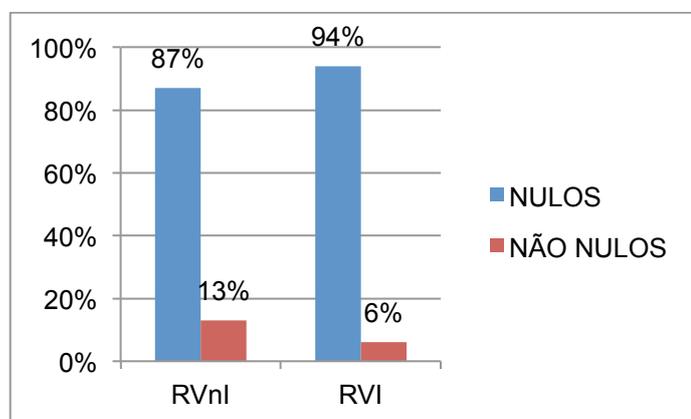


Figura 4.15 – IMPs nulos e não nulos da Questão 4, para RVnl e RVI.

4.4.5 Questão 5

A Questão 5 apresenta a seguinte interrogação, relativa à localização espacial de elementos com referencial no observador: “Ao se posicionar de frente e próximo à porta de vidro principal, a escada se encontra...”. Foi a quinta questão do QVP RVnl, a primeira do QVP RVI e a sexta do QVP AF.

A Figura 4.16 apresenta números idênticos aos da figura anterior (referente à Questão 4). Verifica-se que para a RVnl, 87% dos IMPs foram nulos, enquanto 13% foram diferentes de zero. Para a RVI, 94% foram nulos, enquanto apenas 6% foram diferentes de zero. Para essa questão, a diferença das porcentagens de IMPs nulos entre as duas tecnologias (RVI e RVnl) é de 7% (94% - 87%), a favor da RVI. Calculando-se a significância dessa diferença, verifica-se que a mesma não é significativa (com p.valor igual a 0,39).

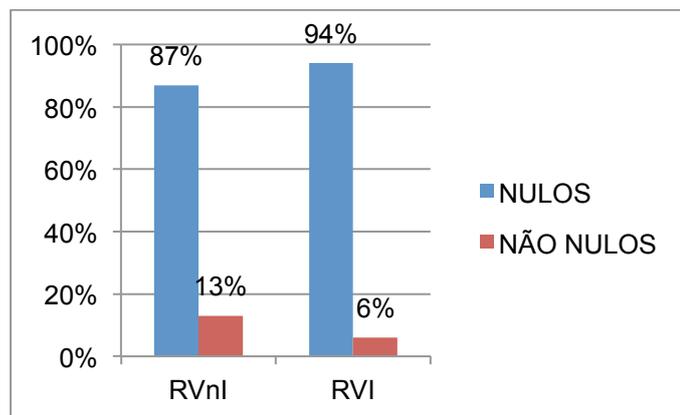


Figura 4.16 – IMPs nulos e não nulos da Questão 5, para RVnl e RVI.

4.4.6 Questão 6

A Questão 6 apresenta a seguinte interrogação, relativa à distância horizontal com referencial no observador: “Ao se posicionar de frente e próximo ao início da escada, no pavimento térreo, a distância entre você e a parede de vidro à sua frente é de...”. Foi a sexta questão do QVP RVnl, a sétima do QVP RVI e a quarta do QVP AF.

A Figura 4.17 mostra que para a RVnl, 70% dos IMPs foram nulos, enquanto 30% foram diferentes de zero. Para a RVI, 64% foram nulos, enquanto 36% foram diferentes de zero. Para essa questão, a diferença das porcentagens de IMPs nulos entre as duas tecnologias (RVI e RVnl) é de 6% (70% - 64%), a favor da RVnl. Calculando-se a significância dessa diferença, verifica-se que a mesma não é significativa (com p.valor igual a 0,58).

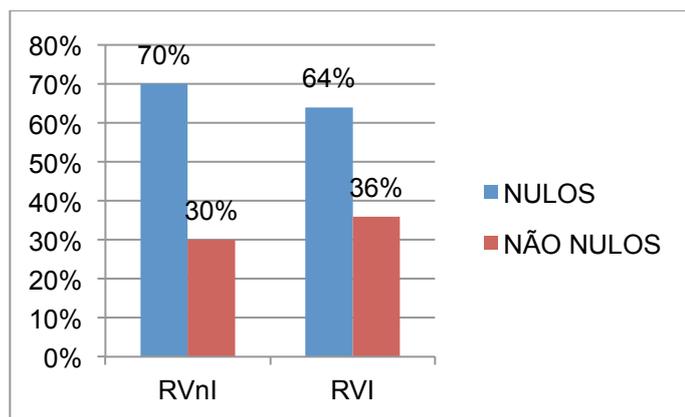


Figura 4.17 – IMPs nulos e não nulos da Questão 6, para RVnl e RVI.

4.4.7 Questão 7

A Questão 7 apresenta a seguinte interrogação, relativa à distância horizontal entre elementos: “A distância entre a maior parede de vidro do ambiente e a parede oposta à ela é de...”. Foi a sétima questão do QVP RVnl, a quinta do QVP RVI e a primeira do QVP AF.

A Figura 4.18 mostra que para a RVnl, 30% dos IMPs foram nulos, enquanto 70% foram diferentes de zero. Para a RVI, 54% foram nulos, enquanto 46% foram diferentes de zero. Para essa questão, a diferença das porcentagens de IMPs nulos entre as duas tecnologias (RVI e RVnl) é de 24% (54% - 30%), a favor da RVI. Calculando-se a significância dessa diferença, verifica-se que a mesma não é significativa (com p.valor igual a 0,07).

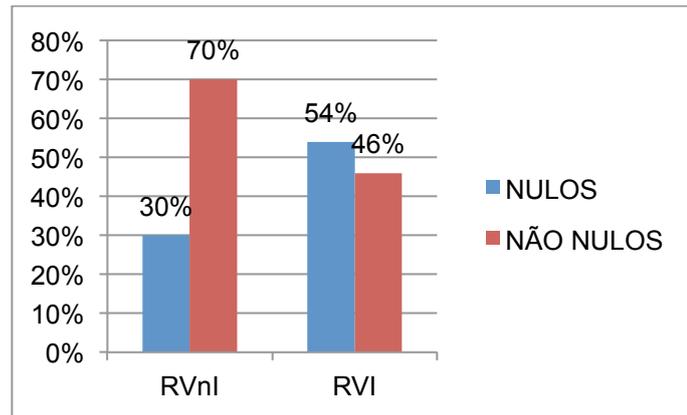


Figura 4.18 – IMPs nulos e não nulos da Questão 7, para RVnl e RVI.

QUADRO-RESUMO

A Tabela 4.2 a seguir apresenta uma compilação dos resultados expostos nos gráficos anteriores. Através da tabela é possível identificar as questões que obtiveram uma porcentagem de IMPs nulos maior que a porcentagem de IMPs não nulos para cada tecnologia (com a sigla “MP” – manutenção da percepção), ou seja, em quais questões houve manutenção da percepção entre o ambiente virtual e o ambiente físico.

Tabela 4.2 – Quadro-resumo da Manutenção da Percepção por Questão.

| Questão do QVP | RVnl | RVI |
|-------------------------------|------|-----|
| 1 (distância vertical) | - | MP |
| 2 (área) | - | - |
| 3 (quantificação) | MP | MP |
| 4 (formato) | MP | MP |
| 5 (localização) | MP | MP |
| 6 (distância horizontal) | MP | MP |
| 7 (distância entre elementos) | - | MP |

É importante ressaltar que mesmo quando uma tecnologia obteve uma porcentagem de IMPs nulos maior que de IMPs não nulos, isto é, quando houve manutenção da percepção através dela, a diferença das porcentagens de IMPs nulos entre as duas tecnologias pode não ter sido significativa (como na maioria das questões). Nota-se que houve manutenção da percepção para ambas as tecnologias na maioria das questões, no entanto, o que se pretendeu avaliar foi a diferença – e sua significância – entre essas manutenções (porcentagem de IMPs

nulos) para se determinar quando uma tecnologia é mais ou menos eficaz que a outra em oferecer melhor percepção.

4.5 Manutenção da Percepção por Filtro Condicionante – MPFC

A Manutenção da Percepção por Filtro Condicionante se refere ao número de IMPs nulos em cada um dos grupos da amostra determinados pelos filtros de percepção de Okamoto (1999): faixa etária, gênero, escolaridade, daltonismo, familiaridade com recursos 3D, conhecimento prévio do ambiente estudado. À esses filtros é adicionado o filtro da profissão dos participantes de acordo com os grupos: arquitetos e engenheiros, estudantes de arquitetura e “outras profissões”.

Todos os gráficos a seguir apresentam a porcentagem de IMPs nulos de todos os grupos do filtro, lado-a-lado, para ambas as tecnologias. Assim, a Manutenção da Percepção por Filtro Condicionante é conhecida a partir de duas análises principais: comparando-se a diferença entre as porcentagens dos grupos dentro de uma mesma tecnologia e comparando-se a diferença entre as porcentagens de um determinado grupo entre as duas tecnologias.

Conhecendo-se a MPFC é possível verificar a influência de cada filtro de percepção na Manutenção da Percepção Global. Se a diferença de IMPs nulos entre dois percentuais é significativa ($p.\text{valor} < 5\%$), aquela relação ou comportamento não é devido ao acaso e pode ser tomado como verdadeiro e significativo sobre a Manutenção da Percepção Global.

4.5.1 Filtro: Faixa etária

Tomando-se por base os grupos etários determinados por Oliveira (2003), de 15 a 25 anos e de 26 a 45 anos, optou-se por criar dois grupos etários: de 18 a 25 anos e de 26 anos em diante. Dessa forma, garante-se um número suficiente de participantes por grupo de faixa etária.

Comparação de grupos em uma mesma tecnologia:

A Figura 4.19 mostra uma diferença de 17% entre os IMPs nulos dos dois grupos etários em uma mesma tecnologia, significativa para a RVnI (p.valor = 0,03) como também para a RVI (p.valor = 0,017), indicando a existência de uma relação da idade com a percepção do espaço virtual (na amostra desse experimento em particular), esteja ele na RVnI ou na RVI, onde participantes com 26 anos ou mais têm melhor percepção. Ademais, essa relação com a idade pode ser também entendida como uma relação com o grau de escolaridade e com a profissão do participante. Como discutido no item 4.1, o grupo de faixa etária entre 18 e 25 anos engloba todos os participantes com apenas 2º grau, que correspondem exatamente aos estudantes de arquitetura.

Comparação de grupos entre tecnologias:

Verifica-se que os IMPs nulos diferem em 11% entre as duas tecnologias (RVnI e RVI) para o grupo de faixa etária entre 18 e 25 anos (48% - 59% = 11%, p.valor = 0,256) como também para o grupo de faixa etária dos 26 anos em diante (65% - 76% = 11%, p.valor = 0,036). O aumento de 11% de IMPs nulos proporcionado pela RVI para a faixa etária entre 18 e 25 anos não é significativo, mas é para a faixa etária maior ou igual a 26 anos. Ou seja, é correto afirmar que o grupo de maior faixa etária tem melhor percepção através da RVI, mas não é possível afirmar o mesmo para o grupo de menor faixa etária (pois a diferença pode ser devida ao acaso).

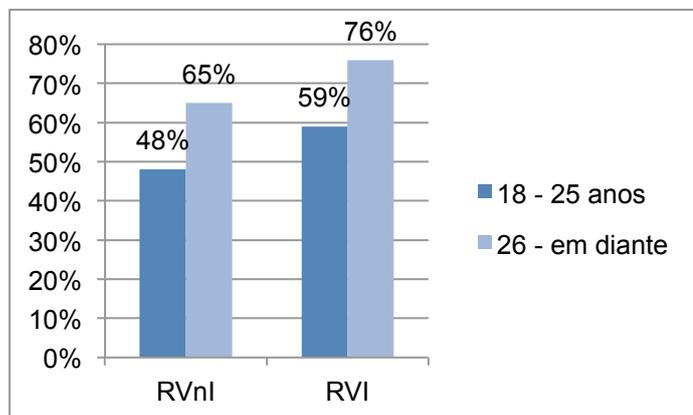


Figura 4.19 – IMPs nulos entre RVnI e RVI para os grupos de faixa etária.

4.5.2 Filtro: Gênero

Comparação de grupos em uma mesma tecnologia:

A Figura 4.20 mostra que para a RVnl a porcentagem de IMPs nulos foi a mesma para ambos os sexos (60%), indicando que não há diferença de percepção entre os grupos nesta tecnologia. Na RVI essa porcentagem aumenta para 69% para o gênero feminino e 73% para o masculino, resultando em uma diferença de 4%. Entretanto, esta diferença não é significativa: seu p.valor é de 0,56. Dessa forma, não é possível afirmar se existe relação do gênero do participante sobre uma melhor percepção do espaço virtual em uma mesma tecnologia.

Comparação de grupos entre tecnologias:

Verifica-se um aumento de 13% de IMPs nulos para o grupo do sexo masculino (60% - 73%) e um aumento de 9% para o grupo do sexo feminino (60% - 69%), entre as duas tecnologias. Esta variação é significativa para os homens (p.valor = 0,038) e insignificante para as mulheres (p.valor = 0,21). Ou seja, é correto afirmar que o sexo masculino tem melhor percepção através da RVI do que através da RVnl (13% melhor), mas não é possível afirmar o mesmo para o sexo feminino.

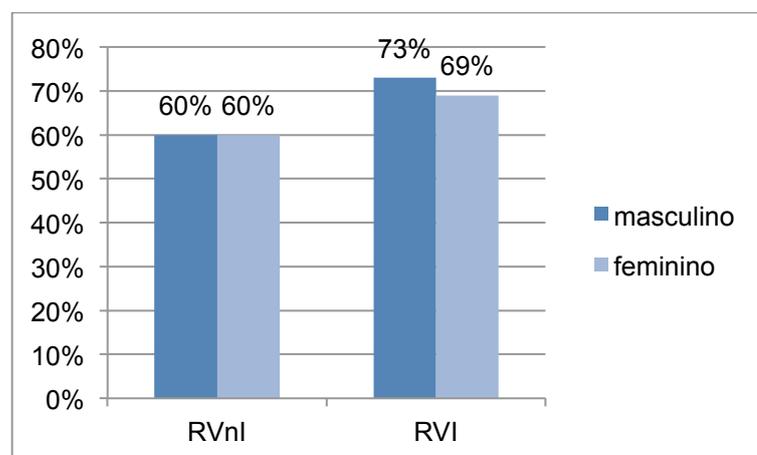


Figura 4.20 – IMPs nulos entre RVnl e RVI para os grupos de gênero.

4.5.3 Filtro: Grau de escolaridade

Comparação de grupos em uma mesma tecnologia:

Verifica-se pela Figura 4.21 que dentro de uma mesma tecnologia há grande variação do percentual de IMPs nulos entre o grupo de participantes com 2º grau e os grupos de participantes de 3º grau e pós-graduação. Na RVnI essa variação é de 17% entre 2º grau e 3º grau (não significativa, p.valor = 0,053), como também entre 2º grau e pós-graduação (não significativa, p.valor = 0,0506), portanto não há variação entre 3º grau e pós-graduação. Na RVI essa variação é de 20% entre 2º grau e 3º grau (significativa, p.valor = 0,02) e de 22% entre 2º grau e pós-graduação (significativa, p.valor = 0,007), portanto a variação entre 3º grau e pós-graduação é de 2% (não significativa, p.valor = 0,72). Estas variações indicam que existe uma forte relação entre grau de escolaridade e percepção do espaço virtual dentro da RVI (isoladamente), onde participantes com 3º grau e pós-graduação têm melhor percepção. Ademais, essa relação com o grau de escolaridade pode ser também entendida como uma relação com a idade e com a profissão do participante. Como discutido no item 4.1, o grupo de 2º grau está contido no grupo dos participantes entre 18 e 25 anos, e corresponde exatamente aos estudantes de arquitetura. Essa relação não pode ser estendida para o sistema de RVnI, pois as diferenças entre os grupos constatadas para essa tecnologia não foram significativas.

Comparação de grupos entre tecnologias:

Ao se comparar a porcentagem de IMPs nulos entre as tecnologias, verifica-se um aumento de 8% para o grupo com 2º grau (não significativo, p.valor = 0,42), de 11% para o grupo com 3º grau (não significativo, p.valor = 0,16) e de 13% para o grupo com pós-graduação (não significativo, p.valor = 0,062). Ou seja, não é possível afirmar que os grupos de grau de escolaridade têm suas percepções melhoradas com o uso da RVI, mesmo se constatando o aumento do percentual de IMPs nulos da RVnI para a RVI em todos eles.

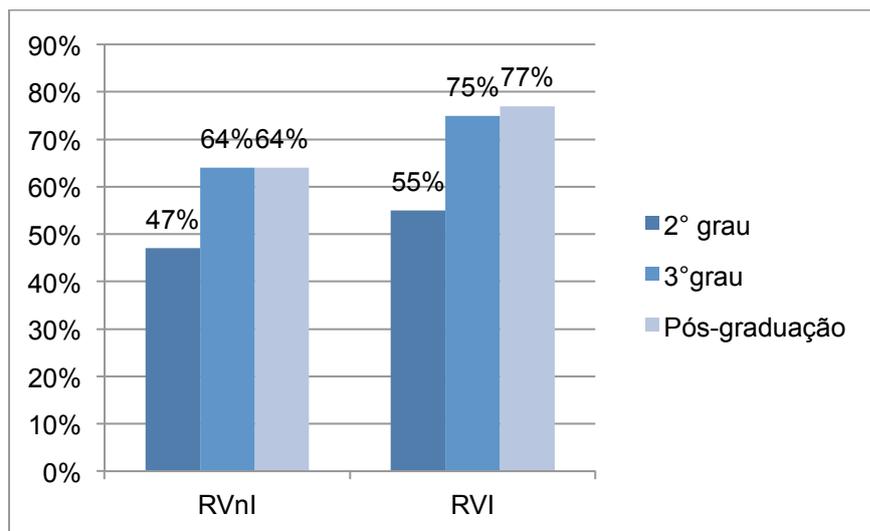


Figura 4.21 – IMPs nulos entre RVnI e RVI para os grupos de grau de escolaridade.

4.5.4 Filtro: Profissão

Comparação de grupos em uma mesma tecnologia:

Ao se comparar a porcentagem de IMPs nulos dentro de uma mesma tecnologia, os grupos se ordenam de forma semelhante em ambas: os arquitetos e engenheiros possuem melhor percepção, seguidos pelo grupo das outras profissões e por último pelos estudantes de arquitetura, como pode ser visto na Figura 4.22.

Na RVnI, a variação do percentual de IMPs nulos entre o grupo de estudantes de arquitetura e o grupo de outras profissões é de 15% (não significativa, p.valor = 0,097); entre o grupo de estudantes de arquitetura e o grupo de arquitetos e engenheiros é de 19% (significativa, p.valor = 0,029); entre o grupo de outras profissões e o grupo de arquitetos e engenheiros é de 4% (não significativa, p.valor = 0,636). Na RVI essas variações são respectivamente de 13% (não significativa, p.valor = 0,15), 27% (significativa, p.valor = 0,0005) e 14% (significativa, p.valor = 0,035).

As significâncias das variações indicam a presença de uma relação entre profissão e percepção do espaço virtual através da RVnI, onde arquitetos e

engenheiros têm melhor percepção que estudantes de arquitetura. Através da RVI, essa relação é verdadeira entre o grupo de estudantes de arquitetura e o grupo de arquitetos e engenheiros, onde estes têm melhor percepção que os estudantes (novamente) e também entre o grupo de outras profissões e o grupo de arquitetos e engenheiros (onde os arquitetos e engenheiros têm melhor percepção que profissionais de outras áreas, o que não acontece para a RVnI). Ademais, essa relação com a profissão pode ser também entendida como uma relação com a idade e com o grau de escolaridade do participante. Como discutido no item 4.1, o grupo de estudantes de arquitetura corresponde exatamente aos participantes com 2º grau e está contido no grupo com idade entre 18 e 25 anos.

Comparação de grupos entre tecnologias:

Verifica-se na Figura 4.22 um aumento de IMPs nulos entre a RVnI e a RVI para todos os grupos de profissão. Para o grupo de arquitetos e engenheiros este aumento foi de 16% (significativo, p.valor = 0,01), para o grupo de estudantes de arquitetura foi de 8% (não significativo, p.valor = 0,42); para o grupo de outras profissões foi de 6% (não significativo, p.valor = 0,47). É correto afirmar que arquitetos e engenheiros têm suas percepções beneficiadas através da RVI, mas não é possível afirmar o mesmo para os demais grupos de profissões, mesmo se constatando o aumento do percentual de IMPs nulos da RVnI para a RVI em todos eles.

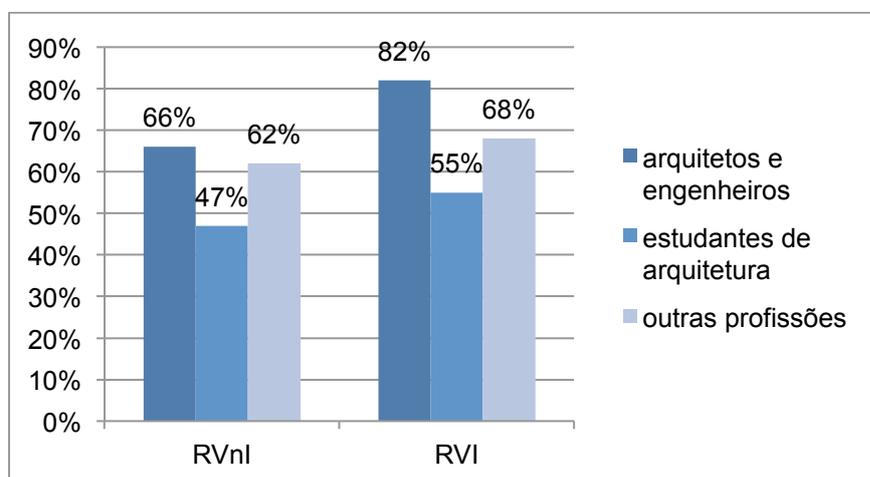


Figura 4.22 – IMPs nulos entre RVnI e RVI para os grupos de profissão.

4.5.5 Filtro: Daltonismo

A análise deste filtro é especialmente interessante devido aos óculos de estereoscopia passiva utilizados para visualização no ambiente imersivo. Cada lente destes óculos possui uma coloração (azul e vermelha) para captura da imagem correspondente do anáglifo (par estereoscópico, composto por duas imagens idênticas sobrepostas, uma azulada e outra avermelhada). Dessa forma, o usuário que não é capaz de diferenciar imagens azuladas das avermelhadas (daltônico) não identificaria profundidades no modelo tridimensional estereoscópico projetado sobre a tela panorâmica do Ambiente de Imersão (RVI). Este fenômeno pôde ser comprovado no experimento, como mostra a Figura 4.23, que apresenta o gráfico comparativo dos IMPs nulos entre RVnI e RVI para ambos os grupos de participantes, com e sem daltonismo.

Comparação de grupos em uma mesma tecnologia:

Analisando-se as tecnologias isoladamente, a porcentagem de IMPs nulos é muito superior para o grupo com daltonismo em relação ao grupo sem o distúrbio. Essa diferença é de 28% na RVnI (significativa, p.valor = 0,04) e de 16% na RVI (não significativa, p.valor = 0,217). No entanto, cabe ressaltar que o grupo com daltonismo é composto por apenas 2 participantes, 7% da amostra. Como o objetivo destas análises é determinar a influência do daltonismo na Manutenção da Percepção Global, a análise da diferença do percentual de IMPs nulos entre os grupos dentro da RVnI (28%) não é pertinente, pois esta tecnologia não utiliza os óculos de estereoscopia (com lentes coloridas), de forma que o daltonismo não oferece dificuldade de visualização neste sistema. Por outro lado, essa análise é fundamental na RVI, onde a diferença de 16% não é significativa e pode ter sido devida ao acaso.

Comparação de grupos entre tecnologias:

Considerando-se a diferença de porcentagem de IMPs nulos entre ambas as tecnologias para um mesmo grupo, verifica-se um aumento de 12% de IMPs

nulos para o grupo sem daltonismo e absolutamente nenhuma variação para o grupo com daltonismo. A invariabilidade do percentual de IMPs nulos para o grupo de daltônicos entre a RVnl e a RVI revela que, como esperado, o Ambiente de Imersão não oferece melhor percepção para usuários daltônicos em relação ao ambiente não imersivo. Já para o grupo sem daltonismo, a diferença de 12% é significativa (p.valor = 0,015), mostrando que a RVI beneficia a percepção dos participantes sem daltonismo.

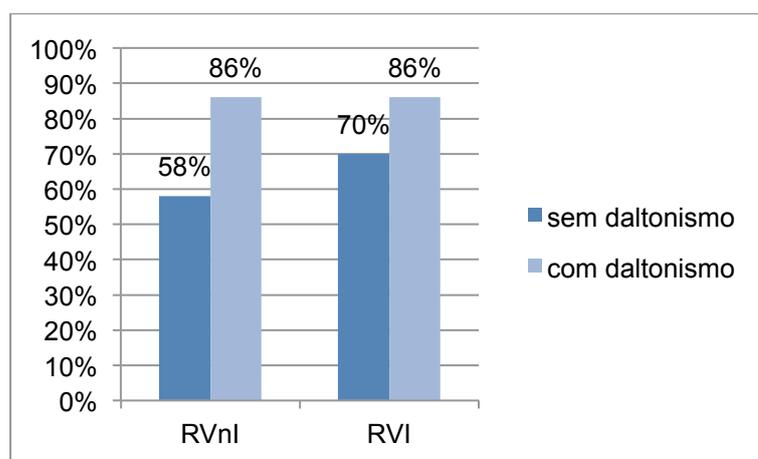


Figura 4.23 – IMPs nulos entre RVnl e RVI para os grupos de daltonismo.

4.5.6 Filtro: Familiaridade com recursos 3D

Comparação de grupos em uma mesma tecnologia:

De acordo com a Figura 4.24, a familiaridade com recursos e ferramentas computacionais de representação tridimensional não tem influência sobre a percepção do espaço virtual. Isso pode ser afirmado a partir da análise da diferença da porcentagem de IMPs nulos entre os grupos com e sem familiaridade, que é de apenas 1% na RVnl (não significativa, p.valor = 0,78) e de 5% na RVI (não significativa, p.valor = 0,45).

Comparação de grupos entre tecnologias:

Analisando-se os percentuais dos grupos entre as tecnologias, verifica-se em ambos um aumento do percentual de IMPs nulos: de 10% para o grupo com familiaridade (não significativo, p.valor = 0,087) e de 14% para o grupo sem familiaridade (não significativo, p.valor = 0,067). Dessa forma, não é possível afirmar que os grupos têm melhor percepção através da RVI, não obstante o aumento do percentual de IMPs nulos da RVnI para a RVI em ambos.

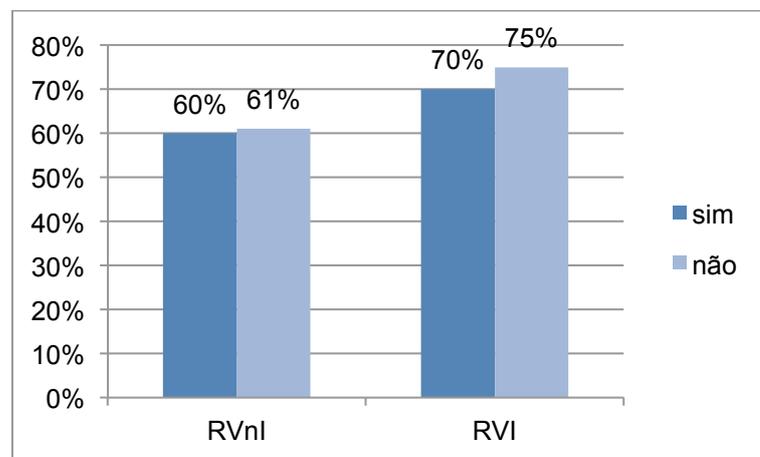


Figura 4.24 – IMPs nulos entre RVnI e RVI para os grupos de familiaridade com recursos 3D.

4.5.7 Filtro: Conhecimento prévio do ambiente estudado

Comparação de grupos em uma mesma tecnologia:

De forma semelhante ao filtro anterior, acreditava-se que o conhecimento prévio do espaço do hall do edifício da Escola de Arquitetura poderia influenciar nas respostas às questões dos QVPs. No entanto, é possível perceber na Figura 4.25 que este fator não se relaciona com uma melhor percepção do espaço virtual. Na RVnI, a diferença da porcentagem de IMPs nulos entre os grupos é de apenas 3% (não significativo, p.valor = 0,73), enquanto na RVI ela é de 4% (não significativo, p.valor = 0,56).

Comparação de grupos entre tecnologias:

Considerando-se a diferença de percentagem de IMPs nulos entre as tecnologias para um mesmo grupo, verifica-se um aumento de IMPs nulos em 11% para o grupo com conhecimento prévio do hall (não significativo, p.valor = 0,073) e em 12% para o grupo sem conhecimento prévio (não significativo, p.valor = 0,12). Não obstante o aumento do percentual de IMPs nulos da RVnI para a RVI em ambos os grupos, não é possível afirmar que a RVI beneficie a percepção tanto dos participantes que já conheciam o hall antes o experimento quanto daqueles que não o conheciam.

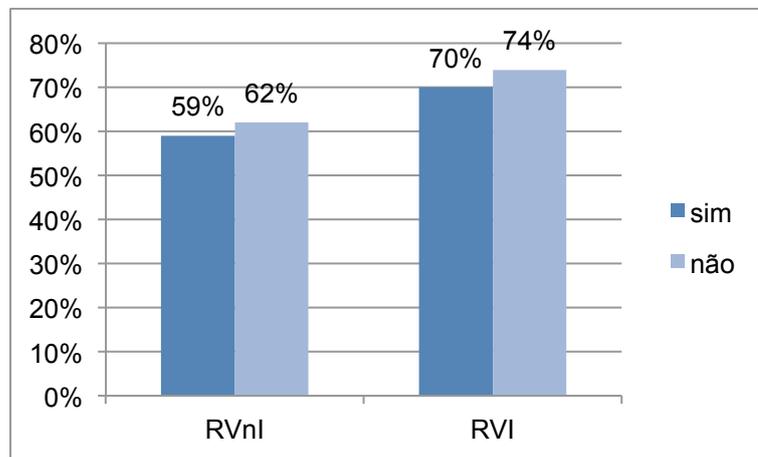


Figura 4.25 – IMPs nulos entre RVnI e RVI para os grupos de conhecimento prévio do hall.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção realiza-se a discussão dos resultados apresentados no item anterior, no intuito de registrar raciocínios pertinentes que fundamentem as conclusões finais da pesquisa.

Verificou-se que determinadas comparações dos percentuais de IMPs nulos, principalmente aquelas realizadas para determinação da Manutenção da Percepção por Filtro Condicionante, foram comprometidas devido aos grupos com números reduzidos de componentes. Certos grupos de alguns filtros de percepção não contaram com um número razoável de participantes – como o grupo de daltônicos no filtro “daltonismo” –, conduzindo a resultados inconsistentes, frequentemente com p.valores acusando insignificância das diferenças entre esses grupos com números de participantes muito discrepantes.

É interessante observar a relação existente entre os percentuais dos gráficos 4.9 e 4.11, onde a melhor performance para a RVI é exatamente a mesma (54%). Ou seja, subjetivamente os participantes consideraram essa tecnologia como sendo a melhor em termos de semelhança com o ambiente físico. Semelhança essa, comprovada pelos cálculos da Performance Objetiva, isto é, por uma análise numérica e mais precisa.

Ainda se comparando estes dois gráficos, é possível notar que dos 43% da amostra que consideraram subjetivamente ambos os ambientes virtuais equivalentemente semelhantes ao ambiente físico, apenas 13% foram confirmados pelos cálculos da Performance Objetiva. Por fim, os 3% que disseram que a RVnI era mais semelhante (apenas um participante), subiram para 33% nos cálculos da Performance Objetiva.

Uma mediana mais distante de zero para a RVI do que para a RVnI (Figura 4.10), indica que essa tecnologia tende a oferecer um benefício à percepção maior do que quando este benefício é atribuído à RVnI (quando a RVnI obtém melhor

performance). Por outro lado, observa-se maior dispersão nos resultados para a RVI, enquanto os índices (de Performance Objetiva) da RVnI foram mais regulares (se mantiveram dentro de um intervalo menor).

Em quase todas as questões (exceto na Questão 1) a diferença de IMPs nulos entre as tecnologias não é significativa, ao se analisar cada questão separadamente (onde o nível de significância limite adotado foi de 5%). Este fator indica que cada questão, individualmente, não é capaz de justificar o resultado significativo da Manutenção da Percepção Global constatado anteriormente. Por outro lado, aplicadas e analisadas em conjunto, as sete questões coletam dados suficientes para o cálculo e constatação de uma significância global (um IMP Global significativo). Isso talvez se deva ao fato de que, mesmo a diferença não sendo significativa em uma determinada questão, frequentemente ela foi bastante notável, com porcentagens de 20 ou 24 por cento como nas questões 3 e 7 respectivamente, contribuindo consideravelmente para o percentual de IMPs nulos na Manutenção da Percepção Global.

Verificou-se a existência de uma relação da idade, do grau de escolaridade e da profissão com a percepção do espaço virtual, onde participantes com 26 anos ou mais, com 3º grau ou pós-graduação, arquitetos e engenheiros têm melhor percepção do modelo 3D, esteja este modelo na RVnI (exceto para grau de escolaridade) ou na RVI. Ademais, o grupo de maior faixa etária tem melhor percepção através da RVI (se comparada com a percepção deste mesmo grupo na RVnI), embora não seja possível afirmar o mesmo para o grupo de menor faixa etária.

Não é possível afirmar que existe relação entre o gênero do participante e a percepção do espaço virtual, tanto na RVnI quanto na RVI (isoladas). Por outro lado, é possível afirmar que usuários do sexo masculino têm sua percepção melhorada com o uso da RVI (em relação à percepção obtida na RVnI). Embora a percepção tenha melhorado também para as mulheres, a diferença não foi significativa.

Também não é possível afirmar que os grupos de grau de escolaridade têm suas percepções melhoradas com o uso da RVI, pois as diferenças para todos os grupos entre as tecnologias não foi significativa. Entretanto, se considerarmos as tecnologias separadamente, na RVI (não a comparando com a RVnI) a percepção dos grupos com 3º grau ou pós-graduação é significativamente melhor do que a percepção do grupo com apenas 2º grau. Isto é, a RVI é especialmente benéfica para estes dois grupos de maior escolaridade pois a diferença entre eles e o grupo de 2º grau é significativa, o que não acontece na RVnI isoladamente.

Sobre a relação entre a profissão do participante e a melhora de sua percepção com o uso da RVI, pode-se afirmar que ela contribui para a percepção de arquitetos e engenheiros, enquanto não é possível afirmar para o grupo dos estudantes e dos profissionais de outras áreas, pois a diferença entre as duas tecnologias para estes dois grupos não foi significativa.

Dentro da RVnI existe uma relação da profissão do participante com a sua percepção sobre o espaço virtual, onde arquitetos e engenheiros compreendem melhor o modelo 3D do que os estudantes de arquitetura. O mesmo não pode ser dito entre os outros profissionais e os estudantes, ou entre arquitetos e engenheiros e outros profissionais. Já na RVI, isoladamente, essa relação permanece verdadeira entre arquitetos e engenheiros e estudantes de arquitetura e também acontece entre os arquitetos e engenheiros e o grupo com outras profissões.

Considerando-se a diferença entre ambas as tecnologias para os grupos com e sem daltonismo, verifica-se que o Ambiente de Imersão não oferece melhor percepção para usuários daltônicos em relação ao ambiente não imersivo, como esperado. Ao mesmo tempo, é possível afirmar que a RVI beneficia a percepção dos participantes sem daltonismo pois a diferença entre as tecnologias para esse grupo foi significativa.

A pesquisa mostrou que não há relação alguma entre a familiaridade com recursos tridimensionais e a percepção dos participantes dentro de uma mesma

tecnologia ou entre elas. A RVI não beneficia, significativamente, a percepção dos grupos com e sem familiaridade. De forma semelhante, não há relação alguma entre o conhecimento prévio do ambiente visitado e a percepção dos usuários (isoladamente ou entre as tecnologias). A RVI não proporciona uma melhora significativa da percepção dos participantes, tanto daqueles que já conheciam o hall quanto daqueles que não o conheciam, embora quase todos os engenheiros, arquitetos e estudantes de arquitetura possuíssem conhecimento prévio do hall enquanto nenhum participante pertencente à categoria “outras profissões” o possuía.

6. CONCLUSÕES

Essa pesquisa buscou contribuir para os estudos sobre percepção do espaço virtual, utilizando-se para esse objetivo ferramentas de Realidade Virtual convencional e imersiva. Nesse contexto, a análise se insere na tradição de pesquisa da Tecnologia da Informação na Construção, enfocando temáticas que contribuem para a discussão crítica sobre o uso das novas tecnologias, sobretudo no que se refere à capacidade do usuário em compreender o projeto através do uso da Realidade Virtual Exploratória (imersiva e não imersiva).

As diferenças significativas de IMPs nulos entre as duas tecnologias levam à conclusão de que utilizando-se o Ambiente de Imersão obtém-se uma melhor percepção do ambiente virtual em comparação com a percepção obtida com o uso de uma estação de trabalho convencional. É importante ressaltar que essa melhora da percepção acontece com maior ênfase para o grupo profissional de arquitetos e engenheiros, envolvidos com a atividade de projeto.

A partir dos resultados e das discussões realizadas anteriormente, é possível ainda traçar um perfil de usuário para o qual o Ambiente de Imersão estudado é especialmente benéfico. Este usuário deve ter 26 anos ou mais, com 3º grau ou pós-graduação, do sexo masculino, arquiteto ou engenheiro e não possuir daltonismo. Ter o conhecimento prévio do ambiente virtual ou familiaridade com recursos e ferramentas de modelagem tridimensional não é critério para que o usuário descrito possa ter sua percepção melhorada ao utilizar o sistema imersivo.

No que se refere aos avanços deste trabalho em relação às pesquisas anteriores, em especial aos trabalhos de Fracaroli (2006) e Oliveira (2003), ressaltam-se alguns refinamentos metodológicos. Os objetivos das adaptações realizadas no procedimento experimental e na análise dos dados foram de se reduzir a coleta de dados subjetivos, de se obter informações de acordo com o perfil profissional dos participantes e de se adotar análises estatísticas que pudessem oferecer

maior consistência e fundamentação às conclusões.

Dentre essas iniciativas, decidiu-se pela eliminação das questões subjetivas dos QVPs – e de sua métrica segundo a escala de conforto – por se acreditar que tais questões conduziram à obtenção de dados muito subjetivos. Portanto, o levantamento e o tratamento de dados subjetivos foram realizados em menor escala neste trabalho. Na análise do Perfil dos Participantes e no cálculo da Manutenção da Percepção por Filtro Condicionante foi acrescentado o filtro da profissão do participante aos filtros definidos por Okamoto (1999) e utilizados por Fracaroli (2006) e Oliveira (2003). Esse novo filtro permitiu a análise do comportamento da percepção em termos dos grupos profissionais da amostra.

A tentativa de melhoria nas análises dos dados e na fundamentação das conclusões partiu da realização de análises estatísticas realizadas por software específico. Tais análises giraram em torno do cálculo dos “p.valores”, considerados os elementos determinantes da significância das diferenças encontradas entre as proporções de IMPs nulos. Neste trabalho, o p.valor serviu como parâmetro para se determinar quando uma diferença observada foi verdadeira ou não.

A Realidade Virtual não Imersiva Passiva parece não ser suficiente para uma compreensão adequada do espaço projetado, como verificado por Silva, Ruschel e Oliveira (2007). Anteriormente, Ruschel e Oliveira (2004) haviam mostrado que o grau de realismo da simulação não é um aspecto fundamental para a compreensão do espaço virtual em ambientes não imersivos: entre as maquetes simplificadas e realísticas não há diferença de percepção. No contexto desses trabalhos anteriores, essa pesquisa demonstrou que a Realidade Virtual Imersiva Exploratória é útil para uma melhor compreensão do espaço projetado em relação àquela proporcionada pela Realidade Virtual não Imersiva Passiva. Embora os impactos do grau de realismo da animação não tenham sido investigados nesse experimento, acredita-se que em ambientes imersivos esse fator também contribua para melhorar a percepção dos usuários, visto que nesses sistemas elementos como luz e sombra potencializam o efeito de profundidade na projeção

estereoscópica. Ademais, nesses sistemas o senso de presença tende a aumentar com o aumento da fidelidade da simulação do mundo físico.

Nesse trabalho, verificou-se o senso de presença no Ambiente de Imersão em termos da percepção espacial do usuário. Os resultados acusaram uma melhor noção espacial com o uso do Ambiente de Imersão, portanto, um nível de presença mais elevado (presença depende de fatores como noção espacial, entre outros). O nível de presença tornou possível a identificação de determinados aspectos do espaço de forma mais precisa em comparação com a identificação obtida com o uso do sistema tradicional. Essa maior precisão implica em uma melhor compreensão do projeto, para além do simples reconhecimento da forma tridimensional em direção à assimilação de informações complexas e multidimensionais que surgem das relações entre os elementos distribuídos no espaço.

Segundo o conceito sobre Realidade Virtual dado por Steuer (1992) – Realidade Virtual como uma experiência de presença oriunda da percepção mediada por tecnologias –, na medida em que uma ferramenta é capaz de otimizar a percepção humana (incluindo a noção espacial), o senso de presença no ambiente também será. Assim, é possível afirmar que o Ambiente de Imersão beneficia a percepção e eleva o nível de presença do usuário em ambientes virtuais.

Como discutido por Faas et al. (2014), altos níveis de presença estão relacionados a um forte engajamento do projetista durante a atividade de projeto e têm relação direta com as melhores soluções. Assim, o nível de presença pode servir como um indicador de performance em atividades de projeto: se o projetista está “muito engajado” ou “presente” na atividade, melhores soluções surgirão. Na medida em que oferece maior nível de presença, o Ambiente de Imersão torna-se uma ferramenta potencialmente capaz de melhorar a performance dos projetistas, torná-los mais envolvidos com a atividade, levando-os à proposição de melhores soluções.

O Ambiente de Imersão também demonstrou-se capaz de otimizar os processos cognitivos dos usuários. Se através da percepção adquire-se conhecimento (o fundamento da cognição), melhorando-se a percepção, melhora-se o conhecimento adquirido (atribuindo-lhe exatidão, consistência, etc.). Por ser capaz de incrementar a percepção espacial do usuário, o Ambiente de Imersão não apenas suporta, mas otimiza os processos cognitivos envolvidos no reconhecimento do espaço virtual.

Verificou-se uma maior semelhança das informações contidas no ambiente físico com aquelas contidas na representação estereoscópica. Se a representação estereoscópica pode melhor representar o ambiente físico, ela pode também registrar e comunicar as ideias do projetista com maior exatidão e fidelidade às suas intenções, por exemplo: se o projetista imagina um pé direito de oito metros, o modelo estereoscópico é capaz de representar e comunicar essa ideia com maior eficiência, oferecendo uma noção espacial aos usuário-receptor mais exata sobre o significado e as repercussões dos oito metros de pé direito.

Essa proximidade da representação estereoscópica com a experiência espacial “real”, sua maior fidelidade ao ambiente físico em comparação à representação não imersiva, evidencia a utilidade da Realidade Virtual Imersiva Exploratória em subsidiar a concepção de projetos de forma que correspondam cada vez mais às demandas técnicas, funcionais e simbólicas do empreendimento. Se o projetista pretende um pé direito de oito metros, ele consegue melhor representar, comunicar e submeter essa ideia à avaliação crítica com o modelo estereoscópico. Não apenas representar, mas de fato experimentar essa ideia. Em suma, a representação e a comunicação de uma ideia tridimensional são melhores empregando-se o Ambiente de Imersão.

A cognição espacial, a compreensão ou o reconhecimento do ambiente, acontecem através da interpretação e atribuição de significado aos elementos do espaço. Uma melhor noção espacial, como verificada com o uso do Ambiente de Imersão, pode ser entendida como uma melhor interpretação dos elementos do espaço, o que leva à conclusão que no Ambiente de Imersão as informações

espaciais adquirem maior significado, elas passam a “fazer mais sentido”, enquanto lhes são oferecidos contexto, representação e meio de comunicação adequados.

A partir dos raciocínios anteriores, é possível afirmar que o Ambiente de Imersão investigado neste trabalho vai de encontro às características da futura geração de ferramentas computacionais orientadas ao usuário apontadas por Goel et al. (2012): a) foco no projeto conceitual e na criatividade do projetista; b) ênfase no processo criativo; c) suporte para o projeto colaborativo e d) ter suas bases fundamentadas na ciência da cognição.

A seguir realiza-se uma breve reflexão sobre as naturezas cognitiva e filosófica do processo de concepção. Parece razoável afirmar que no processo de concepção um edifício não é concebido ou projetado, mas “conhecido”. Esse processo, fundamentalmente cognitivo, é um ato de apreensão de um objeto e envolve etapas com níveis diferentes de detalhamento de sua descrição: do escopo ao projeto executivo, no caso de um projeto arquitetônico. O edifício já existe enquanto objeto abstrato ou ideia: geralmente pode-se falar sobre o que ele é, sua função, etc. Ao longo do processo de projeto essas definições são destrinchadas a partir de questionamentos do tipo: “o que significa, em termos arquitetônicos, um edifício ser uma escola?”, por exemplo. O processo de projeto de um edifício é, portanto, o ato de se aprofundar no conhecimento desse objeto, identificando, caracterizando e representando seus componentes.

O edifício enquanto ideia é objeto abstrato sobre o qual é impossível usar os sentidos para sua descrição ou conhecimento. Parte daí a necessidade do projetista iniciar o processo de sua representação para que receba os primeiros estímulos através dos sentidos. O modelo virtual representa aquilo que foi conhecido sobre o objeto abstrato. Esse conhecimento representado é possível de ser avaliado através da percepção visual. É nesse sentido que a representação tem um efetivo aspecto formativo: ela constrói e consolida nossa ideia sobre o mundo (interno ou externo). Para ilustrar em linhas gerais o mecanismo da cognição humana, apresenta-se a Figura 5.1 a seguir, onde é

possível identificar os universos da filosofia envolvidos no fenômeno, o posicionamento do sujeito cognoscente e os produtos de sua percepção visual ou imaginação.

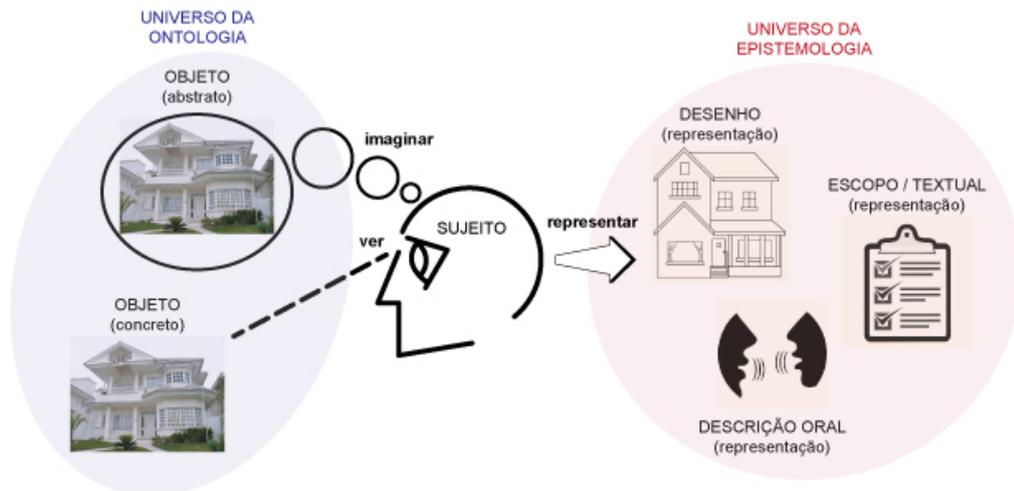


Figura 5.1 – Mecanismo cognitivo de representação. Elaborado pelo autor.

O edifício, enquanto não existe como objeto concreto, permanece no plano abstrato e o ato de representá-lo sempre envolverá um processo cognitivo de um objeto abstrato. Enquanto não possuem contornos definidos ou identificáveis, a representação de objetos abstratos é uma tarefa desafiadora pois, na realidade, se trata de um processo de atribuição de significados e criação de sentido para o reconhecimento daquilo que não pode ser observado.

O processo de concepção de projetos envolve fundamentalmente o ato de conhecimento e representação de um objeto arquitetônico abstrato e inédito. É possível então se fazer a pergunta: como representar algo que por ser abstrato e inédito, eu não reconheço? Pressupõe-se que o projetista se reporte a conhecimentos sobre objetos concretos similares àquele abstrato que pretende representar (cujos contornos são ainda imprecisos em sua mente), anexando-os ao objeto abstrato, a fim de torná-lo *reconhecível* e de categorizá-lo no âmbito das coisas concretas. A representação do edifício é a combinação de conceitos e conhecimentos em forma e função arquitetônicas. O *design* é um processo de representação do objeto, ou daquilo que pode ser conhecido sobre ele enquanto ser inédito, situado no âmbito do registro do pensamento em suporte documental

(desenho, maquete virtual, etc.). Se o processo de concepção é um processo de atribuição de conceitos ao objeto arquitetônico abstrato, o edifício representado é um conhecimento, um conjunto de conceitos.

Para Malard (2004), se o objeto que se projeta é novo, “inexistente”, parece-lhe paradoxal dizer que o processo de concepção é um processo de atribuição de conceitos pois, para a autora, conceitos podem ser atribuídos apenas a objetos existentes ou que podem ser descritos. Entretanto, é importante definir o que é “inexistente” no processo de projeto. Se partirmos do pressuposto de que um objeto existe mesmo enquanto abstrato ou imaginado, pode-se considerar que um edifício exista enquanto ideia e a atribuição de conceitos a ele signifique um exercício para seu reconhecimento.

Pode-se afirmar que o Ambiente de Imersão oferece a possibilidade de representação e comunicação mais precisa dos elementos pertencentes ao universo ontológico (daquilo que o usuário imagina ou observa), ainda que essa representação não seja uma reprodução perfeita da realidade objetiva. O edifício que existe antes e independente de sua representação, no plano abstrato ou concreto, é o objeto ontológico. Concreto, enquanto real fisicamente. Abstrato, enquanto real no plano do intelecto, do pensamento e da imaginação.

O modelo virtual do edifício existente é a representação de um objeto abstrato ou de um objeto concreto mas, nunca, um ser ontológico. É uma representação em si mesmo, um objeto epistemológico. O modelo virtual apenas passa a existir quando está representando algo (imaginado ou observado), apenas existe enquanto representação.

O debate sobre o conceito de realidade e que justifica o uso de aspas na palavra “real” gira em torno da ideia de que tanto a Realidade Virtual quanto a realidade em que vivemos, o mundo como o conhecemos, são “virtuais”. Nossa realidade é também uma representação (mental) daquilo que conhecemos sobre a realidade objetiva. Se a representação nunca corresponderá perfeitamente à realidade

objetiva, àquilo que não se pode perceber por estar além da capacidade dos sentidos, vivemos e continuaremos a viver em um mundo virtual.

O mundo como o conhecemos é apenas uma parte da verdade, aquela que é possível perceber. Seres do universo ontológico não podem ser conhecidos integralmente, visto a limitação sensorial humana. Não obstante, continuamos a chamar este mundo de “real”, embora este seja apenas produto daquilo que conseguimos perceber. Nesse sentido, a Realidade Virtual se assemelha ao mundo em que vivemos enquanto apenas uma parte do universo ontológico, apenas aquilo que se pode perceber e representar. Outro aspecto semelhante é que a existência de ambas está condicionada à percepção. No plano físico, os elementos percebidos pelos sentidos e que levam à sensação de presença não correspondem, necessariamente, à realidade objetiva. O que se observa talvez não seja a realidade. No plano virtual, aquilo que é percebido e que leva à sensação de presença (telepresença) não é, fundamentalmente, a realidade objetiva, mas uma representação deficiente dela. Por essa razão, Realidade Virtual recebe o termo “realidade”, embora nem a Realidade Virtual e nem a realidade em que vivemos, sejam de fato, a realidade.

Por mais que a capacidade computacional em simular a realidade se desenvolva, a representação virtual nunca será o objeto ontológico, mas sempre uma representação criada pelo ser humano e em função daquilo que ele consegue conhecer sobre a verdade. É exatamente esse poder em se assemelhar ao mundo como o conhecemos que faz da Realidade Virtual Imersiva Exploratória uma interessante ferramenta para simular, prever e investigar o comportamento das coisas.

O Ambiente de Imersão representa a tecnologia mais avançada e de maior contribuição à etapa do projeto conceitual, à geração de ideias, onde acontecem as decisões de maior repercussão na qualidade do empreendimento. Uma melhor noção espacial, oferecida pela tecnologia, implica em uma melhor compreensão da representação, do espaço virtual. No Ambiente de Imersão, é possível se determinar a pertinência e adequação das soluções representadas a partir da

experiência existencial-espacial, para além da simples comparação visual. Na medida em que o problema é melhor compreendido, soluções projetuais mais eficazes podem ser propostas. Este trabalho mostrou que o Ambiente de Imersão é capaz de oferecer melhores condições para a avaliação da pertinência e adequação das soluções projetuais (pelo melhor entendimento das propostas e de suas repercussões) contribuindo também para a dinamização das reuniões de análise crítica e revisões de projeto, procedimentos fundamentais à coordenação técnica. Consequentemente, pode contribuir também para a racionalização dos processos construtivos ao valorizar e incrementar a fase de concepção e experimentação.

É possível notar o caráter complementar entre os sistemas BIM e de Realidade Virtual. O BIM oferece a plataforma para modelagem e gestão das informações da construção, mas se beneficiaria também pela incorporação de recursos de Realidade Virtual Imersiva Exploratória, que poderiam oferecer melhores condições para a compreensão dos modelos tridimensionais gerados por esses aplicativos de modelagem, sem a necessidade de softwares de conversão, motores de jogos digitais como os utilizados nessa pesquisa. Poder-se-ia chamá-los de modelos estéreo-parametrizados.

Assim como a Modelagem da Informação, a Realidade Virtual representa grandes avanços no âmbito da representação e comunicação de informações na construção civil, entretanto, se concentrando fundamentalmente na simulação do mundo “real” para fins de sua representação gráfica. A Realidade Virtual procura representar a informação visual utilizando-se da linguagem gráfica. O BIM pretende representar as informações para que sejam reconhecidas e gerenciadas pelos computadores, utilizando-se da linguagem particular aos sistemas de informação (códigos-fonte, etc.). Aplicativos de Realidade Virtual Imersiva com recursos de gerenciamento das informações da construção ou vice-versa ainda não são conhecidos.

Acredita-se que as tradicionais reuniões de coordenação técnica para compatibilização e revisão de projetos sejam reconfiguradas a partir da crescente

adoção de sistemas BIM e de Realidade Virtual. A análise crítica realizada em Ambientes de Imersão pode significar grandes avanços em termos de custo, velocidade e qualidade dos empreendimentos, contribuindo para a diminuição do retrabalho e da necessidade de compatibilização dos projetos. Nesse contexto, o coordenador de projetos passa a ser, não aquele que promove a concatenação de procedimentos isolados – como é o caso no processo de compatibilização – mas aquele que garante suficiente integração entre os projetistas para que os projetos não precisem ser compatibilizados. Nesse modelo, o coordenador poderia funcionar como uma espécie de “mediador” desses encontros, orientando a interação entre os membros da equipe enquanto utilizam o Ambiente de Imersão simultaneamente.

Na medida em que a intenção é compartilhar conhecimento e explicitá-lo, o Ambiente de Imersão se torna um meio poderoso ao contribuir não apenas para a universalização da linguagem como também para os processos de conversão do conhecimento, como os de socialização e externalização, muito frequentes em reuniões de análise crítica. O Ambiente de Imersão pode contribuir para aumentar a frequência da comunicação em grupo, enquanto um espaço compartilhado de interação com a informação e com membros da equipe, simultaneamente. Processos transdisciplinares também podem vir a se beneficiar com o uso dos Ambientes de Imersão, na medida em que propiciam a interação e a troca de saberes entre projetistas de forma natural, espontânea e desestruturada.

Para além dos benefícios aos processos cognitivos oferecidos pelo Ambiente de Imersão, relacionados à percepção e ao entendimento do espaço virtual, sua estrutura física também contribui para os processos colaborativos. Compartilhando o mesmo espaço físico e virtual, simultaneamente, os projetistas podem trocar informações de forma instantânea e informal através do diálogo e do discurso, o que corresponde de fato às naturezas emocional e cognitiva do processo de busca e uso da informação pelos usuários. Juntos, os membros de um grupo de projetistas no Ambiente de Imersão podem buscar ideias, informações e referências para auxiliar na resolução de problemas. O grupo também tem mais capacidade de gerar alternativas, levantar as vantagens e

desvantagens de cada uma, selecionar as opções viáveis e tomar as decisões mais adequadas.

A qualidade da representação de um edifício não depende apenas da ferramenta utilizada para representá-lo, ou ainda da fidelidade às normas de desenho técnico mas, sobretudo, da similaridade entre o objeto (abstrato, que se deseja representar) e sua representação. O mais importante sobre a representação parece ser a habilidade que ela tem em comunicar – fielmente – a ideia do projetista. Nesse contexto, esse trabalho mostrou que a Realidade Virtual Imersiva Exploratória é uma tecnologia de grande poder comunicativo, capaz de aumentar a qualidade do processo de comunicação da representação arquitetônica, ao conferir maior similaridade entre objeto e sua representação.

Ademais, a Realidade Virtual Imersiva Exploratória contribui para aumentar a qualidade da comunicação ao transmitir a mensagem inserida em um contexto. A qualidade dessa comunicação depende do meio utilizado. Um mesmo conteúdo de informações pode se utilizar de meios de comunicação diferentes e ser transmitido de forma melhor em um e pior em outro. Essa tecnologia oferece a possibilidade de se comunicar informações complexas sem que seja necessário fragmentá-las, como ocorre na representação bidimensional do objeto. A imersão permite ao projetista perceber e experimentar relações formais e espaciais do edifício impossíveis de serem verificadas através da Realidade Virtual não Imersiva.

No processo colaborativo de concepção, cada um dos projetistas imagina e apreende o objeto de sua imaginação. Este objeto abstrato é, para cada um deles, de uma determinada forma. Ao receber do cliente as diretrizes iniciais do que virá a ser o edifício, cada um dos projetistas pensa imediatamente sobre o objeto segundo a sua disciplina. É necessário que essa visão particular de cada especialidade seja compartilhada e incorporada a um modelo comum passível de ser compreendido por todos, segundo os princípios do Projeto Simultâneo, ainda nas fases iniciais do design. A grande contribuição dos modelos tridimensionais imersivos ao processo de projeto, enquanto um processo de comunicação e de

conversão do conhecimento tácito em explícito, gira em torno do aspecto universal e abrangente que esse tipo de representação possui. O Ambiente de Imersão oferece a possibilidade de um entendimento preciso e compartilhado sobre o problema, onde todos os profissionais podem compreender melhor as relações espaciais do projeto, para então contribuírem em seus respectivos campos de conhecimento levando à geração de soluções multidisciplinares e integradas.

A partir da revisão bibliográfica sobre integração projeto-construção, verifica-se a existência de falhas de comunicação entre projeto e obra que levam a empreendimentos sem a devida integração entre os agentes da indústria da AEC. Tais falhas são agravadas pela perda de conteúdo e de qualidade das informações no momento em que o design (a mensagem) é encaminhado para a obra (receptor) pelo projetista (remetente). Nos casos em que as tecnologias com recursos de visualização tridimensional (Realidade Virtual Imersiva ou não Imersiva) são adotadas na fase de projeto, perdas significativas de informação são constatadas na medida que os usuários dessa informação complexa e sofisticada (agentes da produção: pedreiros, mestres, engenheiros), não têm acesso à ela porque foi convertida em representação bidimensional (desenhos técnicos). Ou seja, ao longo do processo de projeto o meio de comunicação reduz drasticamente a completude e a riqueza de detalhes da informação. Nesse sentido, é perceptível a necessidade de se ampliar o alcance da visualização tridimensional imersiva a todos os agentes do processo, principalmente àqueles que executarão a obra. As diversas formas de emprego da Realidade Virtual (não imersiva, imersiva, aumentada, passiva ou exploratória) são alternativas úteis e viáveis para solucionar o enorme distanciamento entre projeto e produção.

A aferição da qualidade do projeto sob a ótica desenvolvimentista, introduzida pelo movimento modernista no início do século passado e ainda empregada, é controversa. Há sempre uma responsabilidade do projetista para com a qualidade de vida do ser humano em um contexto urbano, que de certa forma pode ser entendida como a qualidade do projeto e cuja importância tende a ser diminuída pelas “forças” do mercado. Soluções de projeto são sempre e apenas as

melhores alternativas para o projeto em um determinado espaço de tempo. Sempre haverá propostas melhores, perdidas no complexo cruzamento das inúmeras variáveis. Os princípios do Projeto Simultâneo definem projeto como fruto de um esforço coletivo e coordenado em função de soluções globalmente 'boas', mesmo que isoladamente não sejam as melhores. O foco é no conjunto da obra, constituído de soluções de diferentes disciplinas, cada uma restrita a um determinado espaço de tempo. Assim, é razoável afirmar que “entregar valor máximo” significaria entregar as melhores soluções de projeto possíveis dentro de um determinado contexto social, político e econômico (ou de estrutura organizacional), de um espaço de tempo pré-definido e com um determinado aporte tecnológico.

Como discutido nesse trabalho, empresas de vários setores já entenderam os benefícios dos Ambientes de Imersão para suas atividades. Essa pesquisa mostrou que os recursos dessa tecnologia podem contribuir também para aumentar a qualidade dos processos da indústria da construção civil, embora essa contribuição esteja sujeita à revisão dos modelos tradicionais de gestão do processo de projeto. É preciso atribuir-lhes a dinâmica inerente ao processo de concepção. Ao permitirem o debate espontâneo entre projetistas de diversas disciplinas (presencial ou remoto), os Ambientes de Imersão criam o cenário para a consideração e a incorporação do *know-how* (conhecimento tácito) de todos os projetistas às propostas conceituais e às soluções técnicas do projeto. A dinâmica de trabalho nesses ambientes exige que hierarquias sociais sejam substituídas por redes sociais. Novos modelos de gestão do processo de projeto devem considerar formas mais flexíveis e espontâneas de interação, menos submetidas às relações de controle e poder e mais comprometidas com a finalidade dessas interações (integrar saberes, colaborar).

Essa pesquisa limitou-se em avaliar a capacidade de um sistema de Realidade Virtual Imersiva Exploratória em auxiliar a percepção dos usuários sobre um ambiente virtual. Em estudos futuros nesta área, segue-se que se avance no desenvolvimento da metodologia para estudos sobre percepção em ambientes de Realidade Virtual e que sejam realizadas investigações sobre a implementação de

Ambientes de Imersão como tecnologia de suporte ao longo de todo o processo de projeto de edifícios: enquanto suporte à visualização, concepção e integração dos projetos das diversas disciplinas; às etapas de execução, no próprio canteiro de obras, para aferição dos procedimentos de construção e à realização das vendas de unidades habitacionais, como possível alternativa para substituição dos atuais “apartamentos modelo” (protótipos físicos em tamanho natural da unidade habitacional comercializada), proporcionando a redução de custos para o empreendedor.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, L. *Visualização e Realidade Virtual*. São Paulo: Makron Books, 1995.

AIA – THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. *Integrated Project Delivery: A Working Definition*. California: McGraw Hill Construction, 2007.

ALVARENGA, L. Representação do conhecimento na perspectiva da ciência da informação em tempo e espaço digitais. *Encontros Bibli: Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação*. Florianópolis, v. 8, n. 15, p. 18-40, jan/2003. Disponível em:
<<https://periodicos.ufsc.br/index.php/eb/article/view/1518-2924.2003v8n15p18>>. Acesso em: 14 out. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/1518-2924.2003v8n15p18>.

AMOR, R., OWEN, R. Beyond BIM: It's Not the End of the Road! *AECbytes Viewpoint*. n. 58, 2011. Disponível em:
<http://www.aecbytes.com/viewpoint/2011/issue_58.html>. Acesso em: 14 jun. 2013.

ANDERY, P.R.P. Análise do impacto da implantação da ISO 9001 em empresas de projeto: um estudo de caso. In: *SIBRAGEC – Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção*, 2003, São Carlos. *Anais...* São Carlos, 2003. p. 1-10.

ANDERY, P.R.P., VIEIRA, M.P.C., BORGES, G. Certificação de empresas de projeto: um estudo de caso. In: *WBGPPCE – Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios*, 2., 2002, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre, 2002.

ANDRADE, M., RUSCHEL, R. BIM: conceitos, cenário das pesquisas publicadas no Brasil e tendências. In: *SBQP – Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído / WBGPPCE – Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios*, 1./9., 2009, São Carlos. *Anais...* São Carlos, nov/2009.

ANDRADE, M., RUSCHEL, R. Interoperabilidade de aplicativos BIM usados em arquitetura por meio do formato IFC. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v. 4, n. 2, p. 76-111, nov/2009. Disponível em:
<<http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50960>>. Acesso em: 12 mai. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4237/gtp.v4i2.102>.

ANUMBA, C.J., ISSA, R.R.A., PAN, J., MUTIS, I. Ontology-based information and knowledge management in construction. *Construction Innovation*. v. 8, n. 3, p. 218-239, 2008.

ANUMBA, C.J., UGWU, O.O., NEWNHAM, L., THORPE, A. Collaborative design of structures using intelligent agents. *Automation in Construction*. v. 11, n. 1, p. 89-103, 2002.

ARANTES, E.M., VIEIRA, M.P.C., ANDERY, P.R.P., MYSSIOR, S. Considerações sobre a valorização dos projetos nas práticas de mercado. *Construindo*. Belo Horizonte, v. 2, n. 1, p. 14-18, jan/jun 2010.

ASCE – AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. *Quality in the construction project: a guideline for owners, designers and constructors*. New York, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 9001: Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

AZUMA, R., BAILLOT, Y., BEHRINGER, R., FEINER, S., JULIER, S., MACINTYRE, B. Recent Advances in Augmented Reality. *IEEE Computer Graphics and applications*. v. 21, n. 6, p. 34-47, nov/dez 2001.

BALDING, J.J. Incorporating Innovative and Immersive Technologies: Changing the Art of Design. *AECbytes*. 2009. Disponível em: <<http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2009/InnovativeTechnologies.html>>. Acesso em: 18 jan. 2014.

BALTAZAR, A.P., CABRAL FILHO, J.S. Tenda Digital / Digital Tent (Technological Environment for Negotiated Topology) e suas possíveis Implicações em Contextos Sociais. In: *SIGraDi – Iberoamerican Congress of Digital Graphics*, 10., 2006, Santiago. *Anais...* Santiago, nov/2006. p. 346-349.

BARBOSA, R.R., NASSIF, M.E. Práticas de gestão e de tecnologia da informação e seu relacionamento com o desempenho organizacional. *Perspectivas em Gestão e Conhecimento*. João Pessoa, v. 2, n. especial, p. 104-117, out/2012.

BERTOL, D. *Designing Digital Space: An Architect's Guide To Virtual Reality*. New York: John Wiley & Sons, 1997.

BIOCCA, F. Communication within virtual reality: Creating a space for research. *Journal of Communication*. v. 42, n. 4, p. 5-22, 1992.

BIRX, G.W. Getting started with Building Information Modeling. *AIA – The American Institute of Architects – Best Practices*, 2006.

BRADY, D.A. The Mind's Eye: Movement and Time in Architecture. In: *ACADIA – Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*, 1997, Cincinnati. *Proceedings...* Cincinnati, out/1997. p. 85-93.

BRASIL. Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 22 jun. 1993. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8666cons.htm>. Acesso em: 18 set. 2013.

BROWNING, D.R., EDEL, J.G. Virtual Reality and Accessible Transit Design: New Access Methods Project. In: *Virtual Reality and Persons with Disabilities Conference*, 1995, Northridge. *Proceedings...* Northridge, 1995. Disponível em:
<<http://www.csun.edu/~hfdss006/conf/1995/proceedings/0020.htm>>. Acesso em: 23 jan. 2014.

BRUNO, L. Educação e desenvolvimento econômico no Brasil. *Revista Brasileira de Educação*. Rio de Janeiro, v. 16, n. 48, p. 545-562, set/dez 2011.

CAMPOS, J.C., SILVA, C.A. O projeto como investigação científica: educar pela pesquisa. *Arquitextos – Vitruvius*. São Paulo, ano 05, n. 050.10, jul/2004.

CARVALHO, A. Gestão de Projetos Complexos e Transdisciplinaridade. In: *SBQP – Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído / WBGPPCE – Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios*, 2./10., 2011, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, nov/2011.

CELANI, G. *Beyond analysis and representation*. Tese (Doutorado) – Massachusetts Institute of Technology, Cambridge: 2002.

CHAN, C., HILL, L., CRUZ-NEIRA, C. Is it Possible to Design in Full Scale? A CAD Tool in a Synthetic Environment. In: *CAADRIA – Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia*, 4., 1999, Shanghai. *Proceedings...* Shanghai, maio/1999. p. 43-52.

CHANDRASEGARAN, S.K., RAMANIA, K., SRIRAM, R.D., HORVÁTH, I., BERNARD, A., HARIK, R.F., GAO, W. The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. *Computer-Aided Design*. v. 45, n. 2, p. 204-228, fev/2013.

CHIPPERFIELD, K.A., VANCE, J. Virtual Reality Interactive Design Utilizing Meshless Stress Re-Analysis. In: *IDETC/CIE – International Design Engineering Technical Conferences / Computers and Information in Engineering Conference*, 2005, Long Beach. *Proceedings...* Long Beach, set/2005. p. 1295-1300.

CHOO, C.W. *The knowing organization: how organizations use information to construct meaning, create knowledge and make decisions*. New York: Oxford University Press, 1998.

CHUA, A.Y.K., YANG, C.C. The Shift Towards Multi-disciplinarity in Information Science. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. v. 59, n. 13, p. 2156-2170, 2008.

BARRETT, P., LEE, A. *Revaluing Construction: A CIB Priority Theme*. The Netherlands: CIB, 2005.

COGNIÇÃO. Dicionário do Aurélio Online. 2013. Disponível em: <<http://www.dicionariodoaurelio.com>>. Acesso em: 22 out. 2013.

CORDIVIOLA, A.R. Notas sobre projeto e computador. *Arquitextos – Vitruvius*. São Paulo, ano 6, n. 068.04, jan/2006.

CRESPO, C., RUSCHEL, R. Ferramentas BIM: um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto. In: *TIC – Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil*, 3., 2007, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre, jul/2007.

CRUZ-NEIRA, C. Immersed in science and engineering: Projection technology for high-performance virtual reality environments. In: *ICAT – International Conference on Artificial Reality and Telexistence*, 1996, Chiba, Japan. *Proceedings...* Chiba, 1996. p. 77-81.

CRUZ-NEIRA, C., SANDIN, D.J., DEFANTI, T.A. Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE. In: *SIGGRAPH – Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 20., 1993, Anaheim. *Proceedings...* Anaheim, ago/1993. p. 135-142.

DAVENPORT, T.H. *Ecologia da Informação: por que só a tecnologia não basta para o sucesso na era da informação*. São Paulo: Futura, 1998. 316 p.

DIAS, E.W. Ensino e pesquisa em Ciência da Informação. *DataGramaZero – Revista de Ciência da Informação*. v. 3, n. 5, out/2002.

DURSTEWITZ, M., CHEVASSUS, N., NUBER, C. AIT-VEPOP: virtual early prototyping – A means for supporting the work of Distributed Virtual Teams in Concurrent Engineering Environments. In: *ECEC – European Concurrent Engineering Conference*, 8., 2001, Valencia. *Proceedings...* Valencia, abr/2001.

ECO, H. *Apocalípticos e integrados*. São Paulo: Perspectiva, 2000.

EMMITT, S. Design management in architecture, engineering and construction: origins and trends. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v. 5, n. 3, p. 27-38, nov/2010. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/79516>>. Acesso em: 12 mai. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4237/gtp.v5i3.173>.

FAAS, D., BAO, Q., FREY, D.D., YANG, M.C. The influence of immersion and presence in early stage engineering designing and building. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*. v. 28, n. 2, p. 139-151, maio/2014.

FABRÍCIO, M.M. *Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios*. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo: 2002. 329 p.

FERNANDES, G.A., CUNHA, G.G., LOPES, M.C.S. Núcleo Avançado de Visualização (NAV): um centro de computação móvel para suporte a projetos de engenharia. *Revista Realidade Virtual*. Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, jun/2012.

FIDELIS, J.R.F., BARBOSA, R.R. A competência informacional e sua influência na percepção de variáveis organizacionais estratégicas em IES privadas.

Perspectivas em Gestão e Conhecimento. João Pessoa, v. 2, número especial, p. 27-39, out/2012.

FISCHER, A., VANCE, J.M. PHANToM Haptic Device Implemented in a Projection Screen Virtual Environment. In: *International Immersive Projection Technologies Workshop / Eurographics Workshop on Virtual Environments*, 7.19., 2003, Zurich. *Proceedings...* Zurich, 2003. p. 225-229.

FLORIO, W. Análise do processo de projeto sob a teoria cognitiva: sete dificuldades no atelier. *Arquiteturarevista*. São Leopoldo, v. 7, n. 2, p. 161-171, jul/dez 2011.

FRACAROLI, F. *Um estudo de percepção em ambiente simulado com realidade virtual exploratória*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas: 2006. 127 p.

FREITAS, M., RUSCHEL, R. Aplicação de realidade virtual e aumentada em arquitetura. *Arquiteturarevista*. São Leopoldo, v. 6, n. 2, p. 127-135, jul/dez 2010.

FUKS, H., RAPOSO, A., GEROSA, M. Do Modelo de Colaboração 3C à Engenharia de *Groupware*. In: *WEBMIDIA – Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimídia e Web: Trilha especial de Trabalho Cooperativo Assistido por Computador*, 2003, Salvador. *Anais...* Salvador, nov/2003. p. 445-452.

GIALLORENZO, V., BANERJEE, P., CONROY, L., FRANKE, J. Application of virtual reality in hospital facilities design. *Virtual Reality: Research, Development & Applications*. v. 4, n. 3, p. 223-234, 1999.

GIFFORD, R. *Environment Psychology: Principles and Practice*. Colville: Optimal Books, 2002.

GOEL, A.K., VATTAM, S., WILTGEN, B., HELMS, M. Cognitive, collaborative, conceptual and creative – four characteristics of the next generation of knowledge-based CAD systems: a study in biologically inspired design. *Computer-Aided Design*. v. 44, n. 10, p. 879-900, 2012.

GRALA DA CUNHA, E. Discussão sobre o papel da tecnologia no processo de concepção arquitetônica contemporânea: o caso Norman Foster. *Arquitextos – Vitruvius*. São Paulo, ano 10, n. 118.00, mar/2010.

GRILO, L.M., MELHADO, S.B. Trends for design and project management in the Brazilian building industry. In: *CIB World Building Congress*, 16., 2004, Toronto. *Proceedings...* Rotterdam, maio/2004.

GRUDIN, J. Computer-supported cooperative work: its history and participation. *IEEE Computer*. v. 27, n. 5, p. 19-26, 1994.

GUIMARÃES, I., AMORIM, S. Gestão da informação e competência em processo de projeto. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v. 1, n. 1, p. 48-58, nov/2006. Disponível em:
<<http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50892>>. Acesso em: 14 jun. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4237/gtp.v1i1.16>.

GUIZZARDI, G. *Ontological Foundations for Structural Conceptual Models*. Tese (Doutorado) – Universidade de Twente, Centro de Telemática e Tecnologia da Informação, The Netherlands: 2005.

ISAACS, J.P., GILMOUR, D.J., BLACKWOOD, D.J., FALCONER, R.E. Immersive and Non immersive 3D virtual city: Decision support tool for urban sustainability. *ITcon*. v. 16, n. especial, p. 151-162, 2011.

IWATA, K., ONOSATO, M., TERAMOTO, K., OSAKI, S. Virtual manufacturing systems as advanced information infrastructure for integrating manufacturing resources and activities. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. v. 46, n. 1, p. 335-338, 1997. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)60837-3.

JAIN, S., CHOONG, N.F., AYE, K.M., LUO, M. Virtual factory: an integrated approach to manufacturing systems modeling. *International Journal of Operations and Production Management*. v. 21, n. 5/6, p. 594-608, 2001.

JAYARAM, S., VANCE, J., GADH, R., JAYARAM, U., SRINIVASAN, H. Assessment of VR Technology and its Applications to Engineering Problems. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*. v. 1, n. 1, p. 72-83, mar/2001.

JONES, B.R., BENKO, H., OFEK, E., WILSON, A.D. IllumiRoom: Peripheral Projected Illusions for Interactive Experiences. In: *SIGCHI – Conference on Human Factors in Computing Systems*, 31., 2013, Paris. *Proceedings...* New York, abr/2013.

JØRGENSEN, B., EMMITT, S. Lost in transition: the transfer of lean

manufacturing to construction. *Engineering, Construction and Architectural Management*. v. 15, n. 4, p. 383-398, 2008.

KALISPERIS, L., OTTO, G., MURAMOTO, K., GUNDRUM, J., MASTERS, R., ORLAND, B. An Affordable Immersive Environment in Beginning Design Studio Education. In: *ACADIA – Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*, 2002, Pomona. *Proceedings...* Pomona, out/2002. p. 49-56.

KASCHEK, R., DELCAMBRE, L. *The Evolution of Conceptual Modeling: From a Historical Perspective towards the Future of Conceptual Modeling*. New York: Springer, 2011. 360 p.

KYMMEL, W. *Building Information Modeling: planning and managing construction project with 4D and simulations*. McGraw Hill, 2008.

LACOMBE, O. O projeto como descoberta. *Arquitextos – Vitruvius*. São Paulo, ano 08, n. 085.04, jun/2007.

LASCARA, C., WHELESS, G., COX, D., PATTERSON, R., LEVY, S., JOHNSON, A.E., LEIGH, J. Tele-Immersive Virtual Environments for Collaborative Knowledge Discovery. In: *Advanced Simulation Technologies Conference*, 1999, San Diego. *Proceedings...* San Diego, abr/1999.

LAUANDE, F. Dois pressupostos de uma ética na produção da arquitetura como obra de arte: algumas considerações. *Arquitextos – Vitruvius*. São Paulo, ano 08, n. 086.06, jul/2007.

LEIGH, J., JOHNSON, A., RENAMBOT, L., SANDIN, D., DEFANTI, T., BROWN, M., JEONG, B., JAGODIC, R., KRUMBHOLZ, C., SVISTULA, D., HUR, H., KOOIMA, R., PETERKA, T., GE, J., FALK, C. Emerging from the CAVE: Collaboration in Ultra High Resolution Environments. In: *International Symposium on Universal Communication*, 1., 2007, Kyoto. *Proceedings...* Kyoto, jun/2007. p. 96-99.

LEIGH, J., JOHNSON, A.E., BROWN, M., SANDIN, D.J., DEFANTI, T.A. Visualization in Teleimmersive Environments. *IEEE Computer*. v. 32, n. 12, p. 66-73, 1999.

LÉVY, P. *Becoming virtual: reality in the digital age*. New York: Plenum Trade, 1998. 207 p.

MACIEL, C.A. Arquitetura, projeto e conceito. *Arquitextos – Vitruvius*. São Paulo, ano 04, n. 043.10, dez/2003.

MALARD, M.L. *A lógica do pensamento arquitetônico*. EVA – Estúdio Virtual de Arquitetura, 2004. Disponível em: <<http://www.arq.ufmg.br/eva/textos.htm>>. Acesso em: 29 out. 2013.

MALARD, M.L., RHODES, P.J., ROBERTS, S.E. O Processo de Projeto e o Computador: realidades que interagem virtualmente. *Revista de Arquitetura e Urbanismo*. Florianópolis, v. 1, n. 1, p. 25-37, 1997.

MANZIONE, L., WYSE, M., OWEN, R.L., MELHADO, S.B. Challenges for Implementation of a New Model of Collaborative Design Management: Analyzing the Impact of Human Factor. In: *CIB W096 – Architectural Management in the Digital Arena*, 2011, Wien. *Proceedings...* Rotterdam, 2011. p. 256-266.

MCHUGH, R., ZHANG, H. Virtual prototyping and mechatronics for 21st century engineering. *International journal of engineering research and innovation*. v. 3, n. 2, p. 69-75, set/2011.

MELGAÇO, L.A., VIEIRA, M.P.C., ANDERY, P.R.P., ROMEIRO FILHO, E. Visão Prospectiva sobre a Gestão Operacional em Construtoras Certificadas no PBQP-H. In: *ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, 10., 2004, São Paulo. *Anais...* São Paulo, jul/2004.

MELHADO, S.B. Linking quality management, teamwork and integration to define a new model of design management for building construction. In: *CIB W99 – Construction project management systems: The challenge of integration*, 2003, São Paulo. *Proceedings...* Rotterdam, mar/2003.

MELHADO, S.B. O plano da qualidade dos empreendimentos e a engenharia simultânea na construção de edifícios. In: *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 1999, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: UFRJ/ABEPRO, 1999.

MENDES, D., BAX, M.P. A recuperação da informação como base fundamental da Ciência da Informação e sua relação com a Ciência da Computação. In: *ENANCIB – Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação*, 14., 2013, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, out/2013.

MILGRAM, P., KISHINO, F. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*. v. E77-D, n. 12, p. 1321-1329, 1994.

MIRANDA, S. Como as necessidades de informação podem se relacionar com as competências informacionais. *Ciência da Informação*. Brasília, v. 35, n. 3, p. 99-114, dez/2006.

MOHER, T., JOHNSON, A., CHO, Y. First-Person Science Inquiry in Virtual Ambient Environments. In: *SIGCHI – Conference on Human Factors in Computing Systems*, 19., 2001, Seattle. *Proceedings...* Seattle, mar/2001. p. 261-262.

MONASTERIO, C., RUSCHEL, R., PICCHI, F., HARRIS, A. Ambientes de Colaboração e Qualidade no Desenvolvimento de Projeto. In: *WBGPPCE – Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios*, 4., 2004, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, 2004.

NASCIMENTO, L.A., SANTOS, E.T. Barreiras para o uso da tecnologia da informação na indústria da construção civil. In: *WBGPPCE – Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios*, 2., 2002, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: PUC-RS, 2002. p. 1-5.

NONAKA, I., TAKEUCHI, H. *Criação de conhecimento na empresa: como as empresas japonesas geram a dinâmica da inovação*. Rio de Janeiro: Campus, 1997. 358 p.

OKAMOTO, J. *Percepção Ambiental e Comportamento*. São Paulo: IPSIS, 1999.

OKEIL, A. Hybrid design environments: immersive and non-immersive architectural design. *ITcon*. v. 15, p. 202-216, 2010.

OLIVEIRA, A.A.S. *Utilização da Animação Computacional na Verificação do Programa Arquitetônico de Necessidades*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas: 2003. 154 p.

OLIVEIRA, V.F. A importância do projeto no processo de ensino/aprendizagem. *O projeto de engenharia, arquitetura e desenho industrial: Conceitos, reflexões, Aplicações e Formação Profissional*. Ricardo Manfredi Naveiro e Vanderlí Fava de Oliveira (Org.). Juiz de Fora: UFJF, 2001. p. 149-184.

OTTO, G., KALISPERIS, L., GUNDRUM, J., MURAMOTO, K., BURRIS, G., MASTERS, R., SLOBOUNOV, E., HEILMAN, J., AGARWALA, V. The VR-Desktop: an Accessible Approach to VR Environments in Teaching and Research. *International Journal of Architectural Computing*. v. 1, n. 2, p. 233-246, jun/2003.

OWEN, R., AMOR, R., PALMER, M., DICKINSON, J.K., TATUM, C.B., KAZI, A.S., PRINS, M., KIVINIEMI, A., EAST, B. Challenges for Integrated Design and Delivery Solutions. *Architectural Engineering and Design Management*. v. 6, p. 232-240, nov/2010.

PARK, K.S., KAPOOR, A., LEIGH, J. Lessons Learned from Employing Multiple Perspectives In a Collaborative Virtual Environment for Visualizing Scientific Data. In: *International Conference on Collaborative Virtual Environments*, 3., 2000, San Francisco. *Proceedings...* San Francisco, set/2000. p. 73-82.

PERLES, B., VANCE, J. Interactive Virtual Tools for Manipulating NURBS Surfaces in a Virtual Environment. *Journal of Mechanical Design*. v. 124, n. 2, p. 158-163, maio/2002.

PICCHI, F. A. *Sistemas da Qualidade: Uso em Empresas de Construção*. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo: 1993.

PRINS, M., OWEN, R. Editorial Introduction: Integrated Design and Delivery Solutions. *Architectural Engineering and Design Management*. n. 6, p. 227-231, 2010.

RAPOSO, A., SZENBERG, F., GATTAS, M., CELES, W. *Visão Estereoscópica, Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Colaboração*. TECGRAF – Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica. Rio de Janeiro: PUC-RJ, 2004. Disponível em: <http://www.tecgraf.puc-rio.br/publications/artigo_2004_visao_estereoscopica_realidade_virtual.pdf>. Acesso em: 13 out. 2013.

REGO, R.M. As naturezas cognitiva e criativa da projeção em arquitetura: reflexões sobre o papel mediador das tecnologias. *Revista Escola de Minas*. Ouro Preto, v. 54, n. 1, jan/mar 2001.

REHN, G.D., LEMESSI, M., VANCE, J.M., DOROZHKIN, D.V. Integrating operations simulation results with an immersive virtual reality environment. In: *Winter Simulation Conference*, 2004, Washington D.C. *Proceedings...* Washington D.C., dez/2004. p. 1713-1719.

RIGHI, T., CELANI, G. Esboços na era digital: Uma discussão sobre as mudanças na metodologia de projeto arquitetônico. In: *SIGraDi – Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*, 12., 2008, Havana. *Anais...* Havana, dez/2008.

RIGHI, T., CELANI, G., RUSCHEL, R. Displays interativos no atelier de projeto: um experimento pedagógico. In: *SIGraDi – Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*, 13., 2009, São Paulo. *Anais...* São Paulo, nov/2009.

ROHRER, M. Seeing is believing: the importance of visualization in manufacturing simulation. *IIE Solutions*. v. 29, n. 5, p. 24-28, 1997.

ROMANO, F. Modelo de referência para o gerenciamento do processo de projeto integrado de edificações. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v. 1, n. 1, p. 23-46, nov/2006. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50891>>. Acesso em: 23 abr. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4237/gtp.v1i1.7>.

RUSCHEL, R., FRACAROLI, F., SILVA, T. Realidade Virtual Exploratória utilizando-se o Quicktime VR: um estudo sobre a percepção do ambiente simulado para avaliação de projeto. In: *TIC – Seminário de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção Civil*, 2., 2005, São Paulo. *Anais...* São Paulo, abr/2005.

RUSCHEL, R., HARRIS, A., BERNARDI, N. Tecnologia e multidisciplinaridade inovando o ensino de arquitetura e engenharia. *Revista FAAC*. Bauru, v. 1, n. 1, p. 21-34, mar/set 2011.

RUSCHEL, R., OLIVEIRA, A. O potencial da animação digital como ferramenta de verificação de projeto. In: *SIGraDi – Iberoamerican Congress of Digital Graphics*, 8., 2004, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre, nov/2004. p. 265-268.

RYKEN, M.J., VANCE, J.M. Applying virtual reality techniques to the interactive stress analysis of a tractor lift arm. *Finite Elements in Analysis and Design*. v. 35, n. 2, p. 141-155, maio/2000.

SAMPAIO, A.Z., HENRIQUES, P.G., MARTINS, O.P. Virtual Reality Technology Used in Civil Engineering. *The Open Virtual Reality Journal*. v. 2, p. 18-25, 2010.

SARACEVIC, T. Information Science. *Journal of the American Society for Information Science*. v. 50, n. 12, p. 1051-1063, 1999.

SCHEER, S., ITO, A., AYRES FILHO, C.A., AZUMA, F., BEBER, M. Impactos do uso do sistema CAD geométrico e do uso do sistema CAD-BIM no processo de projeto em escritórios de arquitetura. In: *WBGPPCE – Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios*, 7., 2007, Curitiba. *Anais...* Curitiba, 2007.

SCHÖN, D. *Educando o profissional reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem*. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000. 256 p.

SILVA, M., NOVAES, C. A coordenação de projetos de edificações: estudos de caso. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v. 3, n. 1, p. 44-78, maio/2008. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50927>>. Acesso em: 14 mai. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4237/gtp.v3i1.28>.

SILVA, T., RUSCHEL, R., OLIVEIRA, A. Avaliação do projeto com realidade virtual e sua avaliação pós-ocupação: uma comparação. In: *TIC – Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil*, 3., 2007, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre, jul/2007.

SOBRINHO, E.C.M., HAGUENAUER, C.J. Realidade Virtual: articulações com os estudos da linguagem. *Interdisciplinar*. Sergipe, v. 19, n. 2, p. 295-311, jul/dez 2013.

SOUZA, F.R., WYSE, M., MELHADO, S.B. As responsabilidades do coordenador de projetos no processo de modelagem da informação da construção. In: *SBQP – Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído / TIC – Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção*, 3./6., 2013, Campinas. *Anais...* Campinas, jul/2013.

SOUZA, L., AMORIM, S., LYRIO, A. Impactos do uso do BIM em escritórios de arquitetura: oportunidades no mercado imobiliário. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v. 4, n. 2, p. 26-53, nov/2009. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50958>>. Acesso em: 16 mai. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4237/gtp.v4i2.100>.

STEUER, J. Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of Communication*. v. 42, n. 4, p. 73-93, 1992.

TAVARES JÚNIOR, W. *Desenvolvimento de um modelo para compatibilização*

das interfaces entre especialidades do projeto de edificações em empresas construtoras de pequeno porte. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Faculdade de Engenharia de Produção, Florianópolis: 2001.

THOMAS, R., MAROSSZEKY, M., KARIM, K., DAVIS, S., MCGEORGE, D. The Importance of Project Culture in Achieving Quality Outcomes in Construction. In: *IGLC – Conference of the International Group for Lean Construction*, 10., 2002, Gramado. *Proceedings...* Gramado: UFRS, ago/2002.

THOMAZ, E. *Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção.* São Paulo: Pini, 2001. 451 p.

TOBIN, J. Proto-Building: To BIM is to Build. *AECbytes.* 2008.

TURBAN, E. *Administração de Tecnologia da Informação: teoria e prática.* Rio de Janeiro: Campus, 2003. 598 p.

WANN, J., MON-WILLIAMS, M. What does virtual reality NEED?: human factors issues in the design of three-dimensional computer environments. *International Journal of Human-Computer Studies.* v. 44, n. 6, p. 829-847, 1996.

WITMER, B., SINGER, M. Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence.* v. 7, n. 3, p. 225-240, 1998.

ZEVI, B. *Saber ver a arquitetura.* Trad. Maria Isabel Gaspar e Gaëtan Martins de Oliveira. São Paulo: Martins Fontes, 1978. 219 p.

ZUFFO, J.A., SOARES, L.P., ZUFFO, M.K., LOPES, R.D. CAVERNA Digital: Sistema de Multiprojeções Estereoscópico Baseado em Aglomerado de PCs para Aplicações Imersivas em Realidade Virtual. In: *Simpósio de Realidade Virtual*, 4., 2001, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, 2001.

8. APÊNDICE 1

Questionário De Verificação De Percepção – *QVP RVnl* Visita ao Ambiente do Hall Social e Mezanino do edifício da EA-UFMG

Nº do participante: _____
Hora de início: _____:_____
Hora de término: _____:_____

Instruções:

- Procure explorar o ambiente com calma enquanto responde ao questionário
- Não considere os corredores laterais como integrantes deste ambiente
- Se tiver dúvidas, não hesite em perguntar ao pesquisador
- Lembre-se: o ambiente é composto pelo Hall Social e Mezanino

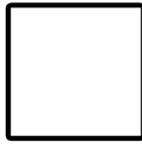
Questões sobre percepção:

1. A distância máxima entre o piso e o teto do ambiente é de:
 - a. () até 4 metros
 - b. () até 6 metros
 - c. () até 8 metros
 - d. () até 10 metros
 - e. () até 12 metros
 - f. () não consigo avaliar
2. O número máximo de pessoas em pé que o ambiente comporta é de:
 - a. () 0 a 100 pessoas
 - b. () 100 a 200 pessoas
 - c. () 200 a 300 pessoas
 - d. () 300 a 400 pessoas
 - e. () 400 a 500 pessoas
 - f. () não consigo avaliar
3. O número total de portas existentes no ambiente é de (porta: dispositivo que abre e fecha, tem maçaneta e permite acesso a outro ambiente):
 - a. () 5
 - b. () 6
 - c. () 7
 - d. () 8
 - e. () 9
 - f. () não consigo avaliar
4. A forma que melhor define este ambiente é:

a. ()
retângulo



b. ()
quadrado



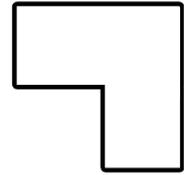
c. ()
losango



d. ()
trapézio



e. ()
forma em "L"



f. () não consigo avaliar

5. Ao se posicionar de frente e próximo à porta de vidro principal, a escada se encontra:
- () à sua frente
 - () à sua esquerda
 - () atrás de você
 - () à sua direita
 - () acima de você
 - () não consigo avaliar
6. Ao se posicionar de frente e próximo ao início da escada, no pavimento térreo, a distância entre você e a parede de vidro à sua frente é de:
- () até 1 metro
 - () até 2 metros
 - () até 4 metros
 - () até 6 metros
 - () até 8 metros
 - () não consigo avaliar
7. A distância entre a maior parede de vidro do ambiente e a parede oposta à ela é de:
- () até 4 metros
 - () até 6 metros
 - () até 8 metros
 - () até 10 metros
 - () até 12 metros
 - () não consigo avaliar

Questionário De Verificação De Percepção – QVP RVI
Visita ao Ambiente do Hall Social e Mezanino do edifício da EA-UFMG

Nº do participante: _____

Hora de início: _____:_____

Hora de término: _____:_____

Instruções:

- Procure explorar o ambiente com calma enquanto responde ao questionário
- Não considere os corredores laterais como integrantes deste ambiente
- Se tiver dúvidas, não hesite em perguntar ao pesquisador
- Lembre-se: o ambiente é composto pelo Hall Social e Mezanino

Questões sobre percepção:

1. Ao se posicionar de frente e próximo à porta de vidro principal, a escada se encontra:
 - a. () à sua frente
 - b. () à sua esquerda
 - c. () atrás de você
 - d. () à sua direita
 - e. () acima de você
 - f. () não consigo avaliar

2. O número total de portas existentes no ambiente é de (porta: dispositivo que abre e fecha, tem maçaneta e permite acesso a outro ambiente):
 - a. () 5
 - b. () 6
 - c. () 7
 - d. () 8
 - e. () 9
 - f. () não consigo avaliar

3. A distância máxima entre o piso e o teto do ambiente é de:
 - a. () até 4 metros
 - b. () até 6 metros
 - c. () até 8 metros
 - d. () até 10 metros
 - e. () até 12 metros
 - f. () não consigo avaliar

4. O número máximo de pessoas em pé que o ambiente comporta é de:
 - a. () 0 a 100 pessoas
 - b. () 100 a 200 pessoas
 - c. () 200 a 300 pessoas
 - d. () 300 a 400 pessoas
 - e. () 400 a 500 pessoas

f. () não consigo avaliar

5. A distância entre a maior parede de vidro do ambiente e a parede oposta à ela é de:

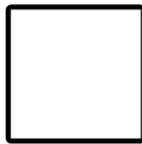
- a. () até 4 metros
- b. () até 6 metros
- c. () até 8 metros
- d. () até 10 metros
- e. () até 12 metros
- f. () não consigo avaliar

6. A forma que melhor define este ambiente é:

a. ()
retângulo



b. ()
quadrado



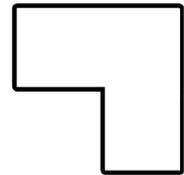
c. ()
losango



d. ()
trapézio



e. ()
forma em "L"



f. () não consigo avaliar

7. Ao se posicionar de frente e próximo ao início da escada, no pavimento térreo, a distância entre você e a parede de vidro à sua frente é de:

- a. () até 1 metro
- b. () até 2 metros
- c. () até 4 metros
- d. () até 6 metros
- e. () até 8 metros
- f. () não consigo avaliar

Questionário De Verificação De Percepção – QVP AF
Visita ao Ambiente do Hall Social e Mezanino do edifício da EA-UFMG

Nº do participante: _____

Hora de início: _____:_____

Hora de término: _____:_____

Instruções:

- Procure explorar o ambiente com calma enquanto responde ao questionário
- Não considere os corredores laterais como integrantes deste ambiente
- Se tiver dúvidas, não hesite em perguntar ao pesquisador
- Lembre-se: o ambiente é composto pelo Hall Social e Mezanino

Questões sobre percepção:

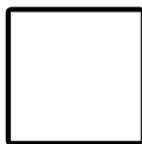
1. A distância entre a maior parede de vidro do ambiente e a parede oposta à ela é de:
- a. () até 4 metros
 - b. () até 6 metros
 - c. () até 8 metros
 - d. () até 10 metros
 - e. () até 12 metros
 - f. () não consigo avaliar

2. A forma que melhor define este ambiente é:

a. ()
retângulo



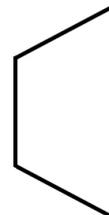
b. ()
quadrado



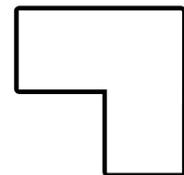
c. ()
losango



d. ()
trapézio



e. ()
forma em "L"



f. () não consigo avaliar

3. O número total de portas existentes no ambiente é de (porta: dispositivo que abre e fecha, tem maçaneta e permite acesso a outro ambiente):
- a. () 5
 - b. () 6
 - c. () 7
 - d. () 8
 - e. () 9
 - f. () não consigo avaliar

4. Ao se posicionar de frente e próximo ao início da escada, no pavimento térreo, a distância entre você e a parede de vidro à sua frente é de:

- a. () até 1 metro
 - b. () até 2 metros
 - c. () até 4 metros
 - d. () até 6 metros
 - e. () até 8 metros
 - f. () não consigo avaliar
5. A distância máxima entre o piso e o teto do ambiente é de:
- a. () até 4 metros
 - b. () até 6 metros
 - c. () até 8 metros
 - d. () até 10 metros
 - e. () até 12 metros
 - f. () não consigo avaliar
6. Ao se posicionar de frente e próximo à porta de vidro principal, a escada se encontra:
- a. () à sua frente
 - b. () à sua esquerda
 - c. () atrás de você
 - d. () à sua direita
 - e. () acima de você
 - f. () não consigo avaliar
7. O número máximo de pessoas em pé que o ambiente comporta é de:
- a. () 0 a 100 pessoas
 - b. () 100 a 200 pessoas
 - c. () 200 a 300 pessoas
 - d. () 300 a 400 pessoas
 - e. () 400 a 500 pessoas
 - f. () não consigo avaliar
8. Como você avalia a semelhança entre o ambiente físico e o ambiente virtual visto pelo monitor?
- a. () idênticos
 - b. () muito semelhante
 - c. () semelhante
 - d. () pouco semelhante
 - e. () sem semelhanças
 - f. () não consigo avaliar
9. Como você avalia a semelhança entre o ambiente físico e o ambiente virtual visto pela tela panorâmica?
- a. () idênticos
 - b. () muito semelhante
 - c. () semelhante
 - d. () pouco semelhante
 - e. () sem semelhanças
 - f. () não consigo avaliar

9. APÊNDICE 2

Questionário De Caracterização Do Perfil Do Participante – **QCCP** Visita ao Ambiente do Hall Social e Mezanino do edifício da EA-UFMG

Nº do participante: _____
Data: ____/____/____

Idade: _____

Sexo: () feminino () masculino

Nível de escolaridade: () 1º grau () 2º grau () 3º grau () Pós-graduação

Profissão:

() Arquiteto

() Estudante de Arquitetura / Período: _____

() Engenheiro

() Estudante de Engenharia / Período: _____

() Outra: _____

Daltonismo: () sim () não

Tem familiaridade com recursos de animação tridimensional?

() sim () não

Conhece previamente o ambiente estudado (Hall Social e Mezanino do edifício da EA-UFMG)?

() sim () não