



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE COMUNICAÇÃO E EXPRESSÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
DESIGN E EXPRESSÃO GRÁFICA**

**ALESSANDRO VIEIRA DOS REIS**

**INTERFACES TANGÍVEIS EM SIMULADORES VEICULARES:  
Componentes para um Protocolo de Avaliação de Usabilidade**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Florianópolis  
2016**



Alessandro Vieira dos Reis

**INTERFACES TANGÍVEIS EM SIMULADORES VEICULARES:  
Componentes para um Protocolo de Avaliação de Usabilidade**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Design e Expressão Gráfica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Design.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Berenice Santos Gonçalves, Dr.<sup>a</sup>

Florianópolis  
2016

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.**

Reis, Alessandro Vieira dos

Interfaces tangíveis em simuladores veiculares :  
componentes para um protocolo de avaliação de usabilidade /  
Alessandro Vieira dos Reis ; orientadora, Berenice Santos  
Gonçalves - Florianópolis, SC, 2016.

129 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, . Programa de Pós-Graduação em Design e Expressão  
Gráfica.

Inclui referências 1.

Design e Expressão Gráfica. 2. Interfaces tangíveis.  
3. Usabilidade. 4. Cognição corporificada. 5. Simuladores.  
I. Gonçalves, Berenice Santos . II. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Design e  
Expressão Gráfica. III. Título.

**INSERIR FOLHA DE APROVAÇÃO**



## **AGRADECIMENTOS**

Sou grato às pessoas que tornaram possível a realização da minha pesquisa. Dentre elas, Manuel Steidle, da Fundação CERTI, que me chamou para o projeto de avaliação de simuladores, e Ricardo Pralon, que coordenou o projeto. No âmbito acadêmico, agradeço à Prof.a Dr.a Berenice Santos Gonçalves, minha orientadora, que tanto me ensinou sobre os detalhes de como se cria conhecimento.

Foram minhas inspirações intelectuais, dignas de nota, o cientista comportamental (e designer) B. F. Skinner, fundador do Behaviorismo Radical; e Donald Norman, que integrou Psicologia, Design e Engenharia para fundamentar o campo do Design de Interação.

Por fim, quero agradecer especialmente a Deus. Sem Sua graça eu não teria tido tempo para me tornar um Mestre em Design e nem realizar meus outros sonhos.



Decido esta dissertação a todos  
aqueles que desejam inovar rumo a  
uma pesquisa em Design pautada em  
Ciência Comportamental.



## RESUMO

A partir do final dos anos 1990, inovações tecnológicas relacionadas à interação de usuários e sistemas digitais proporcionaram o advento de um novo campo de estudos em Design. Trata-se das Interfaces Tangíveis, que podem ser definidas como o uso de objetos e ambientes físicos para emissão de comandos e feedback em interações digitais, onde a usabilidade possui parâmetros distintos das interfaces gráficas. Nesse contexto, esta pesquisa teve por objetivo a identificação de componentes para um protocolo de avaliação de usabilidade de Interfaces Tangíveis naturais e de incorporação ambiental, isto é, que consistem no design de todo um ambiente para promover uma interação intuitiva. A abordagem metodológica utilizada é de natureza qualitativa e exploratória, consistindo em: a) Revisão sistemática na literatura relativa a Interfaces Tangíveis e b) Testes de usabilidade de um produto que proporciona interação tangível ambiental (um simulador de motocicleta). Como resultados foram identificados componentes para um protocolo de avaliação: seis dimensões gerais de análise de usabilidade identificadas pela literatura especializada (Usuário, Instrutor, Ambiente Físico, Artefato Real, Cenário Intangível e Relação Real-Virtual), sendo cada dimensão constituída por fatores específicos oriundos dos testes de usabilidade realizados.

**Palavras-Chave:** Interfaces Tangíveis. Usabilidade. Cognição Corporificada. Simuladores.



## **ABSTRACT**

With the emergence, from the late 1990s, of technological innovations related to the interaction of users and systems, it has been the advent of a new field of study in Design: the tangible user interfaces. Such interfaces can be defined as the use of objects and physical environments for issuing commands and feedback in digital interactions where usability has different parameters of the graphical interfaces. This research aims to establish components for a protocol for assessment of tangible interface, specially those of the environmental type, ie, consisting of the design of an entire physical environment with the purpose digital interaction. The methodological approach for this research is qualitative and exploratory, consisting of: a) Systematic reviewing of the literature on tangible interfaces; b) Usability testing of a product that provides tangible environmental interaction (a motorcycle simulator). As result is had been identified components for a protocol for assessment which includes general criteria for usability described in the specialized literature and specific items identified by tests.

**Keywords:** Tangible Interfaces. Usability. Embodied Cognition. Simulators.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Imagem 1 - Resumo do processo de identificação de componentes .....	26
Imagem 2 - O modelo de interação de Norman .....	30
Imagem 3 - Diferenças entre interfaces gráficas (GUI) e tangíveis (TUI) .....	32
Imagem 4 - Soroban .....	34
Imagem 5 - Exemplo de interface WIMP .....	36
Imagem 6 - Usuário em imersão em uma Realidade Virtual .....	37
Imagem 7 - Realidade Aumentada .....	38
Imagem 8 - Realidade Aumentada e Virtual .....	38
Imagem 9 - Exemplo do TAC Paradigm .....	41
Imagem 10 - Mesa de toque e componentes .....	43
Imagem 11 - Simulador de motocicleta com 6 graus de liberdade.....	50
Imagem 12 - Representação visual dos quatro domínios. ....	58
Imagem 13 - Localização da produção sobre interfaces tangíveis .....	62
Imagem 14 - Metáforas no Design de Interação .....	64
Imagem 15 - Planta do LabUP .....	83
Imagem 16 - Esquema visual do simulador P3 5DoF .....	85
Imagem 17 - Testador operando o P3 5DoF no LabUP .....	85
Imagem 18 - Procedimentos metodológicos empregados .....	89
Imagem 19 - Distribuição por sexo e idade dos 20 participantes da pesquisa.....	91
Imagem 20 - Escolaridade e experiência com condução de motocicletas.....	92
Imagem 21 - Relação entre pontos de desempenho (na vertical) e distribuição de escolaridade (horizontal). Onde: EF (Ensino Fundamental), EMI (Ensino Médio Incompleto), EMC (Ensino Médio Completo), ES (Ensino Superior) e PG (Pós-graduação). ....	93
Imagem 22 - Relação entre pontos de desempenho (na vertical) e distribuição de experiência com condução (na horizontal). Onde: N (Nenhuma), MB (Muito Baixa), B (Baixa), M (Média), A (Alta) .....	94
Imagem 23 - Entrevista na sala de reuniões do Labo .....	95
Imagem 24 - Relações entre dimensões de interfaces tangíveis.....	100
Imagem 25 - Esquema das Dimensões e Fatores. ....	103



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - O paradigma TAC.....	41
Quadro 2 - Relações entre componentes físicos e virtuais. ....	42
Quadro 3 - Níveis de incorporação das interfaces tangíveis .....	45
Quadro 4 - Níveis de interatividade físico-virtual em interfaces tangíveis .....	46
Quadro 5 - Quatro tipos de interfaces tangíveis segundo o uso de metáforas .....	47
Quadro 6 - Síntese das tipologias de interfaces tangíveis. ....	48
Quadro 7 - Os quatro domínios da Interação Misturada .....	57
Quadro 8 - Dados da revisão sistemática .....	59
Quadro 9 - Descrição das publicações encontradas .....	60
Quadro 10 - Periódicos mais relevantes .....	60
Quadro 11 - Autores de mais destaque em publicações .....	61
Quadro 12 - Artigos achados na segunda revisão .....	63
Quadro 13 - Contraste entre dois modelos nas Ciências Cognitivas .....	70
Quadro 14 - Quatro aspectos da Cognição Corporificada.....	77
Quadro 15 - Procedimentos metodológicos .....	82
Quadro 16 - Especificações técnicas do P3 5DoF.....	86
Quadro 17 - Temas positivos e recorrentes nas entrevistas.....	96
Quadro 18 - Temas negativos e recorrentes nas entrevistas.....	97
Quadro 19 - Dimensões de avaliação e suas origens.....	98
Quadro 20 - Padrões de atributos de interfaces tangíveis.....	99
Quadro 21 - Fatores formadores do ambiente físico de uso.....	101
Quadro 22 - Dados dos 20 testadores .....	125
Quadro 23 - Entrevistas finais.....	126
Quadro 24 - Assuntos.....	127
Quadro 25 - Objetivos de ensino.....	128
Quadro 26 – Competências .....	129



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	19
1.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	20
1.2 PRESSUPOSTOS .....	20
1.3 OBJETIVOS .....	22
1.4 JUSTIFICATIVA .....	22
1.5 ABORDAGEM METODOLÓGICA .....	23
<b>1.5.1 Processo indutivo de identificação dos componentes</b> .....	24
1.6 ADERÊNCIA AO PROGRAMA E À LINHA DE PESQUISA ....	26
1.7 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO .....	26
1.8 APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	27
<b>2 INTERFACES TANGÍVEIS</b> .....	29
2.1 DESIGN DE INTERAÇÃO .....	29
2.2 O ADVENTO DAS INTERFACES TANGÍVEIS .....	31
<b>2.2.1 Evolução histórica das interfaces</b> .....	34
2.3 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS INTERFACES TANGÍVEIS .....	39
<b>2.3.1 Tipologias de interfaces tangíveis</b> .....	44
2.4 USABILIDADE DE INTERFACES TANGÍVEIS .....	50
<b>2.4.1 Avaliação de usabilidade</b> .....	51
<b>2.4.2 Avaliação de interfaces tangíveis</b> .....	53
2.5 REVISÕES SISTEMÁTICAS SOBRE INTERFACES TANGÍVEIS .....	58
<b>2.5.1 Primeira revisão sistemática</b> .....	59
<b>2.5.2 Segunda revisão sistemática</b> .....	63
2.5.2.1 Metáforas .....	64
2.5.2.2 Mapeamento .....	65
2.5.2.3 Naturalidade do uso .....	66
2.5.2.4 Interfaces tangíveis são parte de um conjunto maior .....	66
<b>3 FUNDAMENTOS COGNITIVOS DO DESIGN DE INTERAÇÃO</b> .....	69
3.1 DUAS ABORDAGENS PARA A COGNIÇÃO .....	69
3.2 HISTÓRICO DA COGNIÇÃO CORPORIFICADA .....	70
<b>3.2.1 Behaviorismo</b> .....	71
<b>3.2.2 Ecological Psychology</b> .....	72
<b>3.2.3 Behaviorismo e Ecological Psychology</b> .....	73
3.3 PRINCIPAIS PREMISSAS DA COGNIÇÃO CORPORIFICADA .....	75

<b>4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	81
4.1 TESTES DE USABILIDADE REALIZADOS .....	82
4.1.1 Local dos testes .....	82
4.1.2 O simulador de motocicleta P3 5DoF .....	83
4.1.3 Roteiro dos testes.....	86
4.1.4 Instrumentos de avaliação utilizados nos testes .....	87
4.2 PARTICIPANTES DA PESQUISA .....	88
4.3 APRESENTAÇÃO DOS COMPONENTES DO PROTOCOLO..	89
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	91
5.1 PERFIL DOS PARTICIPANTES DOS TESTES.....	91
5.2 RESULTADO DOS TESTES DE USABILIDADE REALIZADOS .....	92
<b>5.2.1 Desempenho nas tarefas relacionado com perfil dos participantes da pesquisa</b> .....	93
<b>5.2.2 Resultados das entrevistas sobre satisfação</b> .....	95
5.3 IDENTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DO PROTOCOLO...	98
<b>5.3.1 Dimensões de avaliação oriundas da literatura</b> .....	98
<b>5.3.2 Fatores oriundos dos testes realizados</b> .....	100
5.4 COMPONENTES DO PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE INTERFACES TANGÍVEIS .....	102
5.5 DISCUSSÃO SOBRE OS COMPONENTES DO PROTOCOLO.....	106
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	109
6.1 SOBRE OS COMPONENTES IDENTIFICADOS .....	109
6.2 CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS E METODOLÓGICAS .....	110
6.3 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS .....	110
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	113
<b>APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido...</b>	123
<b>APÊNDICE B – Dados dos 20 testadores</b> .....	125
<b>APÊNDICE C – Dados das entrevistas finais</b> .....	126
<b>ANEXO A - Programa de objetivos de ensino desenvolvido pela equipe de pedagogas da Fundação CERTI</b> .....	128
<b>ANEXO B – Indicadores de Desempenho</b> .....	129

## 1 INTRODUÇÃO

Interfaces podem ser entendidas como uma camada de comunicação entre ao menos um usuário que emite comandos e um artefato ou sistema que responde a esses comandos, promovendo assim uma interação (ALBERT; TULLIS, 2008). Em outras palavras, interfaces são projetadas com o objetivo de mediar e facilitar a interação entre pessoas e sistemas. O design de interfaces demanda conhecimento das necessidades e objetivos dos usuários enquanto interagem com sistemas: “Uma questão fundamental do Design de Interação<sup>1</sup> é a seguinte: como você otimiza as interações do usuário com o sistema, ambiente ou produto” (PREECE; SHARP; ROGERS, 2013, p. 27).

A disciplina do Design de Interação, no contexto de produtos digitais, teve seu início a partir das interfaces gráficas presentes em telas de computadores. A maioria das interfaces de produtos digitais ainda é de natureza audiovisual, estando contida em telas e fazendo uso de teclado e mouse para a captação de comandos do usuário. Contudo, a interatividade digital já conquistou outros meios além do conjunto formado por tela, teclado e mouse (PARAGUAI, 2008). Segundo Saffer (2009), no final dos anos 1990 em diante começam a se popularizar interfaces que respondem a gestos. Estes são definidos pelo autor como:

[...] qualquer movimento físico que um sistema digital pode sentir e responder sem a ajuda de um tradicional dispositivo de ponteiro tal como um mouse. Uma onda, um aceno, um toque, uma batida com o dedo e até mesmo o levantar de uma sobrancelha pode ser um gesto<sup>2</sup>. (SAFFER, 2009, p.2).

As interfaces que respondem a gestos e à corporalidade integral do usuário, indo muito além de estímulos audiovisuais em telas e captação de comandos com mouse e teclado, vêm crescendo desde a primeira década do século XXI. Tal tipo de interface já representa uma nova área do Design de Interação que começou a ser sistematizada no

---

<sup>1</sup> Design de Interação é o ramo do Design que tem por objetivo estudar as interfaces entre pessoas e máquinas, e como projetar tais interfaces levando em conta tanto fatores humanos quanto tecnológicos. (PREECE; SHARP; ROGERS, 2013).

<sup>2</sup> Do original: “*any physical movement that a digital system can sense and respond to without the aid of a traditional pointing device such as a mouse or stylus. A wave, a head nod, a touch, a toe tap, and even a raised eyebrow can be a gesture*”

final dos anos 1990 com o trabalho pioneiro do Media LAB, o laboratório de mídia do MIT (ISHII; ULLMER, 1997).

As Interfaces Tangíveis, conhecidas pela sigla TUI, de Tangible User Interfaces, se diferenciam das interfaces gráficas, ou Graphical User Interfaces (GUI) ao ponto de justificar um novo ramo de estudo dentro do Design de Interação. O novo ramo dentro do campo de Design de Interação se justifica pelo fato de que interfaces tangíveis diferem em muito das gráficas em termos de como afetam pessoas e de como exploram suas capacidades e restrições cognitivas, bem como no suporte tecnológico necessário para seu desenvolvimento.

## 1.1 QUESTÃO DE PESQUISA

Apesar de terem sido caracterizadas como objeto de estudo há cerca de 18 anos, as Interfaces Tangíveis, comparadas às gráficas, possuem poucas orientações para desenvolvimento e avaliação em todo o mundo (JETTER et al, 2013). Portanto, tais interfaces apresentam-se como um desafio para designers em termos de avaliação, uma vez que suas premissas ainda não constam no repertório da maioria dos designers, que estão habituados ao conceito de interfaces gráficas do tipo WIMP<sup>3</sup>. A área relativamente nova formada pelas interfaces tangíveis propõem, assim, desafios em termos de instrumentação para designers envolvidos com esse tipo de interação, que se encontram sem referenciais tais com os que já existem na área de interfaces gráficas. Cabe aos pesquisadores do Design o desenvolvimento de diretrizes de concepção e avaliação para que profissionais envolvidos com interfaces tangíveis possam contar com instrumentos de trabalho e pesquisa.

Diante disso, foi constituída a seguinte pergunta de pesquisa: “Como avaliar interfaces tangíveis tendo em vista o aprimoramento da usabilidade desse tipo de interação entre o usuário e o sistema?”

## 1.2 PRESSUPOSTOS

A pesquisa relatada no presente documento foi desenvolvida a partir dos seguintes pressupostos:

- a) Apesar da diversidade de expressões, as interfaces tangíveis possuem um núcleo homogêneo de características. Tal fato permite uma conceituação das mesmas, que por sua vez

---

<sup>3</sup> Sigla de “Windows, Icons, Menus and Prompts”. Trata-se do padrão de interface gráfica tornado clássico em sistemas operacionais como Mac e Windows (JETTER et al, 2013).

possibilita o desenvolvimento de diretrizes gerais para sua avaliação;

- b) As interfaces tangíveis, assim como as gráficas, podem ser avaliadas por meio de procedimentos padronizados, como por exemplo: inspeções<sup>4</sup>, testes de usabilidade<sup>5</sup> e afins. Tais abordagens e técnicas podem ser desenvolvidas para uso em diversos casos. Técnicas de avaliação de interfaces tangíveis podem ser desenvolvidas a partir da integração de diretrizes e padrões disponíveis em referências já existentes;
- c) Para desenvolver técnicas de avaliação de interfaces tangíveis se torna necessário primeiramente compreender a forma como o usuário interage com um sistema usando não apenas sua visão e movimentos sutis das mãos (como faz com interfaces gráficas), mas fazendo uso de sua corporalidade. Em outras palavras, é necessária uma melhor compreensão dos processos de cognição<sup>6</sup> do usuário envolvidos nas interfaces tangíveis. Avaliar tal objeto demanda uma análise aprofundada dos processos sensoriais e motores, diferente daquela empregada para avaliar interfaces gráficas;
- d) Toda pesquisa em Design, como qualquer ramo de pesquisa científica, fundamenta-se em modelos teóricos pelos quais define seus objetos e métodos de estudo. A pesquisa de natureza científica demanda algum modelo epistemológico que estipula “a natureza, bases, limites e critérios para validação da teoria e conhecimento” (MONAT, CAMPOS e LIMA, 2008, p. 11). Historicamente, disciplinas como a Human Computer Interaction e o Design de Interação se basearam em conhecimentos oriundos das Ciências

---

<sup>4</sup> Procedimentos de inspeção podem ser usados por pessoas sem formação específica em Design ou Ergonomia, e consistem na avaliação por meio de critérios apontados em *checklists*, algumas vezes feitas de formas intuitivas, outras de maneira mais formal (CYBIS, 2007).

<sup>5</sup> Usabilidade é uma propriedade atribuída a interfaces, formada por diferentes fatores: sua eficácia em cumprir os objetivos do usuário, sua eficiência em termos de esforço despendido para uso, a capacidade de gerar satisfação no usuário, etc. Há diversas formas de avaliar usabilidade, sendo uma das mais comuns o teste direto feito com usuários que são expostos à interface, tendo seu comportamento observado e questionado a seguir (ABNT, 2003).

<sup>6</sup> A palavra cognição vem do latim “Cognitione”, que significa “adquirir conhecimento”. Fenômenos cognitivos são aqueles que dizem respeito à percepção, memorização, imaginação, raciocinar, etc. A cognição do usuário diz respeito a como se dá sua experiência pessoal com interfaces, sendo essa determinada pelo ambiente, por seu histórico de aprendizagens como indivíduo e fatores biológicos (NORMAN, 2009).

Cognitivas afim de compreender a interação entre pessoas e máquinas enquanto objeto científico de estudo (ROGERS, 2012). Portanto, conhecimentos científicos atuais devem ser empregados para o desenvolvimento de inovações teóricas, metodológicas e instrumentais no design de interfaces tangíveis.

### 1.3 OBJETIVOS

Esta pesquisa tem, como Objetivo Geral, identificar componentes para configuração de um protocolo de avaliação usabilidade de interfaces tangíveis que envolvam interações ambientais (do usuário com um ambiente onde a interface está distribuída na forma de objetos físicos).

Destaca-se ainda como Objetivos Específicos:

- a) Sintetizar as indicações presentes na literatura sobre a avaliação de interfaces tangíveis. A partir dessa síntese, desenvolver categorias gerais e indicadores específicos de avaliação de tais interfaces;
- b) Sistematizar os resultados dos testes de usabilidade realizados a partir de um simulador de motocicleta e integrar esses dados com as indicações da literatura para elencar os componentes do protocolo de avaliação de interfaces tangíveis.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

Em termos acadêmicos, a presente pesquisa justifica-se pela necessidade de revisão teórica, metodológica e instrumental no Design de Interação no que diz respeito às interfaces tangíveis. A pesquisa científica em Cognição apresenta-se como fundamento teórico que demanda estudo aprofundado por parte de designers. Da mesma forma, novos procedimentos e instrumentos no Design de Interação apresentam-se como uma necessidade, dada as inovações em termos de produtos tecnológicos que aplicam tal disciplina.

Justifica-se ainda a presente pesquisa pelas novas demandas no âmbito do Design. Membros de tal classe profissional se veem diante de formas inéditas de interação entre usuários e produtos. Os designers precisam de protocolos para lidar com as interfaces tangíveis e fenômenos correlatos. Reunir e integrar modelos explicativos para esse tipo de interface mostra-se como necessário para tal ramo profissional. Em termos sociais, a prática fundamentada desses profissionais

significará projetos de inovação tecnológica mais amparados cientificamente, o que implica em melhores resultados em diversas áreas de aplicação desses saberes.

A relevância social desta pesquisa reside nas crescentes aplicações das interfaces tangíveis para diferentes campos. Dentre eles, a educação escolar, o treinamento militar e outras formas de ensino e aprendizagem, como a corporativa. Em termos acadêmicos, a presente pesquisa tem relevância no sentido de fundamentar cientificamente projetos de inovação tecnológica e outras pesquisas, o que implica em melhores resultados em diversas áreas de aplicação desses saberes.

O pesquisador destaca ainda, como relevância pessoal para a presente pesquisa, a possibilidade de integração estudos teóricos em Cognição Humana (tema de seu bacharel em Psicologia), com inovações técnicas no ramo profissional do Design (área de sua atuação e pesquisa após formado).

## 1.5 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A pesquisa relatada neste texto é, segundo Gil (2008), de natureza qualitativa visto que:

- a) Visa explorar um fenômeno em busca de explicações causais, de forma contextualizada (E não obter comprovação de uma hipótese, como em pesquisas quantitativas);
- b) Baseia-se em revisões de literatura que identificaram e organizaram saberes teóricos;
- c) Faz uso de testes de usabilidade com uma amostra reduzida (20 participantes).

A pesquisa qualitativa pode ser melhor compreendida em contraste com a pesquisa de natureza quantitativa:

A pesquisa quantitativa começa com uma ideia (geralmente articulada como uma hipótese), que, em seguida passa por medição e geração de dados e, por dedução, permite uma conclusão a ser tirada. A pesquisa qualitativa, ao contrário, começa com uma intenção para explorar uma determinada área, seguida de coleta de “dados” (observações e entrevistas), e gera ideias e hipóteses a partir desses dados, em grande parte através do que é conhecido como o raciocínio

indutivo<sup>7</sup>. (GREENHALGH; TAYLOR, 1997, p.741)

Ainda segundo Gil (2008), a presente pesquisa enquadra-se no tipo observacional, uma vez que testes de usabilidade são procedimentos de observação sistemática de uso de produtos em condições especiais de controle.

Quanto ao tipo de conhecimento produzido, trata-se de uma pesquisa exploratória, pois objetiva “desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores”. (GIL, 2008, p. 27).

### 1.5.1 Processo Indutivo de identificação dos componentes

Os componentes para a avaliação de interfaces tangíveis foram identificados a partir dos dados oriundos da revisão de literatura realizada, e dos oriundos dos testes de usabilidade empreendidos com o protótipo testado de simulador. Nesse contexto, protocolos desenvolvidos a partir dessa atividade podem ser entendidos como esquemas analíticos de natureza teórica, desenvolvidos a partir de fatos observados nos testes e conceitos oriundos da literatura. Tais protocolos podem ter a função de orientar futuros trabalhos de avaliação de interfaces tangíveis semelhantes.

Segundo Marconi e Lakatos (2009, cap. 5), teorias são esquemas conceituais que se iniciam pela observação sistemática de padrões de fenômenos, e ajudam a classificá-los, restringir e orientar análises dos mesmos. Para a identificação dos componentes de avaliação de interfaces tangíveis foi empreendido um processo indutivo de raciocínio (MARCONI; LAKATOS, 2009, cap. 4.3), pelo qual a partir da observação de uma série de ocorrências específicas de interações com a interface tangível do simulador de motos parte do estudo, foram inferidos padrões de funcionamento das interfaces tangíveis.

O processo indutivo pode ser resumido da seguinte forma: a) analisar um grupo de fenômenos específicos; b) codificar padrões de

---

<sup>7</sup> Do original: “*Quantitative research should begin with an idea (usually articulated as a hypothesis), which then, through measurement, generate data and, by deduction, allows a conclusion to be drawn. Qualitative research, in contrast, begins with a na intention to explore a particular area, collects “data” (observations and interviews), and generates ideas and hypothesis from these data largely through what is known as inductive reasoning*”.

relações entre eles; c) criar categorias de análise que ofereçam suporte para a análise de fenômeno de uma mesma categoria; d) generalizar as relações para fenômenos análogos da mesma categoria.

O processo indutivo de pesquisa tem suas limitações. Ainda que as premissas da indução forem corretas, o resultado é apenas “provavelmente correto” (MARCONI; LAKATOS, 2009, p. 92). Esse falibilismo decorrente do processo indutivo o tornaria um fundamento não-racional para justificar conhecimentos, segundo Einstein (2005, p.663): “uma breve história no desenvolvimento real [da Ciência] mostra que uma pequena parte do progresso do conhecimento científico surgiu dessa forma”. Os críticos do processo indutivo na Ciência alegam que ele tem serventia apenas para a criação de esquemas analíticos que devem ser testados empiricamente para refinamentos lógicos. Dessa forma, os componentes identificados nesta pesquisa devem ser considerados, enquanto componentes de um instrumento de avaliação de interfaces tangíveis, como formadores de protótipos que devem ser testados e validados experimentalmente.

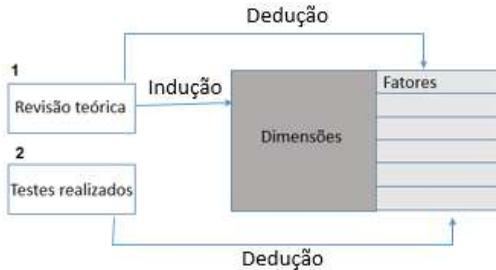
Os componentes do protocolo de avaliação de interfaces tangíveis foram identificados a partir de um conjunto de categorias nominais (oriundas de um processo de indução da revisão teórica, conforme apresentado na subseção 5.1).

Cada uma dessas categorias nominais, que foram chamadas de Dimensões, contém um conjunto de itens específicos estipulados fundamentalmente pelos testes realizados, conforme mostrado na subseção 5.2, e também alguns itens da revisão teórica). Esses itens específicos foram chamados de Fatores.

Os componentes foram identificados, portanto, por 2 elementos: as Dimensões e seus respectivos Fatores. As Dimensões oriundas da revisão teórica ajudaram a sistematizar os Fatores de avaliação oriundos da prática dos testes de usabilidade.

A Imagem 1 resume o processo de identificação de componentes do protocolo:

Imagem 1 - Resumo do processo de identificação de componentes



Fonte: O autor a partir da revisão teoria e dos testes.

A Imagem 1 apresenta como a revisão teórica (feita inicialmente, o que é indicado pelo número 1), consiste em um processo de raciocínio indutivo que estabeleceu as Dimensões; e como tanto a partir da revisão teórica quanto dos testes realizados (número 2) foi efetuado um processo de raciocínio dedutivo para o estabelecimento de Fatores.

## 1.6 ADERÊNCIA AO PROGRAMA E À LINHA DE PESQUISA

A presente pesquisa possui aderência ao programa de Pós-graduação em Design da UFSC e à linha de pesquisa em Hipermídia na medida que trata do estudo de aspectos corporificados da cognição humana para produção de conhecimento em Design de Interação (Área do Design que tem por objeto as interfaces entre pessoas e tecnologias).

As interfaces tangíveis, objeto da presente pesquisa, trazem novas possibilidades de atuação para os designers ao mesmo tempo que novos desafios teóricos e metodológicos para a comunidade de pesquisadores de áreas relacionadas ao Design Gráfico, à Hipermídia, Web Design e Design de Produtos.

## 1.7 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

A presente pesquisa tem por escopo a identificação de componentes de um protocolo de avaliação de interfaces tangíveis partindo do conhecimento estruturado no campo de Design de Interação e da Cognição Corporificada. Busca-se filtrar, organizar e direcionar esse conhecimento ao campo das interações tangíveis.

Os componentes identificados têm por foco interações que se baseiam no uso de objetos físicos para a interação com realidades

virtuais. Tais componentes de protocolo foram identificados a partir de testes de usabilidade de apenas um produto, que possui uma determinada forma de interface tangível: a de interações ambientais por meio de objetos físicos integrados com propriedades digitais. Por conta de tal limitação, não consta como metas da mesma: chegar a um modelo definitivo de avaliação de todos os tipos de interfaces tangíveis; tampouco analisar, classificar e descrever todos os tipos de interfaces tangíveis existentes e/ou possíveis de serem inventadas.

## 1.8 APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O presente documento está estruturado em seis partes. A seção 1, Introdução, apresenta o contexto em que foi realizada a pesquisa envolvendo o simulador de direção. Nessa parte é destacada a problemática, justificativa e objetivos da pesquisa, e como foi realizado o processo de identificação de componentes para um protocolo de avaliação de interfaces tangíveis.

A seção 2, Interfaces Tangíveis, expõe a definição, origem, características e tipologias das interfaces tangíveis. Destaca-se a análise do simulador de direção enquanto interface tangível.

A seção 3, Fundamentos Cognitivos do Design de Interação, expõe os principais conceitos derivados da Cognição Corporificada que embasam a pesquisa em Design de Interações, com ênfase em interfaces tangíveis.

A seção 4, Procedimentos Metodológicos, relata como foram realizados os testes o simulador de motocicleta que fundamentaram a identificação de fatores específicos para um protocolo de avaliação de interfaces tangíveis.

A seção 5, Resultados e Discussão, apresenta: a) os dados extraídos e tratados dos testes de usabilidade do simulador; b) os componentes de protocolo de avaliação identificados a partir de tais informações; c) Questões teóricas e metodológicas que surgiram a partir dos achados práticos decorrentes dos procedimentos de pesquisa empregados.

A seção 6, Considerações Finais, apresenta pontos variados sobre a pesquisa realizada, além de análises de sua significância para o campo do Design de Interação, além de sugestões para pesquisas futuras.

A essas seis seções seguem-se as Referências utilizadas na pesquisa; e por fim, uma seção para os Apêndices e Anexos.



## 2 INTERFACES TANGÍVEIS

Nesta seção são apresentados os fundamentos teóricos da presente pesquisa relacionados a interfaces. Os mesmos estão divididos em cinco subseções: Design de Interação (onde se apresenta o campo de pesquisa); O advento das interfaces tangíveis (onde é exposta a história e definição do objeto); Principais características das interfaces tangíveis (onde se detalha atributos do objeto de pesquisa); Usabilidade de Interfaces Tangíveis (onde se destaca os atributos relacionados a usabilidade) e Revisões Sistemáticas sobre Interfaces Tangíveis (onde se apresenta um panorama da atual produção acadêmica sobre esse objeto de pesquisa).

### 2.1 DESIGN DE INTERAÇÃO

Design é entendido no presente trabalho como a disciplina que se ocupa de projetar produtos, serviços, experiências, etc., num contexto industrial de produção (BONSIEPE, 1997). O Design de Interação, ou Interaction Design (abreviado como “IxD”), é o ramo do Design que objetiva projetar interação entre usuários e artefatos. O Design de Interação trata-se do “Design de produtos interativos que fornecem suporte às atividades das pessoas, seja no lar ou no trabalho” (PREECE; SHARP; ROGERS, 2013, p. 28). As autoras prosseguem relacionando ainda o Design de Interação ao projeto de espaços e artefatos que favoreçam a comunicação humana, o que torna necessário que o designer entenda da cognição social dos usuários e atue de forma interdisciplinar.

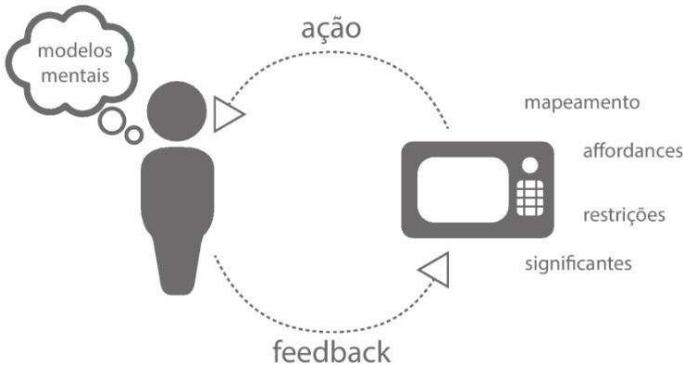
O uso mais comum do Design de Interação está no projeto de interfaces gráficas em produtos tais como computadores, tablets e smartphones, mas tal aplicação não esgota todas as possibilidades desse ramo do Design. Uma interface, no contexto do Design de Interação, diz respeito a uma camada intermediária entre usuário e sistema, que permite a comunicação entre ambos (BONSIEPE, 1997). Assim, uma interface tem por funções emitir informações para o usuário a respeito do funcionamento do sistema interativo; e receber comandos do usuário, visando alterar tal funcionamento (PREECE; SHARP; ROGERS, 2013). Como exemplos de interface: o painel de um fogão; o conjunto formado pela tela, teclado e mouse de um computador, e os estímulos audiovisuais emitidos por um software; etc.

Por volta dos anos 1970 o projeto de interação entre máquinas e pessoas era ainda uma disciplina parte da Computação, chamada Interação Humano-Computador<sup>8</sup>, ou HCI. No final dos anos 1970, contudo, tornou-se necessário “desenvolver computadores que pudessem ser acessíveis e utilizáveis para outras pessoas além de engenheiros” (PREECE; SHARP; ROGERS, 2013, p. 30).

O marco histórico para o surgimento do Design de Interação se deu apenas em 1992, com um projeto de Bill Moggridge. O pesquisador desenvolveu o primeiro computador portátil, o Grid Compass, projeto que levou Moggridge a concluir que não era apenas o hardware que deveria ser projetado, mas também a interface do software apresentada graficamente na tela do computador. Com essa conclusão, aliada à necessidade percebida de dar mais atenção para o usuário no Design, Moggridge cunha o termo “Design de Interação”, dando origem a uma disciplina inteiramente voltada para interfaces gráficas de softwares.

Donald Norman, influente pesquisador na área do Design de Interação, propôs diversos conceitos para tal disciplina. Dentre esses, Norman oferece um modelo geral para descrever a interação entre um usuário e um artefato. A Imagem 2 apresenta o modelo de Norman:

Imagem 2 - O modelo de interação de Norman



Fonte: Adaptado de Norman (2008) pelo autor.

<sup>8</sup> Do original: *Human-Computer Interaction*. Trata-se de uma disciplina criada nos anos 1980 por engenheiros e cientistas da computação, que enfatiza aspectos ergonômicos da relação entre usuário e sistema (PREECE; SHARP; ROGERS, 2013).

Na Imagem 2 vê-se como a ação do usuário surge de uma relação entre “modelos mentais” deste (padrões de regras aprendidos que determinam como o usuário deve agir, instaurados por sua experiência prévia), e os atributos do artefato, que podem ser resumidos em quatro categorias:

- a) mapping, ou “mapeamento”, é a forma como o artefato explica seu funcionamento a partir de sua própria estrutura, como um índice de livro;
- b) constraints, isto é, “restrições”: propriedades físicas do produto que impedem ou tornam menos prováveis determinadas ações do usuário;
- c) affordances, neologismo que significa “disponibilizadores”, são estímulos físico-motores que incentivam determinadas ações do usuário;
- d) signifiers, ou “significantes”: estímulos gráficos com papel instrucional.

Uma vez que o usuário age, as consequências de sua ação geram, ou devem gerar, algum feedback do artefato para que seja sinalizada a eficácia, ou falta de, na tarefa. O Design de Interação lida com interações complexas, envolvendo artefatos digitais como sites, aplicativos, programas de computador, painéis de controle de veículos e maquinários, etc. O modelo de Norman é aplicado para interfaces de vários tipos, incluindo interações com utensílios físicos (como veículos, eletrodomésticos, mobiliário, etc.), e também interfaces gráficas.

## 2.2 O ADVENTO DAS INTERFACES TANGÍVEIS

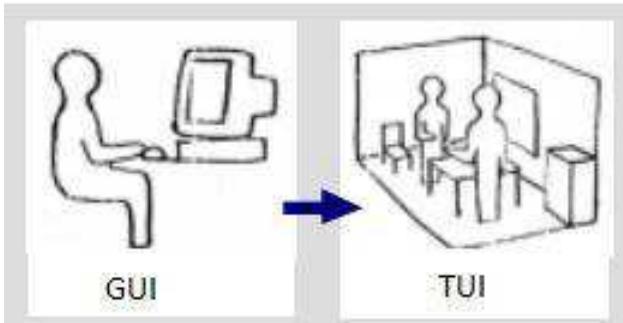
O nome “Tangible User Interface” foi a primeira nomenclatura do novo paradigma de interface, inspirado no célebre artigo de Ishii e Ullmer (1997). O termo “tangível” foi usado para contrastar com o aspecto intangível das interfaces gráficas, uma vez que tal tipo de interface não é diretamente tocada pelo usuário, constitui-se apenas em estímulos audiovisuais oriundos de um computador; enquanto que as Interfaces Tangíveis são feitas de objetos que podem ser apreendidos diretamente, por meio do toque. Outros nomes se sucederam: interfaces naturais, interações físicas, interfaces apreensíveis, interfaces misturadas (entre real e virtual), etc.

Hiroshi Ishii é o pesquisador-chefe da área de Mídias e Tecnologias do MIT, sendo hoje o responsável pelo Tangible Media Group, que tem com propósito “Explorar as visões de Bits Tangíveis e Átomos Radicais para integrar o mundo dualista de bits e átomos, dando

uma forma física dinâmica para informação digital e computação”<sup>9</sup> (TANGIBLE MEDIA GROUP, 2014).

Em seu artigo de 1997, Ishii e Ullmer apresentam as interfaces tangíveis em contraposição às GUI em termos de que as primeiras fazem do ambiente físico a própria interface, tal qual expresso na Imagem 3:

Imagem 3 - Diferenças entre interfaces gráficas (GUI) e tangíveis (TUI)



Fonte: Ishii e Ullmer (1997, p. 60).

Na Imagem 3 pode-se observar a intenção de Ishii em explicitar como nas interfaces tangíveis o ambiente como um todo se torna parte da interação, que pode envolver mais de uma pessoa ao mesmo tempo. Enquanto nas interfaces gráficas o usuário está numa postura corporal fixa e tem movimentos reduzidos, nas interfaces tangíveis o usuário, ou o conjunto deles, vê-se em movimento, lidando com um espaço que se torna ele mesmo uma interface.

O autor aponta ainda que os precursores tecnológicos das interfaces tangíveis foram a Computação Ubíqua e a Realidade Aumentada. Posto isso, fica claro que mais do que apenas colocar computadores com interfaces gráficas por toda parte, as interfaces gráficas permitem “integração de expansões computacionais com o ambiente físico”<sup>10</sup>. Para Ishii e Ullmer (1997), as interfaces gráficas tratam-se de interações com objetos físicos apreensíveis que possuem propriedades digitais, e não apenas visualizar projeções e telas. Ishii ainda aponta três metas das interfaces gráficas:

<sup>9</sup> No original: “*explore the Tangible Bits & Radical Atoms visions to seamlessly couple the dual world of bits and atoms by giving dynamic physical form to digital information and computation*”

<sup>10</sup> Do original: “*integration of computational augmentations into the physical environment*”.

- 1) Superfícies Interativas: Transformação de cada superfície dentro de espaços arquitetônicos (por exemplo, paredes, mesas, portas, janelas, etc.), em uma interface ativa entre o mundo físico e o virtual;
- 2) Acoplamento de Bits e Átomos: Integração de objetos apreensíveis do dia a dia (por exemplo: cartas, livros, modelos), com informação digital que pertença a eles;
- 3) Mídia Ambiental: Uso da mídia ambiental, tal como som, luz, fluxo de ar e água, como fundo para interfaces com o Ciberespaço na periferia da percepção humana.<sup>11</sup> (ISHII; ULLMER, 1997, p.2)

Ao final do artigo é comentado como o ábaco, máquina antiga de calcular, oferece uma metáfora para o futuro da interface entre pessoas e máquinas: “Nós fortemente acreditamos que o ábaco nos sugere uma direção para a próxima geração de HCI<sup>12</sup>” (ISHII; ULLMER, 1997, p.8). O soroban, ábaco japonês ao qual os autores se referem, é o modelo que os designers de interação devem estudar, nas palavras do autor, para o projeto de Interfaces Tangíveis.

Os ábacos apresentam uma estrutura física que leva o usuário a usá-lo de uma forma específica tal que modela a forma como se dá sua experiência cognitiva ao realizar operações aritméticas:

O ábaco é especialmente notável por representar tanto a informação e o processo de cálculo em forma fisicamente encarnado, não fazendo nenhuma distinção entre os aspectos duais de representação e controle <sup>13</sup>. (ULLMER, 2002, p.32).

---

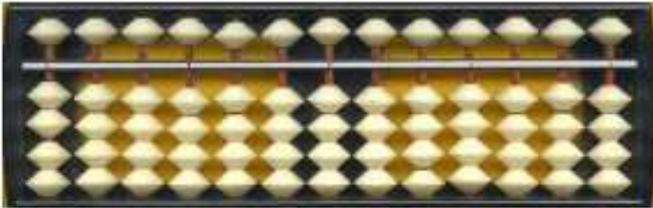
<sup>11</sup> Do original: “1) *Interactive Surfaces: Transformation of each surface within architectural space (e.g., walls, desktops, ceilings, doors, windows) into an active interface between the physical and virtual worlds;* 2) *Coupling of Bits and Atoms: Seamless coupling of everyday graspable objects (e.g., cards, books, models) with the digital information that pertains to them;* and 3) *Ambient Media: Use of ambient media such as sound, light, airflow, and water movement for background interfaces with cyberspace at the periphery of human perception*”.

<sup>12</sup> Do original: “*We strongly believe this abacus is suggesting to us a direction for the next generation of HCI*”.

<sup>13</sup> Do original: “*the abacus is especially notable for representing both information and the process of calculation in physically embodied form, making no distinction between the dual aspects of representation and control*”

Como instrumento tangível de cálculo, também ativa regiões cerebrais mais ligadas à imaginação e ao movimento corporal, além daquelas ligadas ao raciocínio numérico e verbal (SOUZA, 2004). A Imagem 4 apresenta um soroban em uso:

Imagem 4 - Soroban



Fonte: Ishii e Ullmer (1997, p. 12).

Assim como as interfaces tangíveis, o soroban implica em uma interação física que afeta o intelecto, a imaginação e a corporalidade do usuário. Como modelo para esse tipo de interface o soroban leva o designer a pensá-la como um conjunto de componentes físicos integrados a operações lógicas integradas que, no caso das interfaces tangíveis, se dão através de um suporte digital. A metáfora do soroban, contudo, possui limitações.

Segundo Hummels e van Dijk (2015), o soroban designa um tipo de interação solitária, focada em intelecto, que limita o potencial das interações tangíveis ambientais, que podem envolver diversos usuários em atividades sociais.

### 2.2.1 Evolução histórica das interfaces

Por volta dos anos 1960 os computadores eram de uso exclusivo de engenheiros e cientistas, e seu manuseio se dava apenas por meio de programação de linhas de código (PREECE; SHARP; ROGERS, 2013). Nesse período histórico não havia uma preocupação, ou possibilidade técnica, de gerar interfaces entre usuário e sistema que fossem de melhor usabilidade.

Com inovações tecnológicas ocorridas nos anos 1980 surgem as interfaces gráficas. Essas permitiram a manipulação de dados através de comandos mais simples do que a programação, tais como clicar em ícones, arrastar objetos virtuais, abrir “janelas”, etc. O uso dos computadores passou a ser acessível a um público maior. Essa mudança

tecnológica, por sua vez, demandou a criação de um novo ramo do Design dedicado a facilitar o uso dos computadores, uma vez que seriam objeto de consumo do público em geral, e não mais apenas de cientistas e engenheiros. Tal ramo foi chamado Design de Interfaces ou, mais comumente, Design de Interação (NORMAN, 2006).

Para compreender a evolução do Design de Interação é necessário, portanto, compreender as condições tecnológicas que viabilizaram as interfaces enquanto objetos de Design. Segundo Dourish (2001), a interação entre pessoas e máquinas digitais passou por um desenvolvimento histórico em cinco fases:

- a) Elétrica - Os primeiros computadores eram feitos de circuitos elétricos não-programáveis e a interação se dava apenas com a modelagem desses circuitos. Apenas engenheiros projetavam interfaces, isto é, circuitos elétricos;
- b) Simbólica - Códigos surgem como forma de interação, permitindo programação mais complexa que as dos circuitos elétricos;
- c) Textual - A interface torna-se um conjunto de textos na tela, bem como os comandos dos usuários também se davam por emissão de textos;
- d) Gráfica - O surgimento das interfaces gráficas, na forma de imagens 2D em telas, permitiu uma interação mais intuitiva a textual, incluindo dispositivos como o mouse;
- e) Interação Corporificada - Através de interfaces tangíveis e Computação Ubíqua<sup>14</sup>, apresentada pelo autor como a atual fase de desenvolvimento da interação entre pessoas e computadores.

Nos anos 1980 e 1990, as interfaces de computadores eram predominantemente de natureza gráfica, ou audiovisual, sendo marcadas pelo uso de ícones, menus, janelas e mouse (CYBIS, 2007). Esse conjunto de características recebeu o nome de paradigma WIMP de interface (JETTER et al, 2013), sendo WIMP a sigla de Windows, Icons, Menus and Pointers (janelas, ícones, menus e ponteiros de mouse). Tal padrão de interface começou com a Xerox PARC no início

---

<sup>14</sup> De acordo com Paz (2012), a computação ubíqua se inicia com Mark Weiser, na divisão de pesquisa da Xerox PARC, no final dos anos 1980. O conceito caracteriza-se pelo uso de dispositivos de computação distribuídos no ambiente físico, e também enquanto produtos móveis portados por usuários. O autor diz ainda que a principal característica da computação ubíqua nos dias de hoje é a sensibilidade ao contexto. Isto é, os dispositivos registram as ações do usuário e as processam diferencialmente, a partir da situação em que foram emitidas.

dos anos 1990 (PREECE; SHARP; ROGERS, 2013), e foi baseado na metáfora de uma mesa de trabalho em um escritório: pastas e documentos sobre uma mesa, uma lixeira no canto, etc.

Devido a popularização do paradigma WIMP de interface gráfica, com seu uso pelo sistema operacional Windows da Microsoft, hoje esse paradigma se tornou dominante. O uso do paradigma WIMP para interfaces hoje é generalizado, seja em telas de computador ou dispositivos móveis, e mesmo em toda espécie de interação digital audiovisual.

A Imagem 5 apresenta um exemplo de ambiente digital de computador pessoal cuja interface gráfica é do tipo WIMP:

Imagem 5 - Exemplo de interface WIMP



Fonte: Cardoso (2014, p. 56).

Na Imagem 5 vê-se a interface gráfica de um aplicativo móvel. Destaca-se nesse exemplo o uso de ícones, como o do canto superior direito e do canto superior esquerdo. O Design de Interação se desenvolveu, majoritariamente, para solucionar problemas de usabilidade das interfaces gráficas de padrão WIMP.

A partir do surgimento de outras formas de interface que transcendem esse paradigma, novas questões foram formuladas. Novas tecnologias, no final da década de 1990 em diante, proporcionaram

paradigmas de interação como a Realidade Aumentada<sup>15</sup> e a Realidade Virtual<sup>16</sup>. Tais paradigmas tornaram possíveis novas formas de interfaces que exploram mais que apenas informação audiovisual em telas e mais comandos do que aqueles captáveis pelo mouse e teclado, fazendo uso de dados sensório-motores dos usuários como gestos, movimentos, manipulação de objetos reais, etc. A Imagem 6 apresenta uma aplicação de Realidade Virtual:

Imagem 6 - Usuário em imersão em uma Realidade Virtual



Fonte: Braga (2012, p. 70).

Na Imagem 6 pode-se observar um instrumento para imersão em realidade virtual. A parte que se assemelha a óculos projeta estímulos visuais nos olhos do usuário, enquanto a parte que se assemelha a fones de ouvido emite estímulos sonoros. O objetivo é proporcionar um conjunto de sensações que promovam no usuário uma experiência de imersão na realidade virtual, tirando sua atenção de estímulos do ambiente físico ao seu redor.

A Imagem 7 apresenta uma aplicação de Realidade Aumentada:

---

<sup>15</sup> A Realidade Aumentada envolve a extensões virtuais em ambiente físicos, através de projeções e outros recursos tecnológicos. Tem esse nome porque o ambiente real, onde está o usuário, se vê “aumentado” com eventos e propriedades virtuais, que são inseridos e apresentados ao usuário através de dispositivos tecnológicos que o tornam apto para visualizar e manipular tanto objetos reais quanto virtuais (KIRNER; SISCOOTTO, 2007).

<sup>16</sup> Realidade virtual é um termo inventado por Jaron Lanier, Cientista da Computação, na década de 1980. Consiste em fazer uso de tecnologia digital para promover uma imersão do usuário em um ambiente computacional 3D onde ele interage com objetos virtuais e tem uma forte sensação de presença tridimensional (RODRIGUES; PORTO, 2013).

Imagem 7 - Realidade Aumentada



Fonte: Tori (2010, p. 7).

Pode-se observar na Imagem 7 como o objeto real nas mãos do usuário, um cartão com a letra “A”, é aumentado. Isto é, ganha propriedades digitais (a projeção de um sólido virtual em três dimensões). O usuário tem a experiência de perceber seu ambiente real aumentado pela inserção de estímulos virtuais.

A Realidade Aumentada traz outros aspectos para o Design de Interação, tais como a questão da espacialidade do ambiente real e os movimentos corporais do usuário integrados nesse ambiente. Segundo Tori (2010, p. 3), “a realidade aumentada se diferencia da realidade virtual por não ter a imersão como principal paradigma”. Enquanto na Realidade Virtual o usuário tem a ilusão sensorial de estar imerso em um ambiente distinto daquele em que está fisicamente presente, na Realidade Aumentada o usuário percebe seu ambiente físico com o acréscimo de estímulos digitais, formando uma mistura de ambos. A Imagem 8 detalha as diferenças entre Realidade Aumentada e Virtual.

Imagem 8 - Realidade Aumentada e Virtual



Fonte: Tori (2010, p. 9).

O autor destaca que a Realidade Aumentada está mais próxima do ambiente real do usuário, sendo uma forma de realidade misturada

(entre real e virtual). Tanto a Realidade Aumentada quanto a Realidade Virtual oferecem desafios para o Design de Interação, uma vez que extrapolam os modelos tradicionais de interfaces gráficas do tipo WIMP. Com essas modalidades de interação tornando-se mais acessíveis ao grande público, devido a inovações tecnológicas, entra em cena o reconhecimento de movimentos e o uso de objetos e espaços físicos como interfaces. A pesquisa acadêmica na área tem como marco histórico, segundo Ullmer (2002), a publicação do artigo “Tangible Bits”, de Hiroshi Ishii, em 1997. Segundo Ullmer (2002, p. 5):

Bits tangíveis permitem aos usuários 'apreender e manipular' bits no centro da atenção dos usuários, ao acoplar esses bits com objetos físicos do dia a dia e superfícies arquitetônicas<sup>17</sup>.

Portanto, na origem e definição de interfaces tangíveis encontra-se a noção de tornar interações digitais apreensíveis cinesteticamente, o que pressupõe lidar com comportamentos sensoriais e motores dos usuários distintos daqueles explorados pelas interfaces gráficas (que exploram apenas a visão e movimentos sutis dos dedos, como digitar, arrastar, clicar, etc.).

### 2.3 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS INTERFACES TANGÍVEIS

Interfaces tangíveis se caracterizam pelo uso de um objeto físico, que apresenta propriedades digitais, para promover a interação com uma realidade virtual ou aumentada (ISHII; ULLMER, 1997). Dessa forma, a principal característica estabelecida de tal tipo de interface, por Hiroshi Ishii consiste na interação entre objetos (e/ou eventos) físicos e uma realidade virtual.

Já Hummels e van Dijk (2015) enfatizam o aspecto ambiental e social das interfaces tangíveis. É o exemplo de Shaer e Hornecker (2010) que, numa tentativa de descrever o funcionamento das interfaces tangíveis, apontam as 5 principais características: ressignificação do espaço; acesso e manipulação concomitantes; uso de dispositivos específicos; consciência espacial dos dispositivos e reconfigurabilidade do espaço. Tais pesquisadores enfatizam como as interfaces tangíveis

---

<sup>17</sup> No original: “*Tangible Bits allows users to grasp" & manipulate"bits in the center of users' attention by coupling the bits with everyday physical objects and architectural surfaces*”

alteram a percepção do usuário em termos do uso corporal de objetos em um dado espaço físico.

Enquanto Ishii destaca a manipulação de objetos por um indivíduo, o modelo explicativo de Shaer e Hornecker (2010) destaca o uso do espaço, que passa a conter novos significados através da interação entre dados digitais e entes físicos. As autoras pontuam ainda que a interação tangível se dá em um ambiente físico onde um conjunto de objetos reais são conectados a um conjunto de objetos virtuais presentes em um ambiente digital. Shaer e Hornecker (2010), especificam a questão, descrevendo um processo geral de como se dá uma interação física do tipo interfaces tangíveis:

Objetos tangíveis são acoplados via funcionalidades computadorizadas a dados digitais (acoplamento computacional); os objetos tangíveis representam os meios de controle interativo. Mover e manipular objetos é a forma dominante de controle; os objetos tangíveis são perceptivelmente acoplados a representações produzidas digitalmente (por exemplo, áudios e visuais) e o estado dos objetos tangíveis incorpora aspectos fundamentais do estado de todo o sistema (significância representacional). O sistema é, portanto, pelo menos parcialmente legível se a energia é cortada<sup>18</sup> (HORNECKER, 2010, p. 48).

Em termos estruturais, as autoras defendem ainda que as interfaces tangíveis são formadas por componentes físicos organizados em um ambiente real que, por sua vez, está integrado a um ambiente virtual. Shaer, Leland e Calvillo-Gamez (2004), propõem o TAC Paradigm, pelo qual um sistema interfaces tangíveis possui quatro tipos de componentes estruturais, conforme descrito no Quadro 1:

---

<sup>18</sup> Do original: “*Tangible objects are coupled via computerized functionality with digital data (computational coupling); the tangible objects represent the means of interactive control. Moving and manipulating objects is the dominant form of control; the tangible objects are perceptually coupled with digitally produced representations (e.g., audio and visuals); and the state of the tangible objects embodies core aspects of the entire system’s state (representational significance). (The system is thus at least partially legible if power is cut)*”.

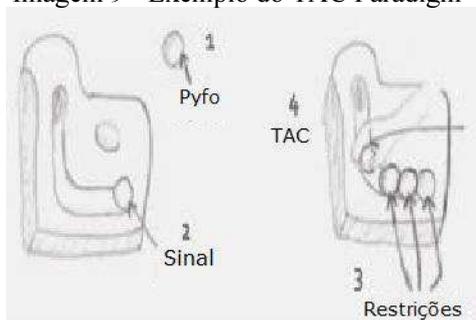
Quadro 1 - O paradigma TAC

Item	Descrição
Pyfo	Contração da expressão “Physical Icon”. Do inglês, ícones físicos. Isto é, um objeto físico que toma parte da interação.
Token	Do inglês, “sinal”. Trata-se de um pyfo com propriedades digitais.
Constraint	Do inglês, “restrição”. Trata-se de um pyfo que limita comportamentos do Token ao qual está associado.
Variable	Do inglês, “Variáveis”. Trata-se de informações digitais que se acoplam a pyfos.
TAC (Token and Constraint)	Conjuntos formados por tokens e constraints.

Fonte: Adaptado de Shaer, Leland e Calvillo-Gamez (2004).

A Imagem 9 apresenta um modelo de secretária eletrônica com interface tangível, desenvolvido por Durrel Bishop, em 1995 (SHAER; LELAND; CALVILLO-GAMEZ, 2004). A forma como as mensagens gravadas no aparelho são acionadas através do posicionamento de esferas em uma fileira lustra as quatro categorias de componentes apresentados na Imagem 9:

Imagem 9 - Exemplo do TAC Paradigm



Fonte: Shaer, Leland e Calvillo-Gamez (2004, p. 23).

Assim, conforme a Imagem 9, o item 1 é um Pyfo pois trata-se de um objeto que não interage digitalmente. No item 2 observa-se o mesmo objeto agora interagindo com o sistema, portanto, se tornando um Token (ou “sinal”). No item 3 nota-se diversos objetos formando uma fila que restringe o espaço para novos objetos, limitando assim as ações possíveis, funcionando, portanto, como uma restrição. Por fim, uma relação TAC do sistema determina regras sobre a interação de Tokens e

Constraint (ou “restrições”). No caso, é uma restrição o fato de que apenas uma esfera pode ser acoplada por vez, formando um alinhamento simples.

O paradigma TAC foi a primeira tentativa de descrever analiticamente as interfaces tangíveis a partir de seus componentes estruturais. O primeiro modelo para classificação das interfaces tangíveis é de pioneiro nos estudos desse campo, Ullmer (2002), que propôs uma classificação das interfaces tangíveis em três tipos: superfícies interativas, como mesas de toque e paredes interativas; montagens construídas, tais como conjuntos integrados de objetos apreensíveis com propriedades virtuais; e conjuntos formados por tokens e constraints, como utensílios, artefatos.

A tipologia de Ullmer (2002) enfatiza os componentes físicos utilizados no desenvolvimento e o aspecto estrutural do sistema montado. Tais componentes físicos, por sua vez, interagem com componentes virtuais. Sobre a relação entre componentes físicos e virtuais, Wensveen, Djadiningrat e Ovebeeke (2004), definem seis aspectos fundamentais, oriundos do acoplamento das ações do usuário e reações do sistema, conforme o Quadro 2:

Quadro 2 - Relações entre componentes físicos e virtuais.

<b>Relação</b>	<b>Descrição</b>
Tempo	Contiguidade entre ação do usuário e reação do sistema.
Localização	Correspondência espacial entre ação do usuário e reações do Sistema.
Direção	Correspondência de direção.
Dinâmica	Posição, velocidade, aceleração, força.
Modalidade	O sistema oferece reações na mesma modalidade sensorial das ações do usuário.
Expressão	Quando a reação do sistema reflete expressões emocionais da ação do usuário.

Fonte: adaptado de Wensveen, Djadiningrat e Ovebeeke (2004).

As relações propostas por Wensveen, Djadiningrat e Ovebeeke (2004) são explicadas a partir da Imagem 10:

Imagem 10 - Mesa de toque e componentes



Fonte: Ishii e Ullmer(1997, p. 7).

A Imagem 10 ilustra uma interação entre blocos físicos e eventos virtuais numa superfície interativa. Fazendo uso dos seis fatores de análise de Wensveen, Djadiningrat e Ovebeeke (2004), temos que as interações são contíguas (tempo), ocorrendo na mesma posição em que o usuário age (localização), respeitando a forma como ele move o objeto (direção), bem como dinâmica (velocidade e força). As reações virtuais da mesa são de uma natureza audiovisual, diferente das ações físicas do usuário sobre os objetos (modalidade). A interação não responde de forma emocional ao usuário (expressão), a não ser talvez ao uso de força ou velocidade na forma de manipular os objetos.

Cerca de 18 anos após sua fundação, com o artigo de Ishii e Ullmer (1997), as interfaces tangíveis apresentam um campo de pesquisa ainda pouco sistematizado no Design de Interação, de acordo com Braga (2012). A produção na área de interfaces tangíveis é escassa, comparada com a de interface gráficas, e concentra-se em aplicações de inovações tecnológicas como a Realidade Aumentada.

Dentre os produtos que utilizam interfaces tangíveis cada vez mais presentes no dia a dia dos usuários, a partir da década de 2010, tem-se dispositivos wearables<sup>19</sup> como o Google Glass; ambientes imersivos; realidade aumentada para ensino; simuladores; videogames; etc. O advento das interfaces tangíveis trouxe novas questões de pesquisa, ainda pouco respondidas, para o Design de Interação de tais

---

<sup>19</sup> Tradução: “Vestíveis”. Diz respeito a todo artefato interativo que pode ser usado no corpo como uma roupa ou acessório. Os dispositivos vestíveis constituem parte importante da computação ubíqua, também chamada pervasividade, que consiste na presença de computadores em todo ambiente social, e não apenas em escritórios e mesas.

produtos, uma vez que designers estão habituados às interfaces do tipo WIMP. Há dúvidas sobre como projetar interfaces que levem em consideração o corpo do usuário como um todo: seu andar, se locomover pelo espaço, gestos e expressões corporais e mesmo faciais, etc. A forma como essas ações do usuário devem tomar parte de um projeto de interação ainda é objeto de muitas dúvidas de projeto.

### **2.3.1 Tipologias de Interfaces Tangíveis**

Neste tópico são apresentadas as principais tipologias de interfaces tangíveis desenvolvidas pelos autores mais citados na área. Objetiva-se com isso evidenciar pontos comuns e uma possível integração das diferentes visões sobre o fenômeno, a fim de uma compreensão mais aprofundada das Interfaces Tangíveis.

O Design de Interação objetiva estudar a relação entre interfaces entre pessoas. Seu trabalho começa, portanto, pela análise e compreensão do fenômeno da interface. Barbosa (2010) propõe uma série de itens para a análise das interfaces tangíveis visando uma interpretação desse tipo de interface a partir de seus principais atributos: como se dá a representação física de dados; capacidade proporcionada de sentir e mover objetos digitais com ações motoras; como se dão as representações virtuais dos objetos e eventos físicos; formas de uso do espaço físico; feedbacks proporcionados entre físico e virtual; instruções de uso; facilidade de compreensão; curva de aprendizagem do uso da interfaces tangíveis; nível de utilização do corpo na interação.

Os itens propostos por Barbosa (2010) são explorados também por outros autores. A seguir serão apresentados quatro itens de análise das interfaces tangíveis, levantados na revisão bibliográfica realizada. Tais itens de análise constituem-se em modelos para interpretar e compreender como se dá a interação tangível. São eles:

- a) Nível de incorporação do usuário;
- b) Nível de interatividade entre físico e virtual;
- c) Uso de metáforas;
- d) Nível de naturalidade da interação.

O primeiro item, ou nível de incorporação do usuário, é uma medida da distância entre usuário, dispositivos de entrada de dados (isto é, comandos do usuário), e dispositivos de saída (ações dos sistemas). Quanto maior a incorporação, menor a distinção entre os mecanismos de entrada de comandos do usuário e os de saída de reações do sistema. Em se tratando da apreensão e manipulação de objetos físicos durante o uso da interface, Falcão (2007), refere-se a quatro graus de incorporação do

sistema, conforme mostrado no Quadro 3:

Quadro 3 - Níveis de incorporação das interfaces tangíveis

<b>Nível</b>	<b>Definição</b>
Incorporação Distante (Distant)	A resposta do sistema digital aos estímulos do usuário ocorre longe, sendo em outra tela.
Incorporação Ambiental (Environmental)	A saída ocorre “ao redor” do usuário, tipicamente por meio de áudio, luz ou calor - há apenas uma relação tênue entre o objeto de entrada e a saída
Incorporação próxima (Nearby)	A saída ocorre “perto” do objeto de entrada. A saída está acoplada à entrada como no caso de uma caneta especial que altera uma tela de visualização “riscada” por ela.
Incorporação completa (Full)	O dispositivo de entrada é o dispositivo de saída. O estado do dispositivo está totalmente incorporado no próprio dispositivo.

Fonte: O autor baseado na revisão de literatura.

O nível de incorporação pode ser entendido como uma informação em escala de quanto o usuário está imerso em uma realidade virtual ou aumentada através de uma interface tangível. Assim, por exemplo, a manipulação remota de uma máquina através de gestos constitui-se em uma interface tangível de “incorporação distante”, enquanto a imersão de um usuário em um ambiente físico interativo, como uma caverna digital onde ele caminha enquanto manipula dados, apresenta-se como uma “incorporação completa”.

O segundo item de análise, ou nível de interatividade físico-virtual, mede o quanto o ambiente tangível dos objetos físicos afeta o ambiente intangível de estímulos virtuais. Hornecker (2010), desenvolveu um modelo de níveis de interação através do qual uma escala interatividade físico-virtual nas progressiva de interfaces tangíveis se dá em quatro níveis, conforme o Quadro 4:

Quadro 4 - Níveis de interatividade físico-virtual em interfaces tangíveis

Nível de Interatividade	Descrição
1. Manipulação de objetos físicos	O usuário emite comandos motores em itens reais que afetam algum aspecto da parte virtual ou digital da interação.
2. Interação com espaço	Consiste no uso do corpo como um todo para emitir comandos que afetam o espaço físico e a partir dos eventos virtuais.
3. Facilitação de uso de interfaces gráficas com movimentos corporais.	Ocorre quando a cinestesia afeta interfaces audiovisuais presentes em telas e superfícies de projeção.
4. Representação de objetos físicos no espaço digital	Em outras palavras, a virtualização de um objeto ou espaço, que passa a ser um item no cenário virtual, podendo ou não haver uma correspondência entre o item real e sua parte virtual.

Fonte: O autor baseado em Hornecker (2010).

Assim, por exemplo, um painel físico de controle que quando manuseado afeta os resultados de uma simulação pode ser visto como o nível mais elementar de interatividade. Já o nível mais sofisticado de interatividade físico-virtual se daria, por exemplo, em um cenário onde uma maquete física de uma cidade ganhasse um tráfego de veículos em uma simulação digital, de tal forma que mudanças na maquete física afetassem a circulação dos veículos virtuais.

O terceiro item de análise das interfaces tangíveis diz respeito ao uso de metáforas nas funções da interface. Bakker, Antle e Hoven (2012), por sua vez, enfatiza o uso de metáforas em interfaces tangíveis. Uma metáfora pode ser entendida “uma figura de linguagem que consiste na transferência de significação de uma palavra para outra por um efeito de comparação, analogia”, conforme Colusso (2014), o que geralmente se dá quando o segundo termo é mais abstrato, de mais difícil compreensão.

Segundo Bakker, Antle e Hoven (2012), há dois tipos fundamentais de metáforas relacionadas a interfaces tangíveis: a) de

nome (isto é, objetos físicos que representam objetos virtuais. Ex: uma caneta real tornando-se um pincel em uma realidade virtual) e b) de verbo (isto é, ações. Trata-se de uma ação física fazer a vez de uma ação virtual. Ex: levantar a mão faz uma caixa de texto subir). A partir dessas duas categorias de metáforas relacionando entes e eventos físicos e virtuais, Bakker, Antle e Hoven (2012) apontam quatro tipos de interfaces tangíveis, apresentados no Quadro 5:

Quadro 5 - Quatro tipos de interfaces tangíveis segundo o uso de metáforas

<b>Tipo</b>	<b>Exemplo</b>
Que usa metáfora de nome	Quando ente físico representam entes virtuais. Ex.: Blocos físicos representarem prédios.
Que usa metáfora de verbo	Quando eventos físicos correspondem a evento virtuais. Ex.: Bater palmas gerando um efeito sonoro em um ambiente virtual
Que usa metáfora de nome e de verbo	Quando tanto entes quanto evento físicos possuem correspondências virtuais, Ex.: Blocos se movendo em um tabuleiro físico e alterando a posição de peças em um ambiente virtual
Que não usa metáforas	Neste caso a interação ocorrem sem representações e correspondências de todo. Ex.: Uma peça de roupa interativa que capta sinais fisiológico, como a temperatura, do usuário para que estes interajam com um sistema de forma direta.

Fonte: O autor baseado em Bakker, Antle e Hoven (2012).

O quarto item de análise das interfaces tangíveis é o nível de naturalidade da interação. Esse critério diz respeito ao termo “Interfaces Naturais com o Usuário”<sup>20</sup>, que é usado para designar as formas de interfaces tangíveis onde os comandos são baseados em respostas motoras naturais do usuário, isto é, gestos comuns em seu cotidiano, o que torna desnecessário que ele aprenda novos códigos e comandos arbitrários. As interfaces tangíveis naturais podem ser definidas como “uma metodologia emergente em interação computacional que foca nas habilidades humanas tais como toque, visão, voz, movimento e funções cognitivas superiores como expressão, percepção e reconhecimento”<sup>21</sup>, segundo Liu (2011).

<sup>20</sup> Do original: “*Natural user interfaces*”.

<sup>21</sup> Do original: “*an emerging computer interaction methodology which focuses on human abilities such as touch, vision, voice, motion and higher cognitive functions such as expression, perception and recall*”.

As interfaces tangíveis que apresentam alto grau de naturalidade não demandam o aprendizado de comandos arbitrários para o uso da interface, e permitem “interagir com ferramentas virtuais de uma forma natural, através do toque, visão, voz, movimento, expressões, etc., tornando possível manipular conteúdo digital de forma intuitiva”, segundo Barva e Lopes (2013). A interação é natural não como antônimo de artificial, mas de arbitrário. Em outras palavras, o repertório de comportamentos de comunicação do usuário é aproveitado, sem a necessidade de aprendizagens. Por exemplo, uma interface tangível de alto nível de naturalidade reconhece o gesto de abanar a cabeça como sendo uma resposta negativa.

Em termos gerais, os quatro itens de análise das interfaces tangíveis podem ser sintetizados no seguinte Quadro 6:

Quadro 6 - Síntese das tipologias de interfaces tangíveis.

Tipologia	Itens
Nível de incorporação, de Falcão (2007).	Incorporação distante (distant); incorporação ambiental (environmental); incorporação próxima (nearby); incorporação completa (full).
Nível de naturalidade, de Liu (2011).	“Natural User Interfaces” e “non-natural user interfaces”.
Uso de metáforas, de Bakker, Antle e Hoven (2012)	Que usa metáfora de nome; que usa metáfora de verbo; que usa metáfora de nome e de verbo; que não usa nenhuma forma de metáfora.
Nível de interatividade real-virtual, de Hornecker (2010).	Manipulação de objetos físicos; interação com espaço; facilitação de uso de interfaces gráficas com movimentos corporais; representação de objetos físicos no espaço digital.

Fonte: O autor baseado na revisão de literatura.

A síntese dessas tipologias permite uma compreensão de como as Interfaces Tangíveis se caracterizam por algum nível de incorporação (FALCÃO, 2007) do usuário em um ambiente que mistura elementos reais e virtuais; onde esse usuário encontra-se apto a interagir através de movimentos e códigos mais ou menos naturais (LIU, 2011); uma vez que a interação se dá basicamente através de metáforas (BAKKER; ANTLE; HOVEN, 2012) com comportamentos de seu cotidiano; permitindo assim diferentes níveis de interatividade entre a dimensão física e a virtual (HORNECKER, 2010), como manipular objetos virtuais através de objetos físicos ou interagir com gestos e movimentos. De acordo com Hancock (2009) um simulador veicular consiste em qualquer dispositivo capaz de reproduzir as condições de uso de um

veículo em um cenário virtual, o que inclui uma interação ambiental do usuário com um artefato físico. Simuladores veiculares podem ser classificados como uma aplicação de interfaces tangíveis uma vez que envolvem o uso de objetos físicos apreensíveis para manipulação de cenários virtuais (ISHII; ULLMER, 1997). Simuladores prezam pela naturalidade de uso (LIU, 2011), uma vez que os comportamentos necessários para isso devem ser semelhantes ou mesmo idênticos aos usados no veículo que imitam. Enquanto interfaces tangíveis, simuladores podem permitir uma gama diversa de interatividade entre suas partes físicas e as virtuais (HORNECKER, 2010) e um uso diverso de metáforas (ver Quadro 5).

A efetividade de um simulador no que diz respeito a seus objetivos educacionais se dá quando a aprendizagem realizada por meio dele é transferível para situações da vida real. Tal transferência de aprendizagem tem por principal fator o realismo sensorio-motor da experiência no simulador (BALDWIN, 2006).

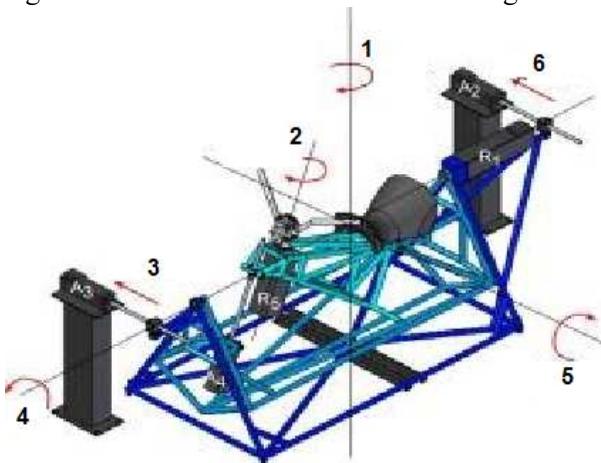
O realismo do simulador demanda o alinhamento entre dois fatores: os comandos motores emitidos pelo usuário (obtidos por componentes físicos como guidões, botões, pedais, etc.), e as consequências de tais comandos no ambiente virtual, em termos que geram feedback sensorial e motor ao usuário.

Simuladores veiculares são usados para treinamento de habilidades enactivas em usuários. Isto é, habilidades cognitivas que têm por requisito atividades motoras (PARAGUAI, 2008).

Assim sendo, a presença de movimento no simulador (fator conhecido tecnicamente como “cinestesia), apresenta-se como uma questão central nesses produtos (VIDOTTO, 2011). A maior parte da pesquisa voltada ao realismo e eficiência educacional de simuladores enfoca a questão sensorio-motora da cinestesia.

A Imagem 11 apresenta o conceito de “grau de liberdade”, que consiste em eixos de rotação no qual o simulador se move. Quanto mais graus de liberdade maior a gama de cinestesia permitida.

Imagem 11 - Simulador de motocicleta com 6 graus de liberdade



Fonte: Acervo do projeto.

Simuladores veiculares com cinestesia promovem um melhor aprendizado de habilidades enactivas quando comparados aos sem cinestesia (VIDOTTO, 2011). Entretanto, a presença da cinestesia eleva o custo do simulador em termos de criação e manutenção (VIEIRA et al, 2014). Por causa da questão da cinestesia, de acordo com (NEHAOUA et al, 2009), o desafio de projetar simuladores veiculares é o de promover o equilíbrio entre realismo, custo e demandas dos usuários (determinadas pelo seu nível de experiência com o veículo simulado). Em outras palavras, simuladores veiculares feitos para motoristas novatos não demandam o máximo de realismo, sendo mais baratos que simuladores veiculares feitos para refinar habilidades em motoristas experientes.

Para motoristas novatos um nível menor de realismo sensório-motor é requisitado, resultando em um simulador de mais baixo custo. Entretanto, a definição de um equilíbrio apropriado entre realismo, custo e eficiência instrucional para motoristas novatos consiste em um difícil tópico em termos de Design.

## 2.4 USABILIDADE DE INTERFACES TANGÍVEIS

A usabilidade é um tema central no Design de Interação, uma vez que ela trata da qualidade das interfaces. Como atributo de interfaces, a usabilidade pode ser definida como uma medida de fatores tais como

eficácia desta em resolver tarefas, eficiência de uso, capacidade de engajar o usuário, formas de tratamento de erros e facilidade da interface em ser aprendida (STONE; JARRETT; WOODROFFE, 2005). Assim, sistemas interativos com boa usabilidade: a) respondem de forma eficaz (isto é, completando tarefas); b) eficiente (nível de eficácia alto com baixo esforço por parte do usuário) e; c) satisfatória (gera atitudes positivas no usuário ao invés de desconforto); d) ajudam o usuário a realizar seus objetivos na interação.

Segundo a norma ISO/IEC 25010 (2011), a usabilidade pode ser definida como uma “medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso” (ISO/IEC 25010, 2011, p. 3). A norma destaca o papel do “contexto de uso”, definido como formado por “usuários, tarefas, equipamento (hardware, software e materiais), e o ambiente físico e social no qual um produto é usado”; e que a usabilidade trata de “sistemas de trabalho”, que são compostos por “usuários, equipamento, tarefas e o ambiente físico e social, com o propósito de alcançar objetivos específicos” (ISO/IEC 25010, 2011, p. 3). A usabilidade deve constar já na concepção dos sistemas, isto é, no planejamento dos produtos: “Antes do desenvolvimento, uma organização que busca adquirir um produto especificamente adaptado para suas necessidades pode usar a informação da ISO 9241-11” (1998, p. 6). A norma ISO 9241 fornece uma lista de fatores e critérios a serem levados em conta para o desenvolvimento de produtos com boa usabilidade, constitui-se em um protocolo de orientação e avaliação de interfaces. Existem ainda outros protocolos e outras formas de avaliar a usabilidade uma interface.

A usabilidade é um fator fundamental de qualquer produto que envolva uma interface entre pessoa e tecnologia. Produtos com baixa usabilidade implicam em um uso prejudicado, bem como em uma experiência insatisfatória para o usuário. Por conta disso, a usabilidade constitui-se em um tema central em todo o projeto tecnológico centrado nas necessidades humanas.

### **2.4.1 Avaliação de usabilidade**

O ato de avaliar implica em atribuir valores mediante modelos e instrumentos. Uma avaliação se dá a partir de medidas de comparação, descrição e classificação, demandando protocolos para a realização dessas operações (PASQUALI, 2004). Segundo Cybis (2007), interfaces são formadas por objetos, reais ou virtuais, que possuem atributos, e

emitem determinados comportamentos. Tais objetos se organizam de forma coerente em padrões, conhecidos como “Padrões de projetos”. A avaliação de interfaces, portanto, se dá a medida que os padrões de projeto e seus elementos constituintes (objetos, atributos, comportamentos, etc.), são descritos, classificados e têm seus valores de uso mensurados e/ou qualificados. Posto isso, serão destacadas aqui duas das principais formas de avaliar a usabilidade de uma interface: as inspeções, realizadas por especialistas; e os testes de usabilidade, que demandam a participação de usuários.

A primeira forma de avaliar usabilidade, a inspeção por especialistas, demanda um protocolo de avaliação e é feita por meio de um conjunto padronizado de itens de classificação que ajudam a entender um fenômeno. As inspeções se dão comumente com o uso de protocolos, na forma de checklists, sendo feita por um grupo seletivo de especialistas, isto é, pessoas reconhecidamente experientes no que tange interfaces como aquela sendo avaliada. Trata-se de um procedimento de baixo custo, comparado aos testes de usabilidade com usuários.

Como exemplo de protocolos de inspeção, destaca-se as 10 heurísticas de Nielsen (2001), desenvolvida para interfaces gráficas WIMP: 1. Visibilidade do status do sistema; 2. Correspondência entre o sistema e o mundo real; 3. Controle do usuário e liberdade; 4. Consistência e padrões; 5. Prevenção de erros; 6. Reconhecimento em vez de recordação; 7. Flexibilidade e eficiência de utilização; 8. Estética e design minimalista; 9. Ajuda os usuários a reconhecer, diagnosticar e resolver erros; 10. Ajuda e documentação.

A segunda forma de avaliar a usabilidade se dá a partir de testes de usabilidade, especialmente usados em momentos iniciais do desenvolvimento da interface, e em sua prototipação. Os procedimentos chamados de testes de usabilidade (DEVI; HEMACHANDRAN, 2012), consistem na avaliação sistemática de um produto através de técnicas de observação do uso do mesmo. Tais testes são realizados de tal forma que um usuário está envolvido interagindo com o produto e seus comportamentos estão sendo observados, de modo a registrar sinais de sucesso e satisfação em tarefas, tempo despendido para execução das mesmas, erros, eficiência e custo de aprendizagem (ALBERT; TULLIS, 2008).

Segundo Preece, Sharp e Rogers (2013), testes de usabilidade giram em torno de uma lista de tarefas relevantes para a avaliação do produto que devem ser executadas pelos testadores de tal forma que o desempenho nessas tarefas e a satisfação com a experiência decorrentes sejam avaliados. Os testadores executam as tarefas presentes na “task

list” e seus comportamentos de uso, tais como verbalizações, emoções, respostas motoras, etc., são observados e registrados para posterior análise. Dessa forma, os testes de usabilidade podem ser entendidos como procedimentos de observação sistemática na qual se cria conhecimento qualitativo sobre fatores de usabilidade de um produto (eficácia, eficiência, satisfação do usuário, etc.), sem excetuar um tratamento quantitativo para os dados (ALBERT; TULLIS, 2008).

#### **2.4.2 Avaliação de interfaces tangíveis**

Uma interface tangível pode ter seus elementos estruturais e padrões de comportamento avaliados a partir do modelo de interação de Norman (ver Imagem 2). Um exemplo: os usuários encontram-se ao redor de uma mesa, o que evoca modelos mentais sobre como se comportar (regras de trabalho, normas de conduta em reuniões ou estudos, etc.); ao verem cubos na superfície da mesa, um usuário emite a ação de segurar um dos cubos e tirá-lo da mesa (fez isso porque a forma do cubo, sua textura e cores são affordances para seu manuseio); a mesa emite uma imagem digital indicando todos os lugares possíveis onde o cubo pode ser colocado de volta, o que funciona como mapping para o usuário; alguns lugares já estão ocupados por outros cubos, o que constitui-se constraints; então uma seta indicando uma posição surge na mesa (signifiers). O usuário põe o cubo no local indicado e a mesa emite um feedback audiovisual de sucesso na realização da tarefa.

Como toda interface, as tangíveis também podem ter seu uso mensurado a partir de indicadores de eficácia, eficiência e satisfação do usuário (ISSO/IEC, 2011). Por exemplo, a interface tangível observada na Imagem 11 pode ter sua usabilidade avaliada a partir da eficácia do sistema em cumprir metas dos usuários, da eficiência das tarefas executadas por este, e mesmo da satisfação final do usuário com a interação.

Sobre o desafio em projetar interações tangíveis, Almeida (2010, p.54), comenta que "enquanto nas Graphical User Interfaces o controle se faz através dos dois paradigmas, físico e digital, nas Interfaces Tangíveis somente se necessita de interagir no físico." Sobre esse tema:

As Interfaces Tangíveis, diferentemente das gráficas, não trazem nenhuma distinção entre os dispositivos de entrada e os de saída de dados, uma vez que, os dispositivos de controle físico e de representação integram os mesmos elementos na maioria destas interfaces (PARAGUAI, 2008, p. 55). Por conta de tais dificuldades, o design de interfaces tangíveis se encontra pouco sistematizado, carente de

guidelines, protocolos para projetistas, segundo Wiethoff et al (2013, p.1):

No entanto, ao contrário do HCI tradicional, tem havido um esforço relativamente escasso em considerar como interfaces tangíveis podem ser projetados a partir do zero. Ou seja, há pouca orientação aos nuances do processo de projeto formal ou orientações específicas que os designers e engenheiros podem seguir quando enfrentam a tarefa de criar uma nova interface tangível.

Apesar de pesquisas recentes terem desenvolvido critérios para sua melhor compreensão, o material disponível sobre como projetar e avaliar interfaces tangíveis ainda é escasso. Dubois e Charfi (2013), na França, figuram entre os pesquisadores pioneiros em Design de Interação em tratar da avaliação de usabilidade em interfaces tangíveis. Os pesquisadores desenvolveram uma série de recomendações de usabilidade para ambientes com realidade aumentada. Baseados em uma revisão sistemática que contemplou 185 estudos sobre avaliação de interfaces tangíveis e gráficas, extraídos de três bases de dados (ACM, IEEE; SPRINGERLINK), os autores chegaram a uma lista de recomendações de usabilidade para interações tangíveis, classificada em itens. Tais recomendações possuem as seguintes categorias:

- a) Análise ergonômica dos componentes (dispositivos físicos e digitais);
- b) Representação (linguagem, ponto-de-vista, localização, dimensões, etc);
- c) Arranjo espacial de entidades físicas no ambiente;
- d) Interações entre entidade físicas e ambientes virtuais (onde destaca-se o uso de metáforas);
- e) Sincronização entre ações do usuário e reações do sistema;
- f) Escolha de sistema interativo (depende do domínio e atividades que serão executadas) e
- g) Tarefas cabíveis ao usuário.

Os autores defendem que essas 7 categorias de análise devem ser aplicadas aos “Sistemas Interativos Misturados”<sup>22</sup>, nome dado por esses autores a interações que misturam interfaces gráficas e tangíveis. Tais classes de recomendações começam com a ergonomia de componentes físicos e vão até as ações possíveis do usuário. A ênfase, contudo, está

---

<sup>22</sup> Do original: “*Mixed Interactive Systems*”

nas classes de recomendações que dizem respeito ao arranjo de itens físicos e virtuais, e as formas de interação e sincronização entre esses dois tipos de itens. Nota-se, contudo, que os autores dão destaque a um usuário solitário interagindo em um ambiente físico estático com uma realidade virtual.

Os autores ainda comentam como é necessário usar essas recomendações não apenas para avaliar, mas também para projetar as interfaces tangíveis, afetando assim três aspectos do processo de Design:

- a) Análise de Requisitos;
- b) Análise das Tarefas;
- c) Design de Interação.

Assim, os requisitos de uma interação tangível passam desde uma análise de seus componentes físicos até a enumeração de todas as tarefas e ações possíveis dos usuários; o que por sua vez tem implicações no design da interface. O design de interação é indissociável, segundo Dubois e Charfi (2013), da análise de requisitos do sistema e das tarefas do usuário, e esses três fatores devem responder a questões ergonômicas, de representação cognitiva, fatores arquitetônicos, tecnológica, etc.

Outro autor pioneiro na avaliação das interfaces tangíveis é o alemão Hans-Cristian Jetter. Assim como Dubois e Chafir ele trata da integração de interface tangíveis e interfaces gráficas, sendo que Jetter et al (2013) chama a mistura desses dois tipos de interfaces de “Interação misturada”<sup>23</sup>. Tal abordagem para a problemática das interfaces tangíveis enfatiza a criação de espaços interativos, e não apenas objetos. Também estipula que, ao projetar Blended Interactions, segundo Brade et al (2013):

Designers de interfaces humano-computador usam metáforas para transferir funções e propriedades estruturais de um conceito familiar para um novo e abstrato conceito em um sistema técnico (p.2).<sup>24</sup>

Ainda sobre o uso de metáforas para projetar interfaces de uso natural, Jacob et al (2008), pontuam que:

---

<sup>23</sup> Do original: “*Blended Interaction*”.

<sup>24</sup> Do original: “*Designers of human-computer interfaces use metaphors to transfer functions and structural properties of a familiar concept to a new, abstract concept in a technical system*”.

Nós acreditamos que todos estes novos estilos de interação tiram sua força ao se criarem a partir de conhecimento pré-existente vindo do dia a dia, do mundo não digital para uma extensão maior que antes. Eles empregam temas da realidade [...] Eles assim tentam fazer a interação computadorizada mais como a interação no mundo real e não-digital (p.22).<sup>25</sup>

O modelo de Jacob et al (2008) é chamado por Jetter de “interação baseada na realidade”<sup>26</sup> e encarado como um ponto de partida insuficiente. Para avançar a partir do RBI, Jetter et al (2013, p.3), propõe:

Considerar as teorias de cognição incorporada e linguística cognitiva. Seus conceitos de mistura conceitual explicam como criamos estruturas cognitivas emergentes de alto nível a partir de nível inferior experiências físicas e sociais, até mesmo a ponto de aprender a usar uma linguagem de programação simbólico complexo como uma interface de usuário<sup>27</sup>.

O modelo de Jetter et al (2013) apresenta uma proposta para o Design de Interação de Interfaces Tangíveis pautada na teoria da Cognição Corporificada<sup>28</sup>, tendo por intuito entender como a linguagem, o comportamento e a cognição se integram, afim de melhor projetar melhores ambientes interativos de caráter físico e social.

Projetar e avaliar interações tangíveis, ou misturadas, pressupõe compreender como a cognição humana opera de forma corporificada. Nesse sentido, Jetter oferece algumas respostas para a avaliação das interfaces tangíveis, levando em consideração que o usuário em uma interação tangível também age em um ambiente físico e possivelmente

---

<sup>25</sup> Do original: “*We believe that all of these new interaction styles draw strength by building on users’ pre-existing knowledge of the everyday, non-digital world to a much greater extent than before. They employ themes of reality [...]. They thereby attempt to make computer interaction more like interacting with the real, non-digital world.*”

<sup>26</sup> Do original: “*Reality-based interaction*”.

<sup>27</sup> Do original: “*consider theories from embodied cognition and cognitive linguistics. Their concepts of conceptual blending or blends explain how we create higher-level emergent cognitive structures from lower-level physical and social experiences, even to the extent of learning to use a complex symbolic programming language as a UI*”

<sup>28</sup> A Cognição Corporificada é tratada na seção 3.

interagindo com outros indivíduos. Torna-se necessário não levar em conta apenas o usuário e a interface num contexto geral de uso, como é comum na análise das interfaces gráficas.

Para avaliar interfaces tangíveis, segundo Jetter et al (2013), contextos específicos de uso, físicos e sociais, são fundamentais para a compreensão das interfaces tangíveis. Jetter delimitou quatro classes de critérios para avaliação do contexto de uso das interfaces tangíveis, que chamou de “Quatro domínios da Interação Misturada”<sup>29</sup>, que são expressos no Quadro 7:

Quadro 7 - Os quatro domínios da Interação Misturada

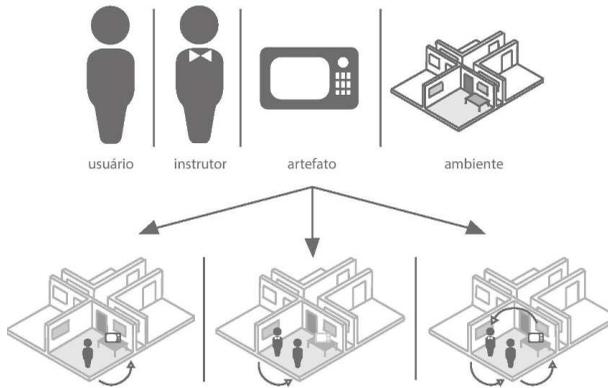
<b>Parte constituinte da Interação</b>	<b>Características</b>
1. Usuário-Sistema	Usuário em interação direta com componentes da interface.
2. Usuário e outros Indivíduos	Aspecto social espontâneo e não programável das interações que ocorre no ambiente físico das mesmas.
3. Colaboração de indivíduos em um mesmo sistema	Formas como interações entre indivíduos geram um trabalho colaborativo, integrando respostas dos mesmos em uma mesma consequência no sistema.
4. Ambiente físico em que ocorre a interação	Propriedades físicas do ambiente em que o usuário, e eventualmente outros indivíduos, estão, e como essas propriedades afetam a interação com o sistema.

Fonte: Adaptado de Jetter et al (2013).

Os Quatro Domínios de Jetter podem ser expressos na Imagem 12, para melhor compreensão:

<sup>29</sup> Do original: “*Four Domains of Blended Interaction*”.

Imagem 12 - Representação visual dos quatro domínios.



Fonte: Adaptado de Jetter et al (2013).

Nota-se que o modelo de Jetter, expresso na Imagem 12, dá primazia à análise do ambiente físico e social onde ocorre a interação tangível (Item 1). Em seguida ele destaca três cenários possíveis que ocorrem nesse ambiente: usuário e sistema (item 2); usuários entre si, sem suporte do sistema (item 3); e usuários coordenando ações, com suporte do sistema (item 4). Para compreender e projetar as interações tangíveis integradas a gráficas é preciso, segundo Jetter et al (2013), levar em conta que um ou mais usuários poderão interagir em um mesmo ambiente, sendo mediados pelas interfaces e também naturalmente, por comunicação imediata. A interação se dá não mais apenas entre usuário e sistema, ou usuários em rede, como nas interfaces gráficas. Ao invés disso tem-se um quadro mais complexo, onde a comunicação interpessoal e determinantes físicos e sociais do ambiente possuem maior peso.

## 2.5 REVISÕES SISTEMÁTICAS SOBRE INTERFACES TANGÍVEIS

Com o objetivo de identificar publicações científicas atuais sobre interfaces tangíveis, foram realizadas duas revisões sistemáticas<sup>30</sup> de

<sup>30</sup> Segundo Sampaio e Mancini (2007), uma revisão sistemática é uma ampla busca de referências em bases de dados, que envolve filtros para classificar os resultados. Trata-se de uma forma de pesquisa bibliográfica mais criteriosa, visto que analisa quantitativamente os resultados através de indicadores bibliométricos.

literatura. A primeira teve por temática atualidades teóricas e metodológicas das interfaces tangíveis, bem como autores e centros de pesquisa envolvidos. A segunda revisão teve por objetivo identificar modelos de avaliação desse tipo de interface.

### 2.5.1 Primeira revisão sistemática

A primeira revisão sistemática foi efetuada em outubro de 2014. Teve por objetivos levantar: a) ao que as interfaces tangíveis estão sendo associadas em termos de aplicações; b) quais métodos e teorias são as mais utilizadas pela comunidade de pesquisadores interessados; c) quem são os pesquisadores interessados em interfaces tangíveis: suas áreas, onde publicam, a que instituições estão afiliados.

Foram consultadas as seguintes bases de dados: Web of Science, Scopus, Science Direct. Os termos de busca foram integrados, formando o seguinte algoritmo: “Tangible Inter\*” AND “Interaction Design” (Que pode ser interpretado como “Toda publicação que envolve 'Tangible Inter’’, como 'tangible interface', 'tangible interaction', etc; e que também fale sobre 'Interaction Design’”).

A busca nas três bases de dados, fazendo uso do algoritmo citado anteriormente, resultou em 240 artigos encontrados. O Quadro 8 detalha os achados, de acordo com as bases de dados:

Quadro 8 - Dados da revisão sistemática

Base de dados	Artigos encontrados
Web of Science	87
Scopus	130
Science Direct	23
TOTAL	240

Fonte: O autor baseado na revisão sistemática.

Esses 240 resultados passaram ainda pelos seguintes filtros: eliminação de itens repetidos; apenas dos últimos 5 anos; apenas artigos com resumo disponível; publicados em periódicos com revisão de pares; títulos, palavras-chave e resumo pertinentes com a temática de busca. Depois dessa filtragem, dos 240 restaram apenas 51 publicações.

Analisando as temáticas dessas 51 publicações em busca de temas mais comuns, foram observados cinco temas frequentes, apresentados no Quadro 9:

Quadro 9 - Descrição das publicações encontradas

Eixo Temático	Aplicações	Cognição Humana	Design de Interação	Realidade Aumentada	Mobile
Expressões mais comuns.	Educação Infantil	Gestos; Metáforas motoras; Cognição corporificada.	Interação Física; Interação mista; Interação misturada.	Realidade Aumentada	Ubiquidade; Dispositivos móveis; <i>Wearables</i> .
Porcentagem de incidência nos 51 artigos	41	35	25,5	17,6	9,8

Fonte: O autor baseado na revisão sistemática.

O Quadro 9 indica como a maioria dos artigos tratam de aplicações ligadas a Educação Infantil em contexto escolar. Outras aplicações apareceram, porém com baixa frequência. Em termos teóricos, os temas mais frequentes nos artigos são os que dizem respeito à Cognição humana corporificada, seguidos de análises das interfaces tangíveis em termos de Design de Interação. Já no que tange ferramental tecnológico, a Realidade Aumentada e dispositivos mobile foram os itens mais frequentemente citados como relacionados às interfaces tangíveis.

Os periódicos que mais publicaram, dentre as 51 publicações, conforme o Quadro 10:

Quadro 10 - Periódicos mais relevantes

Periódico	Artigos encontrados	Localização do periódico	Temática do periódico	Indicador SJR. (2013)	Posição no ranking mundial (2013)	Posição no ranking em seu país (2013)
<i>Interaction with Computers</i>	11	Holanda	Ciências da Computação	0,989	346	71
<i>International Journal of Human-Computer Interaction</i>	7	Estados Unidos	Ciências Sociais; Ciências da Computação	0,623	347	127
<i>Pervasive and Mobile Computing</i>	3	Holanda	Ciência da Computação	1,03	319	66
<i>Personal and Ubiquitous Computing</i>	3	Reino Unido	Ciências da Computação	0,898	113	33

FONTE: O autor baseado na revisão sistemática.

A partir das informações do Quadro 10 pode se notar como a produção sobre interfaces tangíveis: a) encontra-se concentrada entre dois países europeus (Holanda e Inglaterra) e os EUA; b) os periódicos que abordam a temática interfaces tangíveis se classificam como ligados às Ciências da Computação (e não ao Design); c) são periódicos de relativamente baixo impacto em suas áreas, levando em conta o ranking a partir do atual valor de seus SJR<sup>31</sup>.

Analisando os autores que mais publicaram, levando em conta os 51 artigos selecionados pela revisão bibliográfica feita, temos as informações apresentadas no Quadro 11:

Quadro 11 - Autores de mais destaque em publicações

<b>Autor</b>	<b>Artigos encontrados</b>	<b>Centro de pesquisa</b>	<b>Temas de pesquisa</b>
Orit Shaer	3	Wellesley College HCI Lab, Massachussets, EUA	HCI; Interfaces Tangíveis; educação infantil
Saskia Bakker	3	Eindhoven University of Technology, Holanda	HCI; interfaces tangíveis; dispositivos móveis; educação infantil
Stephen Wang	2	Director of International Tangible Interaction Design Lab; Austrália	Design; Design de interação; Design Industrial
Weiyuan Liu	2	Northwestern Polytechnic University.; Califórnia, EUA	Industrial Design; Design de Interação
Elise van Hoven	2	Design, Architecture & Building faculty of the University of Technology, Sydney, Austrália. (Formada, como Saskia Barker, na Eindhoven University of Technology, Holanda).	Design e Arquitetura.

FONTE: O autor baseado na revisão sistemática

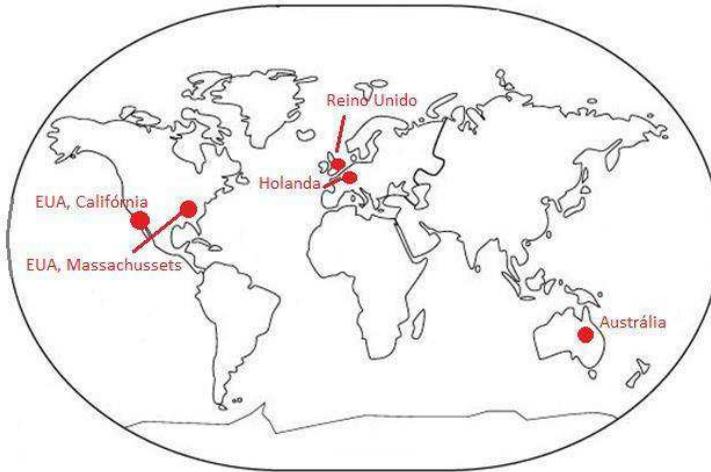
O Quadro 11 confirma a tendência de EUA e Holanda como centros produtores sobre interfaces tangíveis, uma vez que 2 autores são

<sup>31</sup> O SJR, segundo a *SCIMago Journal & Country Rank* (2014), é um indicador bibliométrico que mede a importância de um periódico levando em conta o número de citações feitos de seus artigos, e o prestígio dos periódicos onde seus artigos são citados.

dos EUA, 2 da Holanda, e como exceção, 1 da Austrália. Diferente dos periódicos onde publicam seus artigos, os autores declaram sua filiação a Pesquisa em Design (e não em Computação), sendo que alguns apresentam tendência mais voltada à HCI.

A Imagem 13 sintetiza a distribuição geográfica de autores, centro de produção e periódicos mais importantes sobre interfaces tangíveis, atualmente, no mundo.

Imagem 13 - Localização da produção sobre interfaces tangíveis



Fonte: O autor baseado na revisão sistemática

Na Imagem 13 vê-se como centros produtores sobre interfaces tangíveis apenas países anglo-saxões: EUA, Holanda, Reino Unido e Austrália. O destaque está, contudo, na Holanda, pois parte dos pesquisadores endereçados em outros países tiveram formação em universidades holandesas, como Orit Shaer e Elise Hoven. EUA e Holanda, portanto, são os grandes polos produtores de pesquisas em interfaces tangíveis sendo que os EUA possuem dois grandes centros nas áreas: um em sua costa leste, outro em sua costa oeste.

Cumprir destacar que outros autores que não obtiveram destaque na análise bibliométrica também se situam nesses países. É o exemplo de Eva Hornecker e van Dijk, na Holanda; Hiroshi Ishii, em Massachussets, EUA. A produção encontrada na Austrália, por sua vez, é uma exceção que confirma a regra, visto que foi inteiramente concentrada em uma autora, Elise Hoven, que teve sua formação na

Holanda.

A revisão sistemática realizada em 2014 identificou como referencial teórico mais citado a “Embodied Cognition”. Pode-se dizer, a partir dos artigos identificados, que a área de interfaces tangíveis se alimenta de modelos teóricos sobre Cognição Corporificada, e faz uso de procedimentos metodológicos variados, porém com escassez de procedimentos e instrumentos específicos para avaliar e criar esse tipo de interface. A maior parte dos estudos consistem no desenvolvimento experimental de aplicações em interfaces tangíveis, envolvendo observações exploratórias feitas em campo. Destaca-se as interfaces tangíveis desenvolvidas para uso em ambientes escolares e os dispositivos móveis relacionados a smartphones.

### 2.5.2 Segunda revisão sistemática

Realizada março e abril de 2015, teve por tema as formas de avaliação de usabilidade de interfaces tangíveis. Isto é, procurou-se por publicações que abordam procedimentos de avaliação da usabilidade de interfaces tangíveis. Os dados quantitativos que representam as publicações encontradas são apresentados no Quadro 12:

Quadro 12 - Artigos achados na segunda revisão

Base de dados	Artigos encontrados
Web of Science	62
Scopus	273
Science Direct	414
TOTAL	749

Fonte: Desenvolvido a partir dos dados da segunda revisão sistemática

Esses 749 passaram pelo crivo de:

- a) Artigos de periódicos e conferências;
- b) Com resumo;
- c) De 2005 em diante;
- d) Títulos pertinentes.

Restaram 21, que passaram pela leitura do Resumo em busca de temas, metodologias e resultados que implicam em avaliação da usabilidade de interfaces tangíveis. Depois dessa filtragem o número foi reduzido para 10 artigos, dos quais 4 eram de conferências de HCI e 5 estavam relacionados a computação ubíqua e mobile. Desses 10 artigos restantes apenas 7 foram achados inteiros e gratuitos na internet.

Destaque para o fato de que desses 7 artigos finais, 4 foram publicados entre o segundo semestre de 2014 e os primeiros meses de 2015, o que evidencia a atualidade das pesquisas.

A seguir, os principais achados teóricos da segunda revisão sistemática, no que diz respeito à avaliação de usabilidade de interfaces tangíveis. A saber: metáforas, mapeamento, naturalidade de uso e interface tangível como parte de algo maior.

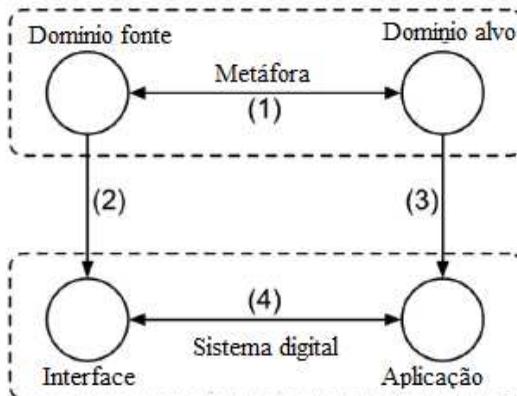
### 2.5.2.1 Metáforas

Dos 7 artigos resultantes da busca, 2 tiveram Emmanuel Dubois como co-autor e têm por ênfase o uso de metáforas para avaliar e projetar interfaces tangíveis. Sobre o uso de metáforas no design de interfaces:

Uma metáfora consiste na translação de um conceito de um domínio alvo para o conceito de um domínio diferente, chamado domínio fonte, mais familiar em algum contexto de discurso. Em uma interface metafórica o mapeamento relaciona conceitos e operações entre os dois domínios (CELENTANO e DUBOIS, 2014, p.100).

A imagem 14 apresenta, de maneira esquemática, a aplicação de metáforas no design de interface:

Imagem 14 - Metáforas no Design de Interação



Fonte: Desenvolvido a partir de Celentano e Dubois (2014, p. 101).

Na imagem 14 temos: 1) Mapeamento entre domínios; 2) A reificação da metáfora fonte na interface; 3) A implementação da metáfora alvo do domínio alvo na aplicação; 4) O mapeamento entre interface e aplicação, e determina como a interface direciona a aplicação. Em outro artigo, Celentano e Doubois (2012), fornecem mais detalhes desse modelo, afirmando que o Domínio Fonte é formado por objetos dotados de estrutura, significados, atributos; que se tornam representações que delimitam a interface; o Domínio Fonte provê comandos para o Domínio Alvo, que por sua vez gera a Aplicação (um conjunto de parâmetros e regras) que funciona gerando feedback para a interface. Partindo de tal modelo os autores defendem três critérios de avaliação de interfaces tangíveis:

- a) Coerência (Como a metáfora é expressa na interface da aplicação);
- b) Cobertura (O quão completa é a expressão);
- c) Conformidade (O quão reconhecível é a expressão da metáfora nos objetos usados na interação).

#### 2.5.2.2 Mapeamento

A avaliação de usabilidade de interfaces tangíveis demanda especial atenção para contextos físicos de uso e a corporalidade integral do usuário. Edge (2008, p. 50), destaca cinco processos de mapeamento contextual para o design de interfaces tangíveis:

- a) Análise do contexto (Identifica atividades que podem ser beneficiadas por meio de interfaces tangíveis, constituindo, portanto, oportunidades de facilitação);
- b) Análise da atividade (Identifica as propriedades das interfaces tangíveis que iriam dar suporte apropriado para as atividades apontadas no item 1);
- c) Análise de mapeamento (Gera uma estrutura que relaciona o domínio físico e o digital);
- d) Análise de significado (Provê significados aos mapeamentos do item 3, de modo que o usuário possa compreendê-los);
- e) Análise de adequação (Considera as consequências de adaptações de uso por parte dos usuários, gerando refinamentos).

A importância do mapeamento para a avaliação de usabilidade de interfaces tangíveis é destacada também em outro artigo: “Estudos sobre interfaces tangíveis e adultos têm enfatizado a importância de ‘mapeamentos naturais’ associados com tangíveis, no que diz respeito

ao senso de presença (imersão em um ambiente virtual)”<sup>32</sup> (ZAMAN et al, 2011, p.5).

Leon et al (2014), ao descrever o processo de avaliação de uma interface tangível presente em um sistema de trabalho colaborativo, também destacam a importância do mapeamento das atividades. Sem atividades motoras do usuário, enquanto interage com o sistema, previamente catalogadas a avaliação da interface tangível é prejudicada. Por exemplo, o mapeamento de gestos possíveis para emitir um comando em uma interface que reconhece movimentos é um pré-requisito para avaliar a usabilidade de tal interface.

### 2.5.2.3 Naturalidade do uso

Por “naturalidade” entende um critério de avaliação de usabilidade de interfaces pelo qual ela pode ser usada sem considerável necessidade de novas aprendizagens. Interfaces tangíveis são naturais no sentido de que seu uso é mais intuitivo que o das interfaces gráficas (ZAMAN et al, 2011).

Os autores prosseguem, apontando os seguintes fatores como determinantes da maior naturalidade das interfaces tangíveis sobre as gráficas: especificidade de dispositivos de entrada; interações baseadas em habilidades do dia a dia e experiências do mundo físico; emprego de habilidades que demandam as duas mãos e feedback tátil; facilitação de tarefas espaciais por meio da inerente espacialidade das interfaces tangíveis; sincronização entre controle de objetos físicos e a manipulação de representações digitais.

### 2.5.2.4 Interfaces tangíveis são parte de um conjunto maior

Dos 7 artigos encontrados na segunda revisão, 2 ressaltam que interfaces tangíveis quase sempre se encontram integradas a interfaces de outros tipos, incluindo as interfaces gráficas. As interfaces tangíveis fazem parte, segundo Dubois et al (2014) dos Sistemas Interativos Misturados<sup>33</sup>, definidos como aqueles que integram “complexas formas

---

<sup>32</sup> Do original: “*Studies on TUIs and adults have emphasized the importance of “natural mappings” associated with tangibles, with respect to feelings of presence (immersion in a virtual environment)*”.

<sup>33</sup> Do original: “*Mixed Interactive Systems*”.

de interação tais como realidade aumentada, interfaces tangíveis ou mesmo sistemas pervasivos”<sup>34</sup> (DUBOIS et al, 2014, p. 1).

Lebrun et al (2013), ao avaliar a interação em mesas multi-toque, destacam que essas integram feedbacks táteis e cinestésicos com interfaces gráficas e efeitos de som. Portanto, a avaliação da interface presente nesses artefatos não pode se limitar à tangível, mas deve também abranger os outros tipos de interfaces utilizadas. Portanto, o ato de projetar e/ou avaliar interfaces tangíveis não dispensa conhecimentos de Design de Interação relacionados a outros tipos de interfaces, como as gráficas, ou modelos de interação em Realidade Virtual, Realidade Aumentada, etc.

---

<sup>34</sup> Do original: “*complex forms of interaction such as augmented reality systems, tangible user interfaces (TUI), or even pervasive systems*”



### 3 FUNDAMENTOS COGNITIVOS DO DESIGN DE INTERAÇÃO

Neste capítulo são apresentados os principais referenciais teóricos que orientam as pesquisas em interfaces tangíveis identificadas nas revisões sistemáticas (seção 2.5). Tais definições contribuem na delimitação das interfaces tangíveis como objeto de pesquisa, bem como nos instrumentos utilizáveis para a criação de conhecimento relativo a esse objeto no contexto do Design de Interação.

O fundamento das pesquisas em Design de Interação, desde a origem dessa disciplina, encontra-se basicamente nas Ciências Cognitivas (formadas por disciplinas como Psicologia, Filosofia, Linguística, etc.). Contudo, há diferentes abordagens em Ciências Cognitivas. Isto é, diferentes visões sobre a natureza da cognição. A escolha de uma abordagem para embasar pesquisas em Design de Interação tem repercussões tanto na definição de objeto de estudo quanto nos métodos e formas de conhecer tal objeto, por isso deve ser feita de forma criteriosa.

Neste capítulo a Cognição Corporificada será apresentada e justificada como abordagem da Ciência Cognitiva que pode fundamentar a pesquisa em Design de Interação.

#### 3.1 DUAS ABORDAGENS PARA A COGNIÇÃO

A forma corporificada de entender a cognição tem esse nome porque preza por situar o agente do conhecimento em um contexto físico, social e cultural onde sua corporalidade e emoções estão implicadas, juntamente com seu intelecto. Enquanto abordagem teórica a Cognição Corporificada surgiu em oposição à abordagem cognitivista clássica (NORMAN, 2006), pelo qual o estudo da Cognição se dava basicamente pela análise da mente, definida como um objeto de estudo relativamente independente do corpo e do ambiente. O modelo cognitivista clássico funciona pela metáfora do cérebro como um computador interno do corpo que toma decisões por si mesmo, e da mente como o programa que está em execução em tal computador.

Norman (1996) apontou o conflito entre a abordagem clássica e corporificada dentro da Ciência Cognitiva. O autor pontua como a primeira abordagem foi inaugurada nos anos 1950, tendo sido a primeira visão dominante nas Ciências Cognitivas. Tal abordagem destaca o papel do processamento simbólico de informações por meio de representações mentais dentro do cérebro. A segunda abordagem, a

Corporificada, surgiu nos anos 1990 e tem por ênfase a interação do ambiente com o organismo como um todo. Norman é adepto da aplicação da Cognição Corporificada para pesquisas em Design de Interação, como mostra em livros como “Design Emocional” (NORMAN, 2008), onde o papel do corpo e das emoções se alia aos aspectos intelectuais nas tomadas de decisão. Já em “O Design do Dia-A-Dia” (NORMAN, 2006), o autor demonstra o poder do ambiente em desencadear falhas em processo cognitivos e determinados comportamentos de uso.

O Quadro 13 apresenta as principais diferenças entre a abordagem Cognitivista Clássica e a Cognição Corporificada, no contexto do Design de Interação:

Quadro 13 - Contraste entre dois modelos nas Ciências Cognitivas

<b>Características</b>	<b>Cognitivismo Clássico</b>	<b>Cognição Corporificada</b>
<b>Natureza da cognição</b>	Mental, intelectual.	Comportamental, baseada no corpo, emoções e intelecto.
<b>Onde ocorre a cognição</b>	Na mente/cérebro.	No contexto físico e social dos agentes.
<b>Como planejar o Design de Interação</b>	Levando em consideração estruturas lógicas de tomada de decisão.	Levando em consideração como o usuário será afetado pelo contexto físico e social ao interagir com o artefato que está sendo projetado.

Fonte: Desenvolvido a partir de Norman (1996).

Cabe destacar, contudo, que para Norman as duas abordagens não são mutuamente excludentes. O autor defende que a necessidade de escolher uma em total detrimento da outra se baseia em uma visão caricata de ambas, uma vez que ambas as abordagens possuem seus méritos.

No segmento a seguir será apresentada uma retrospectiva histórica do início da Cognição Corporificada, visando esclarecer a origem de tal abordagem e diferencia-la da abordagem Cognitivista Clássica.

### 3.2 HISTÓRICO DA COGNIÇÃO CORPORIFICADA

O termo “Cognição Corporificada” descreve uma vasta e complexa abordagem em Ciências Cognitivas, marcada pela ruptura com a abordagem clássica onde a cognição era vista como um processo

intelectual no interior da mente. O termo “cognição corporificada” popularizou-se no final dos anos 1990 e constituiu-se a partir da integração de diferentes tendências na pesquisa sobre cognição humana. Dentre tais tendências, destacam-se:

- a) Cognição Distribuída (1980), que defendia que processos cognitivos eram compartilhados nas relações sociais;
- b) Cognição Situada (1990), que apresenta o conhecimento como ação presente em contextos culturais;
- c) Cognição Estendida (1995), em que o fundamento da cognição estaria no uso de instrumentos físicos e verbais como extensões do corpo.

Alguns autores tratam “Cognição Corporificada”, por vezes, como sinônimo de “Cognição Estendida”, “Cognição Distribuída”, “Cognição Situada”, etc., o que pode suscitar confusões. Segundo Dourish (2001) a origem da Cognição Corporificada está ligada aos cientistas naturalistas norte-americanos. Isto é, pesquisadores principalmente dos EUA, oriundos das Ciências Naturais. No caso, a Biologia fortemente pautada em experimentos de laboratório. Dentre esses naturalistas norte-americanos, destacam-se duas vertentes: o Behaviorismo e a Ecological Psychology.

### **3.2.1 Behaviorismo**

Os críticos da então Cognição Corporificada costumam chamar seus partidários, em tom ofensivo, de “behavioristas” (NORMAN, 1996, pág. 4), dada a semelhança de seus conceitos. O Behaviorismo é uma filosofia da Ciência cuja forma mais atual, chamada Behaviorismo Radical foi fundada nos anos 1950 por B. F. Skinner. Os fundamentos do Behaviorismo Radical são: a) uma ciência natural, tendo por objeto o comportamento, é possível (SKINNER, 1998); b) a chave para tal empreendimento está no estudo das contingências de reforçamento presentes do ambiente (SKINNER, 1969). Uma contingência de reforçamento é um conjunto de relações entre eventos ambientais (Estímulos) e ações do organismo (Respostas), que formam o contexto em que organismos vivem e se comportam (BAUM, 1999). Tais relações ocorrem em determinados contextos (Situação Anterior), envolvem ações do organismo (Respostas) e geram consequências que afetam esse contexto (Situação Posterior).

O Behaviorismo Radical é acusado de ignorar a mente, estados subjetivos internos e fenômenos humanos mais complexos (SKINNER,

1998), da mesma forma que a Cognição Corporificada e pela mesma razão: por enfatizar o papel do contexto ambiental e histórico na cognição. Quando Donald Norman revela que os adeptos da Cognição Corporificada são apelidados de “behavioristas” ele indica não apenas a semelhança entre Cognição Corporificada e Behaviorismo, mas também a atitude hostil dos cognitivistas clássicos no que tange o estudo das contingências ambientais como formadoras da cognição.

### **3.2.2 Ecological Psychology**

Outra importante vertente que influenciou a Cognição Corporificada foi a Ecological Psychology, de J. J. Gibson. De modo semelhante ao Behaviorismo, tal abordagem teórica também foi desenvolvida nos EUA, e trata-se de um modelo naturalista da Cognição (DOURISH, 2001).

Segundo a Ecological Psychology, a percepção sensorial é a chave para a compreensão da cognição. Enfatiza-se a experiência sensorial e motora do agente cognitivo em um dado ambiente. Afim de estudar como se dá a relação entre organismo e ambiente, por meio da percepção e da motricidade, Gibson (1979) desenvolve o conceito de affordance para designar estímulos ambientais que, uma vez percebidos, incentivam ações no organismo. O termo “affordance” é um neologismo derivado do verbo “afford”, que significa dispor. Em outras palavras, um affordance é um estímulo disponibilizador de respostas que lhe são peculiares por possuírem uma relação histórica. Assim, por exemplo, uma maçaneta é um affordance, dada sua estrutural, para a apreensão por meio da mão humana.

O conceito de affordance tomou um lugar importante na Cognição Corporificada, em destaque na obra de Donald Norman. O ambiente passa a ser percebido não como um cenário neutro onde circulam organismos, mas como parte ativa da cognição, uma vez que affordances implicam em relações de percepção e decisão por parte dos organismos. Para a Ecological Psychology a percepção é direta sobre o ambiente, não mediada por representações mentais. Perceber é um ato, uma atividade que implica em movimento (sensorio-motor). O que são percebidos são affordances. A percepção sensorial é a chave para a compreensão de todos os processos cognitivos. Segundo a Ecological Psychology a percepção do ambiente por parte de um organismo é direta. Isto é, o organismo entre em contato com o mundo e não com uma representação mental dele (NORMAN, 2006). Isso implica que o ato de perceber e os comportamentos decorrentes dele estão integrados,

formando um todo: tanto a percepção quanto a ação sobre o ambiente são diretas e formam uma unidade.

Para compreender essa integração entre percepção sensorial e ação motora torna-se importante entender o conceito de affordance como uma propriedade emergente de sistemas formados pela relação entre organismos e o ambiente (STOFFREGEN, 2003). Os organismos são dotados de determinadas habilidades, e o ambiente é constituído de estímulos dispostos de determinadas maneiras. Quando esses organismos se inserem em um ambiente suas habilidades entram em relação com as disposições que encontram e geram entidades comportamentais emergentes. Só então surgem os affordances, que não devem ser confundidos com estímulos estáticos dispostos no ambiente, uma vez que são propriedades emergentes e como tal só existem na interação de um determinado organismo com um determinado conjunto de estímulos. Em outras palavras, um affordance só existe por causa de um organismo que o percebe (CHEMERO, 2010).

Estudar a cognição, a partir da Ecological Psychology, consiste em entender: a) o organismo e suas habilidades; b) o ambiente e seus estímulos; c) a forma direta como organismos percebem e agem sobre o ambiente; d) as propriedades emergentes que surgem dessas relações sensório-motoras entre organismo e ambiente.

### **3.2.3 Behaviorismo e Ecological Psychology**

Segundo Chemero (2010), a origem filosófica comum tanto do Behaviorismo quanto da Ecological Psychology é o Pragmatismo Norte-Americano. Em especial, no Pragmatismo<sup>35</sup> de William James (1842-1910), médico e filósofo que é considerado “o pai da Psicologia dos EUA”. Partindo-se do Pragmatismo, ontologicamente<sup>36</sup> o que importa não é a certeza da existência da realidade tal e qual percebida pelo sujeito, mas a forma como a percepção afeta o sujeito gerando assim consequências no mundo a partir de nossas ações (BAUM, 1999). Para os pragmatistas a validação de uma ideia como verdadeira depende de seu poder de gerar consequências empíricas no mundo.

---

<sup>35</sup> Pragmatismo designa, nesse contexto, uma ampla corrente filosófica originária nos EUA. Sua principal premissa é que o valor de verdade de uma ideia está nas consequências. Para um pragmatista, verdadeiro é aquilo que funciona para realizar objetivos do proponente (BAUM, 1999).

<sup>36</sup> Ontologia é o ramo da filosofia metafísica que estuda o Ser, a natureza da realidade (JAPIASSU, 2001). Definir uma ontologia significa descrever um evento ou evento em termos de atributos essenciais.

Já epistemologicamente<sup>37</sup>, uma das principais ideias pragmatistas adotadas tanto pelo Behaviorismo quanto pela Ecological Psychology é o Empirismo Radical. Esse termo designa a necessidade de explicar significados e intencionalidade do comportamento a partir do mundo físico (JAPIASSU, 2001). O conhecimento (assim como desejos e motivações) passa a ser entendido a partir de dados empíricos observados no ambiente, e não como um princípio de origem metafísica dentro da mente. Além das apresentadas anteriormente, destacam-se outras semelhanças entre Behaviorismo e Ecological Psychology:

- a) Visão empirista<sup>38</sup> e naturalista<sup>39</sup> da cognição: rejeição do Idealismo<sup>40</sup> e do Racionalismo<sup>41</sup>;
- b) Forte embasamento experimental. Pesquisa laboratorial como principal fonte de conhecimentos;
- c) Ênfase no papel do contexto ambiental como formador da Cognição: a) Negação do mentalismo internalista: o processo cognitivo se dá no ambiente como um todo; b) Negação do representacionismo: o contato com a realidade é direto, e não mediado por representações mentais;

Talvez a principal diferença entre as abordagens esteja no fato de que a Ecological Psychology tenha se integrado com as Ciências Cognitivas (paradigma científico concorrente às Ciências Comportamentais, de cunho behaviorista), mantendo-se assim longe academicamente da comunidade behaviorista.

Outra distinção se dá em um pequeno, mas relevante, detalhe nas perspectivas ontológicas das duas abordagens. A Ecological Psychology envolve uma forma de Realismo onde há um mundo independente do observador, mas o percebido só existe porque foi organizado de uma determinada forma pelo comportamento perceptivo do observador (CHEMERO, 2010). O real trata-se da integração de três fatores:

<sup>37</sup> Epistemologia é o estudo filosófico do conhecimento: sua origem, natureza, descrição, normas, etc (JAPIASSU, 2001).

<sup>38</sup> Empirismo é a atitude filosófica de tomar a experiência como fundamento do conhecimento (JAPIASSU, 2001).

<sup>39</sup> Naturalismo designa a crença de que as atividades humanas são naturais, isto é, delimitadas no tempo e no espaço e compreensíveis a partir da Biologia, Física e outras ciências da natureza (JAPIASSU, 2001).

<sup>40</sup> Idealismo, no contexto empregado, consiste na ideia de que a mente pré-existe ao mundo, sendo a verdadeira fonte da existência. Para uma idealista estrito a realidade é inteiramente subjetiva (JAPIASSU, 2001).

<sup>41</sup> Racionalismo é a corrente filosófica pela qual o raciocínio é a operação fundamental. Para um racionalista, a lógica é o critério final de definição da verdade (JAPIASSU, 2001).

cérebro, organismo e ambiente. Já o Behaviorismo rejeita o Realismo, adotando integralmente a perspectiva Pragmatista. Isto é, não defende a existência de uma realidade em si, independente do observador. Para um behaviorista não há como provar a existência do mundo. Contudo, observa-se que organismos se comportam como se o mundo existisse e em termos pragmatistas isso basta para trabalhar a partir da hipótese que o mundo existe (BAUM, 1999).

### 3.3 PRINCIPAIS PREMISSAS DA COGNIÇÃO CORPORIFICADA

Dentre as principais premissas da Cognição Corporificada no Design de Interação destacam-se:

- a) Importância da corporalidade do usuário;
- b) Ênfase no uso de instrumentos;
- c) Destaque no papel das emoções;
- d) Determinação sociocultural da Cognição.

Em primeiro lugar, a Cognição Corporificada entende que o conhecimento se dá fundamentalmente pela corporalidade do agente. Raciocinar e imaginar, como processos intelectuais, se integram com os dados dos sistemas sensoriais e com sentimentos, bem como à motricidade do corpo, gerando assim a experiência do conhecer. Tal experiência, portanto, apresenta-se não apenas como eventos intelectuais, mas também sensoriomotores e emocionais.

Parte essencial da corporalidade se encontra na enacção, que pode ser entendida da seguinte forma, de acordo com Paraguai (2008):

O termo 'enaction' foi introduzido pela primeira vez por Jerome Bruner, na Psicologia Cognitiva quando afirmou que o conhecimento 'enactive' é construído a partir de competências que requisitam habilidades motoras durante o processo do fazer, como por exemplo dançar, tocar um instrumento musical, manipular objetos, andar de bicicleta. Diferentemente do conhecimento elaborado de forma icônica ou metafórica, este paradigma da cognição está centrado em dinâmicas sensório-motoras, atividades corpóreas, e coloca as mediações entre o indivíduo e seu ambiente como fundamentais e determinantes para a produção de significados (PARAGUAI, 2008, p. 55).

Segundo Romão (2010, p. 42), o design de artefatos que exploram habilidades enactivas “parte de uma percepção situada da cognição, isto é, que leve em conta a totalidade da experiência sensorial, motora, emocional e intelectual do usuário”. Projetar produtos, imagens e outros artefatos é uma atividade entendida, pelo paradigma Situacionista, como compreender a totalidade do usuário, sem reduzi-lo a dados ora intelectuais, ora motores, ora emocionais, ora sociais, etc.

Como segundo aspecto da Cognição Corporificada, admite-se que ela se baseia no uso de instrumentos físicos e verbais. Muitas vezes esse aspecto é conhecido pelo nome de “Distribucionismo”, ou Cognição Distribuída, porque entende que o processo de conhecer distribui-se no contexto por meio de extensões físicas e intelectuais. Por exemplo, fazer uso da linguagem escrita para etiquetar botões em um painel auxilia na tomada de decisão de operadores.

O terceiro aspecto da Cognição Corporificada a se destacar é a importância da vivência emocional. A experiência do indivíduo no ambiente é marcada pela carga sensorial do mesmo, que pode lhe gerar excitação, stress, ou outras respostas como tédio, privação, percepção de controle, etc. Em outras palavras, o indivíduo responde emocionalmente aos estímulos percebidos em seu ambiente dependendo do efeito deles. Isto é, se são estressores, agradáveis ou neutros, e de seu próprio estado momentâneo (se ele se encontra privado de estímulos, estressado, com pouca sensação de controle, fome, cansaço, etc). Toda ação cognitiva, ou ato de conhecer e tomar decisões, envolve associações afetivas ou emocionais dos estímulos envolvidos.

Como quarto e último aspecto da Cognição Corporificada a se destacar está a noção de que o ato de conhecer extrapola os limites corporais do indivíduo e adentra no terreno do social. Além de questões individuais, como o corpo, a percepção sensorial, o intelecto, as emoções, etc., a Cognição Corporificada demanda uma compreensão de como artefatos culturais e linguagem afetam a cognição. O ambiente físico também é um ambiente social à medida que ele apresenta convenções normativas. Tal modelo implica em levar em conta o cenário cultural onde ocorre processos cognitivos. Em outras palavras, seus aspectos simbólicos. Norman (2008) faz uso de tal noção ao apresentar um modelo pelo qual todo objeto gera reações viscerais (ligadas a emoções involuntárias), comportamentais (relacionadas ao seu uso físico), e reflexivas (relacionadas a significados simbólicos, culturais). O autor defende como a dimensão reflexiva dos objetos deve ser compreendida sobre a ótica da linguagem e dos símbolos da cultura na qual o uso do objeto está inserido.

O Quadro 14 apresenta um resumo das principais premissas da Cognição Corporificada:

Quadro 14 - Quatro aspectos da Cognição Corporificada

<b>Aspecto</b>	<b>Descrição</b>
Corporalidade	Aspectos sensório-motores da cognição, que funcionam como metáforas para os outros processos cognitivos.
Instrumentos	Uso de extensões físicas do corpo, e da linguagem.
Emoções	Determinantes e consequências emocionais dos estímulos no contexto.
Cultura	Relações num dado ambiente social, dotadas de significados culturais.

Fonte: elaborado pelo autor a partir da pesquisa

A síntese apresentada no Quadro 14 destaca as categorias de análise da interação do usuário com as interfaces tangíveis. Seus movimentos corporais estão acoplados ao espaço e objetos do ambiente físico em que se encontra, e suas ações não são todas intelectuais e conscientes, uma vez que suas emoções estão implicadas no processo. Por fim, a interação toda ocorre sempre em um fundo cultural, de normas sociais e partindo dos referenciais do usuário. E tal interação pode envolver mais de um usuário ao mesmo tempo, que levanta a questão da cognição social.

### 3.4 COGNIÇÃO CORPORIFICADA E PESQUISA EM DESIGN

A Cognição Corporificada vem ganhando espaço nas disciplinas científicas puras e aplicadas desde o final dos anos 1990 (NORMAN, 2006). Como inovação metodológica, representou um “Retorno ao Social” (ROGERS, 2012, p. 32), dentro da Ciência Cognitiva. Em outras palavras, uma revalorização da interação humana concreta em ambientes sociais para o estudo da cognição.

Originalmente proposta no campo das Ciências Sociais e Humanas, teve como uma das precursoras a antropóloga Lucy Suchman, que cunhou o termo “Teoria da Ação Situada”. Segundo Rogers (2012), a visão situacionista e corporificada na Antropologia começa no final dos anos 1980 e abriu caminho rapidamente no campo da pesquisa em Design em áreas como a CSCW (Computer Support Cooperativa Work<sup>33</sup>) nos anos 2000. Um dos principais divulgadores dessa nova perspectiva para a cognição humana foi Donald Norman, que ajudou a popularizá-la em best-sellers como “O Design do Dia-A-Dia” (de 1988) e “Design Emocional” (de 2004).

Como abordagem metodológica para a pesquisa em Design, a Cognição Corporificada baseia-se nas seguintes premissas, segundo Roth e Jornet (2013, p. 3):

- a) A cognição surge, e vincula-se, a interações que o corpo de um agente mantém com o seu ambiente físico; cognição é personificada e situada;
- b) Cognição surge, e é ligada a interações que um agente mantém com o seu ambiente social: cognição está situada no seu contexto social. Esse contexto pode ser imediato, quando o comportamento típico surge em relação a outros agentes, ou mediado, como quando o comportamento típico surge dentro de contextos sociais mais amplos (comunidades, redes sociais, sociedades);
- c) Cognição surge com a finalidade da ação: a cognição é emitida. Relações de referência para o mundo circundante e propósitos (intenções) caracterizam o comportamento humano e o uso de ferramentas;
- d. Cognição é distribuída através de ambientes materiais e sociais por causa dessas características e sociais por causa de recursos. Linguagem e o uso de práticas materiais são categorias relevantes que captam tais características;
- e. Uma boa parte dos comportamentos inteligentes não precisam de representação explícita interna (mental). O que é importante em vez disso é a forma como o mundo se apresenta ao próprio agente<sup>34</sup>.

Como abordagem para a pesquisa em Design, a Cognição Corporificada apresenta-se como um complemento do método etnográfico clássico (Sendo este baseado em observações de campo e tendo em vista processos culturais amplos). Enquanto a etnografia clássica tem por foco processos culturais amplos no tempo e no espaço (como a formação de tradições, os rituais, o significado de mitos, etc.), a abordagem corporificada é situacionista: se preocupa em entender episódios específicos de curta duração e localização que ocorrem em um dado ambiente. Por exemplo, analisar de que forma as regras sociais e um ambiente normativo em específico (como um escritório), afetam o

uso de um artefato como um celular para determinadas pessoas. Sendo assim, a nova abordagem pode ser vista como uma microanálise etnográfica, onde a ênfase encontra-se em comportamentos individuais tal qual ocorrem em situações concretas. Para a pesquisa em Design tal abordagem significa o foco no comportamento efetivo do usuário tal qual observado, e não em elucubrações e hipóteses.

A Cognição Corporificada faz uso da corporalidade do usuário em um dado contexto físico para analisar a interação desse com um artefato. Em outras palavras, leva em conta a enacção e como ela é usada para interações físicas. Não só o intelecto, mas a dimensão motora e de expressão emocional é levada em conta na Cognição Situada, segundo

Atenção, consciência do tempo presente, imagem corporal, preenchimento perceptual em borda e central, e emoções são alguns dos domínios em que o tratamento científico e em primeira (ROTH; JORNEL, 2013, p. 16)

Como principais implicações da Cognição Corporificada para o ferramental dos pesquisadores em Design, constam uma revitalização da pesquisa etnográfica, que toma o lugar de testes e observações feitas em laboratório e outros ambientes controlados (ROGER, 2012). Encontra-se também a necessidade de investigar científica o comportamento dos usuários, levando em conta o social, o emocional, a linguagem, etc., e basear o Design em evidências.



## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa apresentada neste documento teve por objetivo a identificação de componentes para a formação de um protocolo de avaliação de interfaces tangíveis. O procedimento central para tal desenvolvimento, ao lado das revisões sistemáticas de literatura, consistiu em um conjunto de testes de usabilidade de um simulador de motocicleta. Os testes de usabilidade constituem-se em um procedimento que permite observação direta de comportamentos durante o uso de produtos (CYBIS, 2007). Tais testes foram realizados à luz da Cognição Corporificada, abordagem apresentada no capítulo anterior que traz importantes subsídios para a pesquisa em Design pois evidencia a observação *in loco* a partir do uso efetivo de produtos. Apenas a observação direta de comportamentos dos usuários, em locais naturais de interação com produtos, pode conferir conhecimento apropriado sobre usabilidade, na perspectiva situacionista (DOURISH, 2001).

Testes de usabilidade consistem em observações sistemáticas de uso de um produto por parte de um ou mais testadores. Os usuários que participam dos testes têm seus comportamentos de uso avaliados de modo a identificar indicadores tais como: sucesso e satisfação no desempenho de tarefas, tempo despendido para execução das mesmas, erros, eficiência e custo de aprendizagem (ALBERT; TULLIS, 2008).

Os testes de usabilidade da presente pesquisa envolveram 20 participantes e ocorreram no período de janeiro e março de 2014. Os testes foram realizados no laboratório da Fundação CERTI<sup>42</sup>, tendo em vista o contexto e a infraestrutura de uma consultoria iniciada anteriormente ao mestrado, mas consistiram em uma atividade especialmente voltada para a pesquisa do mestrado.

O Quadro 15 a seguir apresenta a totalidade dos procedimentos metodológicos da pesquisa, isto é, 1) a etapa dos testes de usabilidade; 2) o tratamento dos dados e discussões relativas aos referidos testes; 3) a identificação de componentes para um protocolo a partir da integração

---

<sup>42</sup> A oportunidade de realizar tais testes surgiu através de uma consultoria feita por seu autor antes do início do Mestrado, em 2013. A consultoria consistiu em um projeto financiado pelo Ministério das Cidades e realizado pela Fundação CERTI, com o propósito de estabelecer padrões de qualidade para simuladores de motocicleta em Centros de Formação de Condutores em todo o Brasil. O autor exerceu o papel de avaliado de usabilidade do produto. Tarefa essa exercida por meio de testes com uma amostra de alunos de um Centro de Formação de Condutores. Os testes foram realizados no laboratório de usabilidade do Sapiens Parque, em Florianópolis, SC.

dos resultados das revisões de literatura e dos testes e 4) a discussão dos resultados:

Quadro 15 - Procedimentos metodológicos

<b>Etapas</b>	<b>Descrição</b>
1 – Testes de usabilidade	Planejamento; criação de instrumentos; Execução (entrevista de perfil, observação sistemática de uso e entrevista final).
2 – Tratamento dos resultados dos testes	Sistematização das entrevistas e dados registrados nas observações. Tratamento estatístico.
3 – Discussão dos resultados	Interpretação dos resultados à luz das revisões de teoria.
4 – Caracterização dos componentes do protocolo	Integração dos resultados dos testes com os modelos teóricos oriundos das revisões de literatura.
5 – Discussão dos resultados	Refinamento teórico dos componentes identificados e demais análises críticas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

A seguir são detalhadas cada uma das etapas citadas no Quadro 15.

#### 4.1 TESTES DE USABILIDADE REALIZADOS

A seguir são descritos o local do teste, o simulador utilizado, o roteiro dos testes e instrumentos desenvolvidos para a coleta de dados dos mesmos.

##### 4.1.1 Local dos testes

Os testes foram realizados no Sapiens Parque, no LabUP (Laboratório de Usabilidade de Produtos), em Florianópolis-SC. Tal espaço consiste em um ambiente controlado de observação, com espelho duplo, câmeras, isolamento acústico e visual, bem como outras características que favorecem a realização dos testes. A Imagem 15 apresenta uma representação da planta do LabUP:

Imagem 15 - Planta do LabUP



Fonte: Acervo do projeto.

Conforme mostrado na Imagem 15, o simulador encontrava-se instalado na Sala de Experimentação (que tinha como propriedade fixas: 4,5 por 4,6 metros quadrados, com isolamento visual e acústico) A equipe que realizou os testes de usabilidade foi formada pelo pesquisador e mais 3 assistentes, sendo que estes graduandos em Psicologia tinham por função apoiar a execução dos testes (lidar com os testadores, realizar observações, entrevistas, manejar equipamentos de gravação, etc.). Os avaliadores, a maior parte do tempo, estavam na mesma sala, interagindo de perto com os testadores. Por vezes, contudo, estavam na Sala de Observação (onde é possível observar o que se passa na Sala de Experimentação sem ser visto, por conta do espelho duplo e das câmeras). A maior parte das entrevistas com os testadores se davam na própria Sala de Experimentação. Algumas, entretanto, eram realizadas na Sala de Criação.

#### 4.1.2 O Simulador de Motocicleta P3 5DoF

O simulador utilizado nos testes de usabilidade foi um protótipo chamado “P3 5DoF”<sup>38</sup>. Tal produto tem por público-alvo alunos iniciantes, com pouca ou nenhuma experiência de condução de motocicletas, para se habituarem à moto e ganharem confiança para as aulas práticas.

O P3 5DoF simula cenários rurais e urbanos com o objetivo de ensinar direção defensiva por meio de habilidades de controle de risco no trânsito. O nome do simulador se dá porque se trata do protótipo 3 (P3) desenvolvido pela Fundação CERTI, e oferece 5 direções de movimento, chamados tecnicamente de “Graus de Liberdade” (Degrees of Freedom, ou DoF), isto é, permite feedbacks sinestésicos ao mover a motocicleta em dois sentidos: para frente e para trás, e para a direita e a esquerda.

O P3 5DoF apresenta-se como um produto de interface tangível aplicado para a educação para o trânsito. Sua interface consiste em um aparato físico que simula uma motocicleta, recebe comandos e emite feedbacks para seu usuário, de modo a promover a interação deste com um cenário de realidade virtual apresentado a partir de telas e caixas de som dispostas ao redor do usuário. Em termos estruturais, a parte física do simulador consistiu em um conjunto de TACs (ver Quadro 1) que permitia uma incorporação completa do usuário (ver Quadro 3).

A interatividade entre a parte física do simulador e virtual do cenário era a maior na escala, uma vez que a parte física era representada no cenário virtual (HORNECKER, 2010). O P3 5DoF, em termos de uso de metáforas (ver Quadro 5), faz uso de metáforas de nome e de verbo, pois a moto e suas ações fazem diferença no ambiente virtual. Já no quesito naturalidade de uso (LIU, 2011), objetiva-se a máxima, uma vez que o simulador tem por propósito reagir tal qual uma motocicleta real.

O simulador P3 5DoF não é um produto comercial, mas um artefato criado para testes com usuários afim de avaliar requisitos de interação destes com o sistema. Por meio do P3 5DoF o usuário interage com o contexto tangível (motocicleta) e o cenário de realidade virtual onde ocorre a simulação de um passeio de motocicleta em diversos cenários possíveis.

O usuário emite comandos a partir da estrutura física do simulador, que é uma moto Honda de 125 cilindradas adaptada para ser usada no P3 5DoF. Ao operar esses componentes físicos, a partir de toda sua corporalidade (por exemplo, inclinando o corpo para realizar curvas) o usuário interage com a realidade virtual.

A experiência de aprendizagem, portanto, integra elementos físicos e virtuais através de uma interface tangível, como mostra a imagem 16.

Imagem 16 - Esquema visual do simulador P3 5DoF



Fonte: Acervo do projeto.

Percebe-se na Imagem 16 a importância do design do ambiente de entorno do simulador, que conta com espaço para o instrutor operar o artefato e duas divisórias negras para isolamento visual.

A Imagem 17 apresenta uma sessão de testes em andamento, com um testador fazendo uso do P3 5DoF:

Imagem 17 - Testador operando o P3 5DoF no LabUP



Fonte: Acervo do projeto.

O simulador foi desenvolvido a partir de indicações internacionais oriundas de uma revisão técnica de produtos análogos realizada pela equipe da CERTI em 2013. O Quadro 16 apresenta as principais especificações de hardware e software do P3 5DoF:

### Quadro 16 - Especificações técnicas do P3 5DoF

3 TV LCD de 46 com ângulo de visão (FOV) horizontal de 90 graus  
 1 PC - CPU I7 - 16 GBYTES RAM  
 Placa de Vídeo NVIDIA GTX650  
 Matrox TripleHead  
 SO Windows 7  
 Software: Oktal Scanner Studio 1.4

Fonte: Acervo do projeto.

O simulador permite que o usuário emita comandos usando todo seu corpo, tal qual em uma moto. Em outras palavras, o artefato reproduz os pedais, guidão, alavancas, botões nos painéis, etc. Tais comandos corporais afetam a realidade virtual na qual o usuário está imerso através de estimulação audiovisual projetada em três telas e no ambiente. Por conta disso o P3 5DoF permite que o usuário experimente, sensorial e sinestesticamente, uma interação entre o ambiente físico e o virtual, funcionando como meio tangível para esse processo.

#### 4.1.3 Roteiro dos testes

Os testes de usabilidade foram organizados numa sequência que começava a partir da aprovação do usuário em participar da pesquisa, ao assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE (ver Apêndice A). O Termo foi elaborado mediante normas especializadas de pesquisa com seres humanos (CONEP, 2013). O teste começava como leitura, em voz alta do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Caso o participante concordasse com o Termo e o assinasse, os dados de seu perfil eram coletados. Não houve recusas em assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido<sup>43</sup>.

---

<sup>43</sup> Testes realizados com seres humanos demandam critérios éticos especiais que dizem respeito à integridade e ao respeito com os participantes da pesquisa. Com isso objetiva-se evitar abusos e danos (CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE, 2013). As exigências éticas para com os participantes da pesquisa envolvem itens como: “Consentimento Informado Individual; Informações Essenciais para os Possíveis Sujeitos da Pesquisa; Salvaguardas à confidencialidade; Direito dos sujeitos à compensação; etc.” (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAUDE, 1993). A pesquisa relatada neste texto passou pelo crivo do Comitê de Ética em Pesquisa da UDESC, pelo processo de código CAAE 32278414.7.0000.0118. A escolha de tal comitê se deu porque então a UFSC estava em greve.

A coleta de dados do participante da pesquisa foi realizada em termos de: sexo, telefone, e-mail, endereço, idade, escolaridade e nível de experiência com condução de motocicleta.

#### **4.1.4 Instrumentos de avaliação utilizados nos testes**

Durante os testes foi realizada uma observação do tipo sistemática, caracterizada por ser “planejada, estruturada, objetiva e registrada” (MARCONI; LAKATOS, 2009, p. 191). Os instrumentos de observação de Desempenho foram desenvolvidos a partir de material instrucional relacionado ao ensino de motocicleta, baseado em legislação (DENATRAN, 2010).

O Programa de Sessões de Ensino foi desenvolvido por duas pedagogas contratadas para uma consultoria no projeto sobre os aspectos instrucionais do simulador. As consultoras são especializadas em Pedagogia para o trânsito e desenvolveram um programa de ensino adaptado de materiais instrucionais de Centros de Formação de Condutores e ainda levando em conta os recursos disponibilizados pelo simulador em termos de cenários, desafios, etc.

Desenvolvido em 1 mês de interação com instrutores do CFC e uso do simulador, o Programa planejado prevê até 7 sessões de ensino, cada uma de 30 minutos, planejadas mediante uma série de objetivos de aprendizagem classificados tematicamente. Esses temas dizem respeito a competências elementares de condução de motocicleta. Por exemplo, “Habituação coma motocicleta” é o tema a ser aprendido na primeira sessão, que é decomposto em objetivos tais como: “Aprender comandos elementares; ligar a moto; botar a moto em movimento; trocar de marcha; controlar a velocidade; parar a moto” (ver Apêndice B – Programa de Objetivos de Ensino). Todas as sessões de testes foram gravadas em vídeo, e foram analisadas através de protocolos de mensuração de comportamentos descritos a seguir, gerando dados quantitativos para análise

O desempenho durante os testes foi classificado em 4 categorias formadoras do Plano de Ensino desenvolvido pelas pedagogas do projeto, a) executar comandos elementares da motocicleta; b) acionar o veículo; c) transitar nas vias; d) parar a motocicleta. Essas quatro categorias, juntas, possuem 19 indicadores. Para uma descrição detalhada dos 17 indicadores, ver o Anexo B – Indicadores de Desempenho.

Após a coleta dos dados dos 19 indicadores de desempenho dos participantes, tais dados foram relacionados com os dados dos perfis dos

mesmos. Analisando estatisticamente as relações entre perfil dos testadores e seus desempenhos, foram usados os seguintes procedimentos:

- a) Teste-T de Student<sup>44</sup> (antecedido pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, que verificou uma alta probabilidade de que as amostras possuíssem distribuição normal) para verificar se o sexo do testador afetava o desempenho;
- b) Coeficiente de Correlação de Pearson<sup>45</sup> para verificar a existência de alguma correlação entre idade e desempenho;
- c) Uma análise estatística de natureza descritiva para verificar: possíveis relações entre o nível de escolaridade, o nível de conhecimento de motocicletas e de carro se relacionam de alguma forma a variações no desempenho.

Com tal análise estatística buscou-se encontrar relações entre o perfil dos participantes (idade, sexo, nível de escolaridade, etc.), e seus desempenhos no simulador.

No término da última sessão de teste, foi realizada uma entrevista de encerramento, cuja temática foi a satisfação geral com a experiência. A entrevista foi do tipo semiestruturada, uma vez que partiu de uma pauta sobre satisfação, mas permitiu a criação de perguntas personalizadas. A pauta consistia nas seguintes perguntas: “Agora que os testes acabaram, como você avalia sua aprendizagem de condução de motocicletas? ”, “Você se sente mais seguro para as aulas práticas? Justifique”, “Conte como foram os testes para você, especialmente o que mais gostou e o que menos gostou”. Esta entrevista de encerramento também abriu possibilidade para questionar os usuários sobre aspectos qualitativos da experiência com o simulador.

## 4.2 PARTICIPANTES DA PESQUISA

Os testes de usabilidade foram realizados com 20 alunos de um Centro de Formação de Condutores em Florianópolis. Todos foram voluntários para os testes, após convites realizados nas salas de aula, o que representa uma amostragem do tipo não-aleatória e por conveniência (MARCONI; LAKATOS, 2009). Esses 20 participantes constituem-se uma amostra insuficiente da população de alunos de

---

<sup>44</sup> Teste estatístico usado para verificar se existe diferença entre duas amostras, levando em conta a população.

<sup>45</sup> Teste estatístico que mede o grau e a direção (se positiva ou negativa) da correlação entre duas variáveis métricas (em escala intervalar ou de razão).

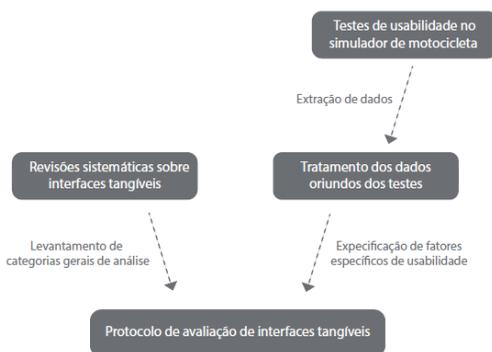
Centros de Formação de Condutores, estimada em dezenas de milhares (WASELFISSZ, 2013). Portanto, tal amostra não pode caracterizar uma pesquisa de significância quantitativa em termos de validação.

#### 4.3 APRESENTAÇÃO DOS COMPONENTES DO PROTOCOLO

Os resultados dos testes foram integrados aos resultados das revisões de literatura para a identificação de componentes do protocolo. Assim, a Imagem 18 mostra como foi realizada a identificação de componentes do protocolo de avaliação de interfaces tangíveis por meio de dois pilares de sustentação:

- a) do ponto de vista teórico, revisões sistemáticas sobre a natureza e avaliação de interfaces tangíveis; b) do ponto de vista prático, testes de usabilidade onde 20 participantes da pesquisa foram observando interagindo com um artefato com tal tipo de interface.

Imagem 18 - Procedimentos metodológicos empregados



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Destaca-se ainda que anteriormente aos testes de usabilidade também constaram como fontes de dados para a identificação de componentes do protocolo: a) Estudos preparatórios; b) Relatórios dos observadores.

Os componentes identificados nesta pesquisa para avaliação de interfaces tangíveis tiveram por origem, portanto, revisões de literatura e testes de usabilidade. As revisões de literatura, por um processo indutivo de raciocínio, permitiram a categorização da experiência de uso das

interfaces tangíveis. Categorização essa que expressa características amplas da experiência. Já os testes de usabilidade, por um processo fundamentalmente dedutivo de raciocínio, permitiram expandir em itens específicos as categorias identificadas anteriormente. Dessa forma o protocolo foi desenvolvido tanto com fundamentação teórica quanto por experiência prática, resultando em um recurso instrumental embasado e até certo ponto testado. Os resultados e discussões são apresentados no capítulo a seguir.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

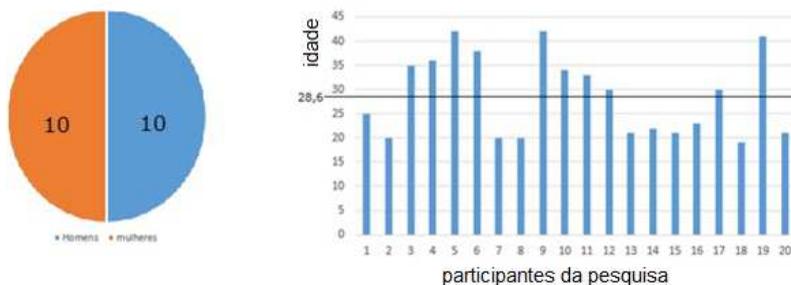
Neste capítulo são apresentados os principais resultados da pesquisa. Isto é, informações obtidas a partir da análise dos dados. Tais resultados também serão discutidos à luz da revisão teórica realizada. O capítulo inicia apresentando os resultados do perfil do público participante. Posteriormente traz os resultados do desempenho dos testes de usabilidade e desenvolve as discussões a partir de cruzamentos desses com os referenciais teóricos. O capítulo finaliza com a formulação dos componentes para um protocolo de avaliação de interfaces tangíveis.

### 5.1 PERFIL DOS PARTICIPANTES DOS TESTES

Ao todo 57 voluntários participaram dos testes. Contudo apenas 20 concluíram o programa desenvolvido pelas pedagogas do projeto.

A partir dos dados extraídos na entrevista de identificação de perfil, considerando a amostra de 20 alunos de autoescola<sup>46</sup>, chegou-se aos resultados mostrados na Imagem 19 (dados pertinentes a sexo à esquerda, e idade dos participantes da pesquisa à direita):

Imagem 19 - Distribuição por sexo e idade dos 20 participantes da pesquisa



Fonte: O autor, baseado nos testes de usabilidade.

Em termos de sexo, portanto, a amostra teve uma distribuição de 50% homens e 50% mulheres. A média de idade, representada no histograma pela linha horizontal preta, foi de 28,6 anos (com desvio-padrão de 8,3). Isto é, a amostra é relativamente jovem (abaixo dos 30

<sup>46</sup> Para ver o quadro completo de dados dos 20 testadores verificar o Apêndice B.

anos), o que corresponde à média da população de alunos da autoescola. (WASELFISZ, 2013).

A Imagem 20 apresenta o nível de escolaridade e o de experiência do aluno com condução de motocicletas.

Imagem 20 - Escolaridade e experiência com condução de motocicletas



Fonte: O autor, baseado nos testes de usabilidade.

Conforme a Imagem 20, a maioria dos participantes da pesquisa tinha ao menos o ensino médio (15 de um total de 20 pessoas). Sobre o nível de experiência com condução de motocicletas, dos 20 participantes da pesquisa 7 não possuíam qualquer experiência. Tais indivíduos tiveram que aprender no simulador desde os comandos mais elementares, como por exemplo a posição dos pedais, como segurar o guidão, etc. Um participante declarou ter uma experiência “muito baixa”, significando que ele sabia como ligar a motocicleta e botá-la em movimento. Quatro participantes afirmaram ter experiência “baixa”, indicando que haviam usado motocicleta poucas vezes, em situações de aprendizagem. Três afirmaram ter experiência “alta”, significando que sabiam conduzir motocicletas, estando na autoescola apenas pela habilitação. Cinco afirmaram ter experiência “média”, indicando que conduziam motocicleta, mas raramente, e apenas em vias conhecidas próximas às suas casas.

## 5.2 RESULTADO DOS TESTES DE USABILIDADE REALIZADOS

A seguir são apresentados os dados tratados e analisados dos testes, em termos de informações sobre o perfil dos testadores, o desempenho deles no simulador e seus relatos verbais coletados via entrevistas.

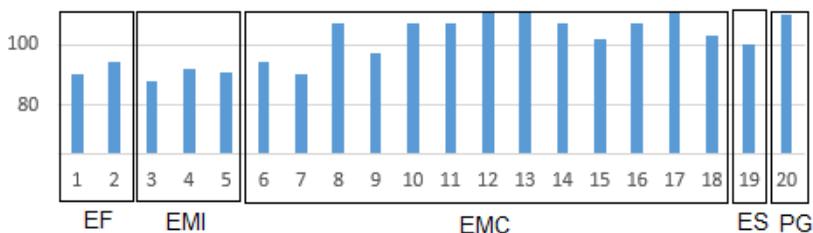
### 5.2.1 Desempenho nas tarefas relacionado com perfil dos participantes da pesquisa

O desempenho dos participantes da pesquisa foi medido pelos 17 indicadores estabelecidos pelas pedagogas do projeto e detalhados nos procedimentos metodológicos. A busca de uma possível relação entre sexo e desempenho, calculada pelo Teste-t de Student, gerou uma probabilidade de significância de 23,48% de falha. Tal valor indica que não houve uma diferença significativa ou decisiva entre o desempenho de homens e de mulheres.

A correlação de Pearson entre idade e desempenho resultou em uma probabilidade de significância de 16,8% (o que indica uma baixa correlação) e uma correlação negativa. Isto é, houve uma leve tendência de o desempenho diminuir à medida que aumenta a idade do participante da pesquisa. Porém a tendência é leve o bastante para ser desprezada (ao menos no intervalo estudado, isto é, entre 20 e 42 anos de idade).

Em relação à escolaridade, o desempenho apresenta um leve crescimento à medida que esta aumenta, conforme apresentado na Imagem 21:

Imagem 21 - Relação entre pontos de desempenho (na vertical) e distribuição de escolaridade (horizontal). Onde: EF (Ensino Fundamental), EMI (Ensino Médio Incompleto), EMC (Ensino Médio Completo), ES (Ensino Superior) e PG (Pós-graduação).



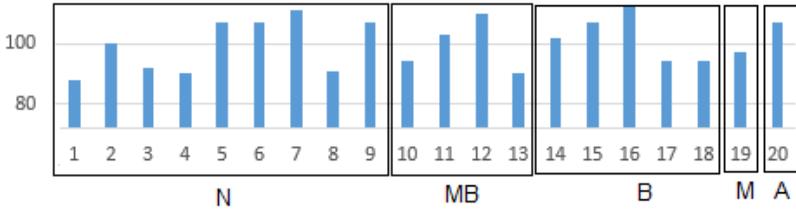
Fonte: Dados da pesquisa.

Conforme a Imagem 20, nota-se como os participantes que possuíam apenas o Ensino Fundamental (EF), e o Ensino Médio Incompleto (EMI) tiveram o desempenho mais baixo (a média foi de 91). Ao passo que os participantes com Ensino Médio Completo tiveram a média de desempenho 104,23). E a média dos que estavam no Ensino

Superior (ES) e na Pós-Graduação (PG), foi de 105.

A relação entre conhecimento prévio de condução de motocicletas e veículos é apresentada na Imagem 22:

Imagem 22 - Relação entre pontos de desempenho (na vertical) e distribuição de experiência com condução (na horizontal). Onde: N (Nenhuma), MB (Muito Baixa), B (Baixa), M (Média), A (Alta).



Fonte: Dados da pesquisa.

As pessoas que se declararam sem nenhuma experiência prévia (N) com motocicletas tiveram como média de desempenho 98,25. Aquelas com experiência muito baixa (MB), 103,5. As com experiência baixa (B), 101. A pessoa com experiência média obteve 97. E a com experiência alta, 107. Os dados não permitem uma inferência estatística, mas a princípio não apresentam uma expressiva relação entre experiência prévia com condução de motos e o desempenho no simulador.

Resumindo as relações entre perfil dos participantes da pesquisa e o desempenho dos mesmos:

- O sexo não parece interferir no desempenho do participante no simulador;
- A idade do participante parece afetar pouco;
- O nível de experiência prévia ao simulador não parece interferir;
- O único fator encontrado que parece influenciar no desempenho dos participantes é a escolaridade deles: observa-se que quanto maior a escolaridade maior o desempenho do participante.

Os padrões estatísticos apresentados nos gráficos 20 e 21 podem dizer respeito apenas àquele grupo limitado de participantes do estudo. Apenas a replicação da pesquisa numa amostra mais numerosa e bem selecionada proporcionaria inferências confiáveis.

### 5.2.2 Resultados das entrevistas sobre satisfação

Após a última sessão no simulador cada participante da pesquisa foi entrevistado para que suas percepções sobre a experiência fossem registradas. As entrevistas aconteciam, em sua maioria, na sala de reuniões do LabUP. Tinham em média 20 minutos de duração. A entrevista se baseava em uma pauta semiestruturada, isto é, de temas específicos (satisfação, aprendizagem, erros, etc.), mas sem perguntas fixas. Buscou-se extrair percepções espontâneas sobre a experiência realizada.

Imagem 23 - Entrevista na sala de reuniões do Labo



Fonte: Acervo do projeto.

Na imagem 23 vê-se, à esquerda, dois participantes da pesquisa. À direita, o entrevistador, assistente de pesquisa responsável por aquela sessão. Todas as entrevistas foram gravadas em vídeo, tendo o conteúdo sido transcrito para posterior análise.

Dentre as declarações dos testadores destacam-se, segundo o acervo em áudio do projeto:

- *O simulador é realista. Me senti até tenso.* (Testador 8, homem, 20 anos).
- *É bom para perder o medo antes de ir para as aulas práticas.* (Testador 14, mulher, 22 anos).
- *Tem algumas falhas, como um atraso de resposta. Mas de todo é muito bom para aprender. Ainda mais eu que não sabia nada de moto.* (Testador 11, mulher, 33 anos).

- *Agora fiquei mais confiante. Só parece que ele não prepara para o trânsito pesado, mas só para aprender como colocar a moto em movimento.* (Testador 1, homem, 25 anos).

A análise do conteúdo gravado em vídeo revelou quatro aspectos positivos recorrentes nas entrevistas, que mereceram especial atenção, apresentados no Quadro 17:

Quadro 17 - Temas positivos e recorrentes nas entrevistas

<b>Tema</b>	<b>Quantos dos 20 participantes da pesquisa falaram a respeito</b>
Aprovação da experiência no simulador.	20
Percepção de que o simulador é bom para iniciantes, por enfatizar o ensino dos comandos fundamentais da motocicleta.	16
Percepção dos ganhos emocionais em termos de aprendizagem. Isto é, o simulador promove autoconfiança para as aulas práticas.	15
O som 3D ajudou.	14

Fonte: Dados da pesquisa.

Ao analisar os dados expressos no Quadro 17, percebe-se como os participantes da pesquisa concordaram sobre a utilidade do instrumento para autoescolas. Os participantes da pesquisa comentaram ainda como o simulador poderia ser útil especificamente para promover a autoconfiança dos novatos e estreadores em condução de motocicleta, numa referência ao fato bem conhecido de que boa parte dos alunos de condução de motocicletas sente forte nervosismo nas aulas práticas.

Destaca-se o fato de que o realismo sonoro foi reconhecido por 14 participantes. Isto é, o fato do simulador proporcionar som 3D (distribuídos em caixas dispostas ao redor do participante da pesquisa), o que conferia ao indivíduo uma maior imersão na experiência.

Algumas recomendações foram feitas, com menor frequência, por parte dos participantes. Elas diziam respeito, basicamente, ao realismo sensorial motor do simulador. Isto é, o quanto ele deveria imitar uma motocicleta real. Tais pedidos dos participantes da pesquisa giravam em torno do tamanho do aparelho, ao formato do chassi e ao ângulo de visão entre as telas.

Quanto aos temas considerados negativos, isto é, falhas identificadas pelos participantes da pesquisa, foram destacados 5,

conforme o Quadro 18<sup>47</sup> a seguir:

Quadro 18 - Temas negativos e recorrentes nas entrevistas

<b>Tema</b>	<b>Quantos dos 20 participantes da pesquisa falaram a respeito</b>
Nas curvas há uma perda de realismo: não funciona usar o corpo para direcionar a motocicleta.	9
A posição do retrovisor (virtual, nas telas), não parece de acordo com a posição da motocicleta (física, na qual o participante da pesquisa está montado).	6
Atraso de menos de 1 segundo, mas perceptível, entre ligar a moto e o som do motor, e também entre acelerar e o som do motor.	4
O som da motocicleta virtual não parecia realista. Isto é, não parecia um som de motocicleta de 150 cilindradas.	3
O participante da pesquisa sentiu um intenso mal-estar, ficando tonto e com náuseas, em decorrência da experiência sensório-motora na simulação.	1

Fonte: Dados da pesquisa.

As falhas mais comentadas pelos participantes da pesquisa giraram em torno de lacunas de realismo sensório-motor em termos de feedback a comandos cinestésicos (9 comentários); à sincronia de posições entre entes reais e virtuais (6 comentários); e ao atraso de feedback motor (4 comentários).

Apesar do som 3D ter sido elogiado, os efeitos sonoros do veículo simulador foram tidos como pouco realistas por 3 participantes. Esses 3 tinham bastante conhecimento prévio de condução de motocicletas e notaram como o som emitido não correspondia ao modelo que aparecia na simulação.

Os testes do simulador parecem indicar um quadro geral de aprovação do mesmo, e falhas reduzidas e toleráveis. De um modo geral o realismo cinestético e audiovisual foi destacado com determinante de uma boa experiência, o que implica na necessidade de promover tais

<sup>47</sup> Para verificar os dados das entrevistas na íntegra, ver o Apêndice E.

características.

As entrevistas proporcionaram ainda observar como o controle do ambiente de entorno do simulador apresenta-se como um determinante fundamental para a experiência. Não apenas o simulador em si demanda atenção, mas a sala em que ele se situa, em termos de tamanho, iluminação, isolamento visual e acústico, fluxo de pessoas, localização na autoescola, etc.

### 5.3 IDENTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DO PROTOCOLO

As principais fontes consideradas para a constituição dos componentes do protocolo foram duas. A primeira consistiu na revisão de literatura sobre interfaces tangíveis. Tal processo permitiu estabelecer as dimensões fundamentais de avaliação das mesmas. A segunda fonte foi extraída dos testes de usabilidade realizados, o que permitiu detalhar as dimensões de avaliação previamente estabelecidas pela revisão de literatura. Tal detalhamento consistiu em um conjunto de fatores específicos para cada uma das dimensões de avaliação.

#### 5.3.1 Dimensões de avaliação oriundas da literatura

As quatro dimensões fundamentais formadoras de toda interface tangível são: o usuário que emite comandos; o artefato tangível que recebe ações do usuário; um cenário intangível em que as ações do usuário geram consequências e as relações existentes entre eventos tangíveis e intangíveis.

Essas quatro dimensões constituem o núcleo do conceito de interface tangível. Tal núcleo é constantemente referenciado nas obras dos pesquisadores dedicados a tal tipo de interface, conforme aponta o Quadro 19:

Quadro 19 - Dimensões de avaliação e suas origens

<b>Dimensão de análise</b>	<b>Autores que falam dela</b>
Usuário	Jetter et al (2013); Dubois e Charfi (2013)
Artefato tangível	Shaer (2004); Bakker, Antle e Hoven (2012); Dubois e Charfi (2013); Ullmer (2002); Falcão (2007)
Cenário intangível	Dubois e Charfi (2013)
Relação tangível-intangível	Wensveen, Djadiningrat e Ovebeeke (2004); Dubois e Charfi (2013); Ishii e Ullmer (1997); Liu (2011); Hornecker (2010)

Fonte: O autor, baseado na revisão de literatura.

Outras duas dimensões de análise foram evidenciadas pelos testes de usabilidade: a) A necessidade de levar em conta o instrutor que media o processo de interação (que também pode ser o operador do simulador); b) O papel do ambiente físico e social em que a experiência está ocorrendo. Tais dimensões também foram identificadas na revisão de literatura, porém não sendo tão comumente referenciadas. Em outras palavras, não constituíam parte do núcleo da definição de interface tangível, dizendo respeito a características secundárias ou mesmo opcionais, que não ocorriam em todos os casos de interfaces tangíveis. O Quadro 20 apresenta as origens dessas duas dimensões acessórias:

Quadro 20 - Padrões de atributos de interfaces tangíveis

Dimensão	Referências
Instrutor	Jetter et al (2013)
Ambiente	Dubois e Charfi (2013); Jetter et al (2013). Manual de ergonomia física.

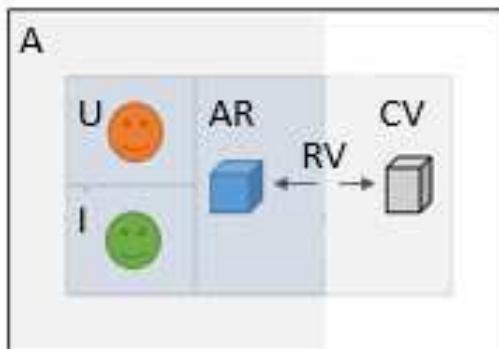
Fonte: O autor, baseado na revisão de literatura.

Juntando as 4 categorias fundamentais, expressas no Quadro 19, com as 2 categorias expressas no Quadro 20, obtêm-se as seguintes dimensões de análise para uma avaliação do uso de uma interface tangível:

- a) **U - Usuário** (Repertório; peculiaridades corporais; condições especiais a se levar em conta, mapeamento de atividades);
- b) **I - Instrutor** (Pessoa que tem o papel de mediar o processo de interação do usuário e o artefato);
- c) **AT - Artefato tangível** (Objeto interativo que faz parte da experiência sensorio-motora do usuário e/ou do instrutor, mapeamento de tarefas);
- d) **A - Ambiente** (Variáveis contextuais que afetam a interação de pessoas com o artefato);
- e) **CV - Cenário Virtual** (Realidade virtual que integra a interação, sendo parte digital dela);
- f) **VR - Relação Virtual-Real** (Aspectos que integram a experiência das pessoas com o sistema, fazendo a comunicação entre o artefato tangível e o cenário intangível a ele associado).

A Imagem 24 apresenta como essas dimensões se relacionam:

Imagem 24 - Relações entre dimensões de interfaces tangíveis



Fonte: O autor, baseado na revisão de literatura.

A imagem 24 pode ser explicada da seguinte maneira: o **Ambiente (A)** é o entorno físico no qual o **Usuário (U)** e um eventual **Instrutor (I)** e o **Artefato Real (AR)** se encontram localizados. Por meio do artefato tangível as pessoas envolvidas podem estabelecer uma interação com um **Cenário Virtual (CV)**, isto é, uma realidade virtual não diretamente afetada pelo ambiente físico de entorno, mas apenas através do artefato real. Tal interação funciona a partir de um conjunto de **Relações entre o Real e o Virtual (RV)**.

Cada uma dessas seis dimensões apresentadas na Imagem 24 é formada por diferentes variáveis ou grupos de variáveis, que serão chamadas aqui de Fatores. Os Fatores foram observados nos testes de usabilidade e são apresentados na subseção seguinte.

### 5.3.2 Fatores oriundos dos testes realizados

Por “fatores” entende-se aqui itens específicos que detalham as Dimensões de Avaliação. Tais fatores foram identificados por meio e observação sistemática e entrevistas nos testes de usabilidade com os 20 alunos de autoescola participantes da pesquisa.

No que diz respeito aos fatores relativos à Dimensão U, “Usuário”, por exemplo, foi identificada a necessidade de saber o grau de proficiência do mesmo em termos de condução veicular; se possui alguma restrição sensorial e/ou motora para a experiência; se tem um histórico médico que o torna mais propício a sentir mal-estar ao interagir com o simulador.

Já na Dimensão A, “Ambiente”, foi verificado nos testes a necessidade de avaliar a ergonomia física e organizacional do ambiente físico em que o simulador se encontra. Os principais Fatores relativos a esse aspecto que foram observados nos testes constam no Quadro 21:

Quadro 21 - Fatores formadores do ambiente físico de uso

Fatores do ambiente	Demandas
Conforto térmico	Demanda de qualidade térmica do ambiente, em relação a equipamentos, aberturas, aparelhos de ar condicionado, etc.
Iluminação	Luz moderada para destacar a simulação visual do sistema de projeção.
Espaço	Demanda de um ambiente de ao menos 3x4 metros para acomodar 1 instrutor, 1 aluno e eventuais observadores.
Som e ruído	Demanda um ambiente com pouco som e isolado o bastante para o simulador não se tornar uma fonte desagradável de ruído na autoescola em que for instalado.

Fonte: O autor, baseado nos testes.

Em termos de caracterização do ambiente, destaca-se a necessidade da sala onde será alojada o simulador estar estrategicamente posicionada na planta da autoescola. Tanto para facilitar o fluxo de pessoal, quanto para isolamento acústico e mesmo exposição visual. A exposição visual se justifica pelo fato do simulador ter um efeito publicitário atrativo para clientes e, portanto, ser do interesse da autoescola promovê-lo.

Os testes de usabilidade demonstraram a importância de pensar o simulador levando em conta que o aluno/usuário não estará só. Ao invés disso, ele estará em constante interação com um instrutor. A comunicação entre eles deve ser planejada visando o design do simulador. Por exemplo, deve haver espaço para os dois se sentirem confortáveis no ambiente, e devidamente posicionados (O instrutor ao lado ou atrás do aluno enquanto este encontra-se montado no simulador).

Além disso observou-se que o instrutor precisa ter conhecimento avançado não apenas de condução de motos, mas da mecânica do veículo, da legislação de trânsito. Tais saberes são próprios de qualquer instrutor bem capacitado. Para a operação do simulador, contudo, torna-se obrigatório que o instrutor possua um conhecimento básico do mesmo: que saiba ligar o simulador, configurá-lo, operar sua interface gráfica, desligá-lo, identificar e sanar problemas técnicos menores, etc.

Foi observada a necessidade de um descanso periódico ao instrutor. Ao menos 20 minutos a cada, aproximadamente, 2 horas de aulas no simulador.

No que diz respeito ao simulador enquanto produto físico, foi constatado nos testes de usabilidade que o mesmo precisa de realismo físico. Isto é, a experiência sensorio-motora de utilizá-lo deve ter alto grau de correspondência com a de usar uma motocicleta real. Isso implica que seu tamanho, proporções, formato, posição dos pedais e guidão, etc., precisam ser parecidos com o de uma moto, para que o usuário emita comportamentos sensorio-motores semelhantes ao de usar uma motocicleta.

Os testes de usabilidade revelaram pouca informação sobre o cenário intangível, virtual, da simulação. Justifica-se isso pelo fato de que tais testes focaram a interface tangível do simulador, e não sua realidade virtual expressa na forma de interfaces gráficas.

O principal aspecto, levando pelos instrutores que participaram dos testes, foi que o cenário virtual precisa ser fiel à legislação nacional de trânsito. Por exemplo, com a sinalização expressa corretamente. Destacou-se também a necessidade de projetar cenários ricos em problemas de trânsito para treino do aluno, e com uma variedade satisfatória dos mesmos (diferentes tipos de vias, cenários urbanos e rurais, variações de condições climática, dia e noite, etc.).

Por fim, os testes de usabilidade permitiram verificar a importância essencial de manter uma boa relação de correspondência entre eventos físicos e virtuais. Isso diz respeito à Dimensão chamada “relação entre Tangível e Intangível”. O modelo de 6 fatores de correspondência de Wensveen, Djadiningrat e Ovebeeke (2004), mostrou-se como a melhor referência para descrever esse fenômeno.

#### 5.4 COMPONENTES DO PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DE INTERFACES TANGÍVEIS

Os componentes identificados para o protocolo de avaliação de usabilidade de interfaces tangíveis são constituídos pelas seis Dimensões (subseção 5.3.1) e seus respectivos Fatores (subseção 5.3.2).

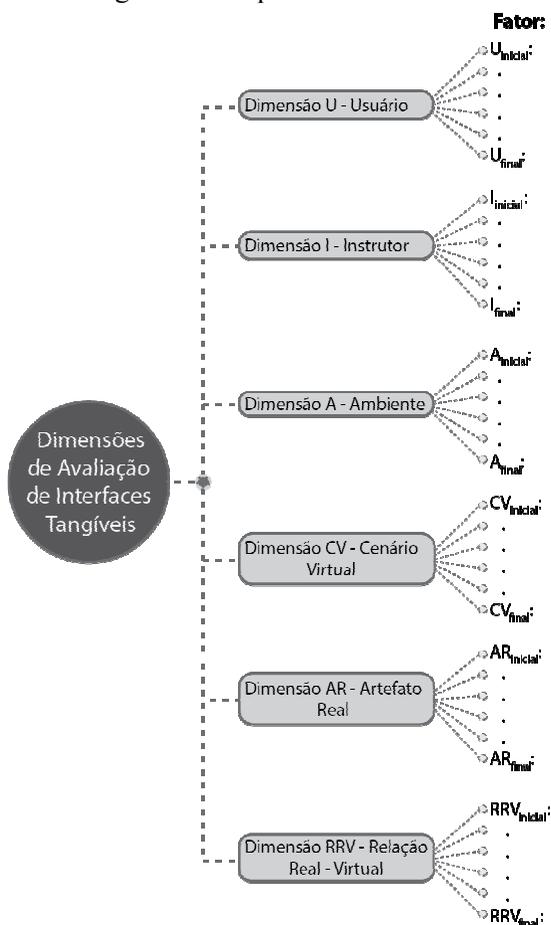
As seis dimensões possuem um caráter modular. Isso que implica que nem todos os itens precisam ser empregados em todas as ocasiões e que a avaliação não requer segui-los em uma determinada ordem. Dessa forma, a escolha de uso das Dimensões poderá se ajustar a cada caso particular. Assim, as seis Dimensões apresentam-se como módulos opcionais, podendo cada uma ser empregada ou não em uma análise. A

medida que um módulo de avaliação for empregado, todos os seus Fatores constituintes deverão ser empregados.

Em um caso seria possível fazer uso apenas da Dimensão “Cenário Virtual” e do “Artefato Real”, mas não das outras. Em seguida, outro caso poderia demandar todas as Dimensões. E um terceiro caso poderia demandar todas, mas empregadas em outra sequência cronológica.

A Imagem 25 apresenta um esquema de organização dos componentes do protocolo:

Imagem 25 - Esquema das Dimensões e Fatores.



Na Imagem 25 a Dimensão Usuário é representada pela letra “U”. Dela irradia-se uma série de Fatores representados por “U inicial” até “U final”. Os Fatores elencados para a Dimensão Usuário foram:

- U1 - Apresenta efeitos fisiológicos indesejáveis, tais como propensão a sentir um mal-estar fisiológico em simuladores e outros problemas sensorio-motores;**
- U2 - Possui repertório de comportamentos suficiente para lidar com as tarefas que lhes foram dadas, sem novas aprendizagens;**
- U3 - Possui percepção sensorial e mobilidade adequadas para as tarefas que o artefato exige;**
- U4 - Está apto a conversar com o instrutor;**
- U5 - Pode mover com liberdade pelo ambiente, sem restrições, caso precise;**
- U6 - Sem o artefato, está apto a se comunicar adequadamente com o instrutor;**
- U7 - Sem o artefato, está apto a se comunicar com outras pessoas além do instrutor.**

Os Fatores para a Dimensão Instrutor foram:

- I1 - Encontra-se apto a se comunicar com o usuário;**
- I2 - Está descansado, não tendo feito muitas sessões contínuas;**
- I3 - Tem competência e habilitação em direção veicular;**
- I4 - Tem experiência com simuladores.**

Os Fatores para a Dimensão Ambiente:

- A1 - O espaço tem dimensões suficientes (altura, largura e comprimento);**
- A2 - O espaço é dividido de tal forma que a logística da interação é facilitada;**
- A3 - Medidas foram tomadas para evitar acidentes com o uso do sistema (P.e., com extintor de incêndio próximo);**
- A4 - Há isolamento espacial;**
- A5 - Há isolamento acústico;**
- A6 - Há isolamento visual;**

- A7 - O ambiente onde ocorre a interação está inserido num contexto espacial que facilita o fluxo de pessoal, informação, materiais, etc.;**
- A8 - A disposição de objetos e móveis na sala facilita o uso do simulador;**
- A9 - O ambiente é seguro contra roubos;**
- A10 - O ambiente conta com conforto térmico;**
- A11 - Se a iluminação for apagada a luz das telas do simulador se destacam para o usuário.**

Os Fatores da Dimensão Cenário Virtual:

- CV1 - Interface gráfica de boa usabilidade;**
- CV2 - Funcionamento do equipamento em dia;**
- CV3 - Imersão eficaz no cenário;**
- CV4 - As tarefas demandadas têm valor instrucional;**
- CV5 - Representação de objetos físicos no espaço digital;**
- CV6 - O cenário virtual corresponde com realismo às regras e funcionamento geral do ambiente real para o qual o simulador capacita;**
- CV7 - Incorporação do usuário na realidade virtual é um nível completo;**
- CV8 - O cenário virtual permite interação com o espaço real;**
- CV9 - O sistema permite a manipulação de objetos físicos.**

Os Fatores da Dimensão Artefato Real”:

- AR1 - Os componentes possuem uma ergonomia física apropriada para o manuseio;**
- AR2 - O artefato fisicamente se parece com o produto ou sistema que ele representa;**
- AR3 - O equipamento pode ser ligado e operado;**
- AR4 - Escolha do mínimo de interação (visão, tato, movimento, etc.);**
- AR5 - O equipamento dá suporte às tarefas do usuário.**

Os Fatores da Dimensão Relação Real-Virtual:

- RV1 - Eventos reais e virtuais ocorrem com precisão no tempo quando necessário, o que colabora com o feedback para o usuário;**

- RV2 - Entes e eventos virtuais e reais estão bem localizados, o que facilita a integração entre eles;**
- RV3 - Movimentos no cenário virtual correspondem a movimentos no ambiente real em termos de direção e sentido;**
- RV4 - Objetos e eventos que ocorrem no ambiente real e no cenário virtual coincidem em modalidade. Isto é, aparentam ser da mesma natureza. Ex.: Ao apertar um botão real de buzina o som emitido no simulado parece ser de buzina.**

## 5.5 DISCUSSÃO SOBRE OS COMPONENTES DO PROTOCOLO

Os componentes para o protocolo foram identificados a partir da teoria revisada (de onde surgiram suas seis Dimensões gerais), e dos testes realizados (de onde vieram os Fatores específicos que detalham as seis Dimensões gerais). Sem a considerável revisão de literatura, seguida de um processo indutivo de raciocínio sobre os saberes encontrados, as Dimensões de avaliação do protocolo não teriam sido estabelecidas. Tais Dimensões foram o esqueleto que, com os testes de usabilidade, foi preenchido com tecidos de modo a se tornar um organismo estruturado.

A abordagem da Cognição Corporificada desempenhou importante papel na identificação de Dimensões e Fatores. Pensar a cognição enquanto um fenômeno fundamentalmente sensório-motor contribuiu, por exemplo, para perceber o papel do ambiente físico (Dimensão Ambiente Real). Da mesma forma o aspecto da mediação social da cognição não foi esquecido, sendo representado pela Dimensão Instrutor. A Cognição Corporificada também contribuiu para analisar a experiência sensorial, motora, emocional e intelectual dos testadores durante as entrevistas. Se apenas aspectos intelectuais da aprendizagem tivessem sido focados o resultado teria deixado escapar diversos aspectos cognitivos do usuário no simulador.

Por conta do foco da pesquisa em interfaces tangíveis relacionadas a simuladores observou-se uma limitação de protocolos desenvolvidos a partir dos componentes identificados. Tal limitação diz respeito ao fato de que em aplicações envolvendo simulação, as interfaces tangíveis costumam ser de um tipo que promove interações em ambientes de imersão. Não costumam envolver, por exemplo, interações vestíveis ou outros tipos de interfaces tangíveis. Em outras palavras, os componentes identificados para um protocolo de avaliação

apresentam-se focados e, portanto, restritos a determinados tipos de interfaces tangíveis: não contempla todo e qualquer tipo existente ou que possa ainda a ser inventado.

Dadas as limitações de recursos da pesquisa realizada, optou-se pela versão atual dos componentes em 6 Dimensões e seus Fatores apresentados anteriormente. Tal versão, contudo, não deve ser vista como um instrumento acabado, muito menos definitivo.

A identificação de componentes do protocolo na presente pesquisa deve ser vista como um estudo preliminar para orientação básica dos pesquisadores e designers que encarem o problema de avaliar e/ou projetar interfaces tangíveis. Protocolos desenvolvidos a partir dos componentes identificados nesta pesquisa podem ser adaptados, acrescidos, diminuídos, etc., mediante novos achados teóricos e práticos.

Como principais limitações dos componentes identificados, destaca-se três: a) A insuficiente validação estatística via testes; b) Demanda de contínua revisão teórica; c) A restrição a um determinado tipo de interface tangível ligado a simuladores. Destaca-se o fato de que a amostra de 20 participantes não permite generalizar conclusões para a totalidade dos usuários possíveis.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Design de Interação, enquanto disciplina dedicada ao projeto e avaliação de interfaces entre humanos e sistemas, precisa se atualizar continuamente em termos de inovações tecnológicas. Indo além das interfaces gráficas, tal disciplina agora se depara com as interfaces tangíveis e outros tipos de interações corporificadas que extrapolam os limites das interfaces gráficas.

A presente pesquisa explorou a problemática do processo de avaliação de interfaces tangíveis, por meio de identificação de componentes para um protocolo com o propósito de orientar tal prática. Teve por objetivos:

- a) sintetizar as indicações presentes na literatura sobre avaliação de Interfaces Tangíveis, de modo a sistematizar critérios gerais;
- b) sistematizar os resultados dos testes de usabilidade realizados a partir de um simulador de motocicleta e integrar esses dados com as indicações da literatura para identificar componentes de um protocolo de avaliação de Interfaces Tangíveis.

A realização de tais objetivos contribuiu para a identificação de componentes para um protocolo de avaliação de usabilidade de interfaces tangíveis. Cumpre destacar o papel complementar da teoria (objetivo a) e da prática (objetivo b) para a identificação de tais componentes.

A respeito do método adotado, destaca-se como as revisões sistemáticas de publicações sobre interfaces tangíveis permitiram uma visão abrangente do campo de estudos das mesmas. Já os testes de usabilidade proporcionaram observações de fenômenos sociais in loco que dificilmente teriam sido estudados como parte da teoria revisada.

Como possíveis falhas ou pontos fracos os procedimentos adotados, constam o caráter indutivo da identificação de componentes para o protocolo, e sua consequente carente de validação quantitativa com uma amostra considerável de participantes da pesquisa.

### 6.1 SOBRE OS COMPONENTES IDENTIFICADOS

Destaca-se o caráter modular e flexível dos componentes identificados, o que tornaria os protocolos desenvolvidos a partir deles mais aptos para adaptações e testes. Um protocolo possivelmente não daria conta de todos os casos possíveis de interfaces tangíveis, talvez

sendo mais eficaz para aquelas que se assemelham ao uso educacional de um ambiente imersivo, tal como um simulador em uma autoescola.

## 6.2 CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS E METODOLÓGICAS

A respeito dos resultados, evidenciou-se, do ponto de vista teórico, a importância do estudo da Cognição Corporificada para designers de interação. Tal abordagem teórica apresenta-se ainda pouco conhecida e diz respeito tanto a interfaces tangíveis como outras inovações em termos de interação (Realidade Aumentada, por exemplo). Interfaces tangíveis formam apenas a ponta do iceberg de um pacote de inovações tecnológicas. Elas sempre vêm ligadas a outras formas de interação, tais como Realidade Aumentada e Computação Ubíqua. Estudar interfaces tangíveis leva a todo um novo campo para o Design de Interação relacionado a tornar interativos objetos e ambientes físicos.

Portanto, o Design de Interação vai muito além de interfaces gráficas para uso web, e o caminho para extrapolar esses limites pode começar com uma formação em estudos de Cognição Corporificada.

## 6.3 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Destaca-se que se o processo de identificação de componentes para o protocolo contasse com uma revisão maior ou mais atual de literatura, talvez novas Dimensões e Fatores fossem identificados. Tais itens poderiam dizer respeito a tipos específicos de interfaces tangíveis, como as vestíveis. Analogamente, se mais testes de usabilidade tivessem sido realizados em outras condições e com uma amostra mais rica e volumosa de participantes, possivelmente mais Fatores teriam sido identificados para o protocolo de avaliação.

Os resultados permitiram indicar possíveis caminhos de pesquisas futuras, em maior escala amostral. O atual conjunto de componentes também pode ser alvo de melhorias com novas pesquisas envolvendo uma amostra grande o suficiente para sua validação. Diante disso, constam como sugestões para estudos futuros:

- a) Investigações sobre Design de Interação além das interfaces gráficas e também das tangíveis, como as interações proporcionadas por Realidade Aumentada, Computação Ubíqua e outras inovações tecnológicas;
- b) Uma validação de protocolos desenvolvidos a partir da presente pesquisa. Para tal seria demandada uma série de testes validar algum artefato de interface tangível em larga

- escala;
- c) Atualizações sobre novos tipos e atributos de interfaces tangíveis;
  - d) Aplicações de interfaces tangíveis para educação infantil e na área de saúde.



## REFERÊNCIAS

ALBERT, B.; TULLIS, T. **Measuring the user experience**. Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics. 4. ed. Burlington: Elsevier, 2008. 123 p.

ALMEIDA, Marta. **Interfaces tangíveis e interação física**. 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Design, Design, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 9126-1:2003**: Engenharia de software: qualidade de produto: parte 1: modelo de qualidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BALDWIN, Timothy; FORD, Jason. Transfer of Training: a review and direction for the future research. **Personnel Psychology**, Los Angeles, v. 2, n. 41, p.121-142, jun. 2006.

BARVA, Maria; LOPES, Nuno. Introdução à programação: (Re) construção de espaços educacionais em realidade aumentada. **Revista do Instituto Politécnico de Santarém**, Santarém, v. 5, n. 40, p.45-61, set. 2013.

BARBOSA, Paulo César. **Interfaces tangíveis** – representação física e controle digital nas artes interativas. 2010. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Computação, Uniara, Belo Horizonte, 2010.

BAKKER, Saskia; ANTLE, Anthony; HOVEN, Edmund. Embodied metaphors in tangible interaction design. **Journal of Personal and Ubiquitous Computing**. Londres, p. 433-449. abr. 2012.

BAUM, Willian. **Compreender o behaviorismo**: Ciência, Comportamento e Cultura. 3. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1999. 231 p.

BEIARD, Jason. **Princípios do design maravilhoso**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2008. 143 p.

BONSIEPE, Gui. **Design**: Do material ao digital. Florianópolis: Edufsc, 1997. 98 p.

BRADE, Mary. Exploring natural interaction: Us ing real-world materials to inspire interaction design. In: CHI, 12., 2013, Paris. **Proceedings...** Paris: Chi, 2013. p. 54 - 61.

BRAGA, M. C. G. **Diretrizes para o design de mídia aumentada.** 2012. 241 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Conhecimento, Engenharia do Conhecimento, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

CARDOSO, Gabriel Cordeiro. **Avaliação de experiência do usuário durante o desenvolvimento de um aplicativo social móvel.** 2014. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós em Design, Design, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em:  
<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/107047/319583.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 24 out. 2015.

CELENTANO, A., DUBOIS, E. **Metaphors, analogies, symbols: in search of naturalness in tangible user interfaces.** 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENTE HUMAN COMPUTER INTERACTION, IHCI, **Proceedings...** 2014. p.100.

CELENTANO, Augusto; DUBOIS, Emmanuel. Metaphor modelling for tangible interfaces evaluation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED VISUAL INTERFACES, 2., 2012, Londres. **Proceedings...** . Londres: Hci, 2012. p. 78 - 81. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1145/2254556.2254573>>. Acesso em: 5 abr. 2015.

CHEMERO, Anthony. **Radical embodied cognitive science.** 2. ed. Massachussets: Mit Press, 2008. 125 p.

CHIAVENATO, Idalberto. **Introdução à teoria geral da administração.** 8. ed. São Paulo: Campus, 2005. 212 p.

COLUSSO, Lucas. **Metáforas conceituais para design de hipermídia.** 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Pós Graduação em Design, UFSC, Florianópolis, 2014.

CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE. **Norma Operacional 01/20:** Pesquisa com seres humanos. Brasília: Cns, 2013. 82 p. Disponível em: <[http://conselho.saude.gov.br/web\\_comissoes/conep/aquivos/CNS%20%20Norma%20Operacional%200001%20-%20conep%20finalizada%2030-09.pdf](http://conselho.saude.gov.br/web_comissoes/conep/aquivos/CNS%20%20Norma%20Operacional%200001%20-%20conep%20finalizada%2030-09.pdf)>. Acesso em: 8 jul. 2014.

CYBIS, Walter. **Ergonomia e usabilidade:** conhecimentos, métodos e aplicações. 3. ed. São Paulo: Novatec, 2007. 165 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Resolução nº 358.** Brasília: Detran, 2010. Disponível em: <[http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO\\_CON\\_TRAN\\_358\\_10\\_RET.pdf](http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO_CON_TRAN_358_10_RET.pdf)>. Acesso em: 8 jul. 2014.

DEVI, Kh. Rekha Devi, A.M Sen., K. Hemachandran 3. A working Framework for the User - Centered Design Approach and a Survey of the available Methods. **International Journal of Scientific and Research Publications**, v. 2, Issue 4, April 2012 1. ISSN 2250 - 3153.

DOURISH, Paul. **Where the action is:** the foundations of embodied interaction. 2. ed. Cambridge: Mit Press, 2001. 143 p.

DUBOIS, E., CHARFI, S. **Usability recommendations for mixed interactive systems:** extraction and integration in a design process. Dans: Human factors in augmented reality environments. T Huang, L Alem, M Livingston (Eds.), Springer USA, 8, p. 181-199, Vol. X, 1, 2013.

DUBOIS, Emanuel et al. An MDE-based framework to support the development of mixed interactive systems. **Science Of Computer Programming**. Toulouse, p. 199-221. out. 2014.

EDGE, D. **Tangible user interfaces for peripheral interaction.** Dissertação em Ciências da Computação. Computer Laboratory. 237 p. Universidade de Cambridge, 2008., p.50.

EINSTEIN, Albert. O problema da indução na física. **Scientia Studia**, São Paulo, v. 3, n. 4, p.65-71, abr. 2005.

FALCÃO, Tamires. **Design de interfaces tangíveis para aprendizagem de conceitos matemáticos no ensino fundamental**. 2007. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós em Design, Ufpe, Recife, 2007.

GIBSON, James J.. **The ecological approach to visual perception**. 2. ed. Boston: Houghton Mifflin, 1979. 93 p.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 149 p.

GREENHALGH, T.; TAYLOR, R. How to read a paper: papers that go beyond numbers. **British Medical Journal**. Londres, p. 740-745. abr. 1997.

HANCOCK, Peter et al. **Human factors in simulation training**. Los Angeles: Crc Press, 2009.

HORNECKER, E. **Tangible interfaces in 2010**. Disponível em: <[http://www.interactiondesign.org/encyclopedia/tangible\\_interaction.html](http://www.interactiondesign.org/encyclopedia/tangible_interaction.html)>. Acesso em: 4 maio 2014.

HUMMELS, C.; VAN DIJK, J.. Seven Principles to Design for Embodied Sensemaking. In: TEI 2015, 8., 2015, Stanford. **Proceedings...** . Stanford: Tei, 2015. p. 345 - 367.

ISHII, Hiroshi; ULLMER, Brygg. Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. In: CHI, 3., 1997, Massachussets. **Proceedings...** Massachussets: Acm, 1998. p. 56 - 64.

ISO/IEC 25010.) ISO/IEC. **System and software engineering - System and software quality requirements and evaluation (SQuaRE)**. 1 mar. 2011.

ISO 9241-11 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs). Part 11: Guidance on usability 1998.

JACOB, R.j.k. et al. Realitybased interaction: a framework for post-WIMP interfaces. In: CHI '08, 12., 2008, Orlando. **Proceedings...** Orlando: Cm Press, 2008. p. 201 - 210.

JAPIASSU, Hilton; MARCONDES, Danilo. **Dicionário básico de filosofia**. 3. ed. São Paulo: Jorge Zahar Editor, 2001. 212 p.

JETTER, Hans et al. Blended Interaction: Envisioning Future Collaborative Interactive Spaces. In: CHI 2013, 12., 2013, Paris. **Extended Abstracts**. Paris: Chi, 2013. p. 123 - 143.

KIM, M.; MAHER, M. The impact of tangible user interfaces on spatial cognition during collaborative design. **Design Studies**, Londres, v. 29, n. 3, p.46-64, maio 2008.

KIRNER, C.; SISCOUTO, R. Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações. In: IX SYMPOSIUM ON VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY, 9., 2007, Porto Alegre. **Livro do pré-simpósio**. Porto Alegre: Editora Sbc – Sociedade Brasileira de Computação, 2007. p. 78 - 92.

LEBRUN, Yoann et al. Interaction between tangible and virtual agents on interactivables: Principles and case study. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AMBIENT SYSTEMS, 4., 2013, Nova Scotia. **Proceedings...** Toronto: Ant, 2013. p. 32 - 39.

LEON, Marianthi et al. Development and testing of a design protocol for computer mediated multidisciplinary collaboration during the concept stages with application to the built environment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DESIGN AND DECISION SUPPORT SYSTEMS IN ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING, 12., 2014, Eindhoven. **Proceedings...** Amsterdam: Procedia Environmental Sciences, 2014. p. 108 - 119.

LEVY, Pierre. **O que é virtual?** São Paulo: Editora 34, 1996.

LIU, W. Natural user interface - Next mainstream product user interface. In: IEEE 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER-AIDED INDUSTRIAL DESIGN & CONCEPTUAL DESIGN, 11., 2011, Nova Iorque. **Proceedings...** Nova Iorque: IEEE Press, 2011. v. 1, p. 203 - 205.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

MONAT, André; CAMPOS, Jorge Lucio de; CUNHA, Ricardo. **Metaconhecimento**: um esboço para o design e seu conhecimento próprio. 2008. Disponível em: <<http://www.bocc.ubi.pt/pag/monat-campos-lima-metaconhecimento.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2014.

NEHAOUA, L S. Hima, H. Arioui, N. Seguy. **A new motorcycle simulator platform**: mechatronics design, dynamics modeling and control. 2009.

NIELSEN, Jakob. Applying discount usability engineering. **IEEE Software**, vol. 12, no. 1, pp. 98-100. 2001.

NORMAN, Donald. **O design do dia a dia**. Rio de Janeiro: Rocco, 2006. 121 p.

NORMAN, Donald. **Design emocional**. Rio de Janeiro: Rocco, 2008. 119 p.

NORMAN, Donald. Cognition in the Head and in the World: an introduction to the special issue on Situated Actio n. **Cognitive Science**, New York, v. 1, n. 7, p.1-6, maio 1996.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Diretrizes éticas internacionais para a pesquisa envolvendo seres humanos**. Genebra: OMS, 1993. Disponível em: <<http://www.bioetica.ufrgs.br/cioms.htm>> Acesso em: 8 jul. 2014.

PARAGUAI, Lucia. Interfaces multisensoriais: espacialidades híbridadas do corpoespaço. **Revista Famecos**, Porto Alegre, v. 37, n. 2, p.23-32, dez. 2008.

PASQUALI, Luiz. **Psicometria**: teoria dos testes na psicologia e na educação. Petrópolis: Vozes; 2004.

PAZ, Leandro Ferreira. **Acesso móvel às informações do paciente utilizando computação ubíqua**. 2012. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Curso de Ciência da Computação, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, UNIJUL, Santa Rosa, 2012.

PREECE, Jennifer; ROGERS, Yvone; SHARP, Helen. **Além da interação homem-computador**. 3. ed. São Paulo: Editora Bookman, 2013.

RETRACTABLE. Disponível em:  
<<https://www.youtube.com/watch?v=CUIp30uTw6U>>. Acesso em: 28 dez. 2014.

RODRIGUES, G.; PORTO, C. Realidade virtual: conceitos, evolução, dispositivos e aplicações. **Interfaces Científicas – Educação**, Aracaju, v. 1, n. 3, p.97-109, jun. 2013.

ROGERS, Yvonne. **HCI Theory**: classical, modern and contemporary. Londres: Morgan & Claypool Publishers, 2012. 354 p. (John M. Carroll, series editor).

ROTH, W. M.; JORNET, A. G. Situated cognition. **Wires Cognitive Science**, Los Angeles, v. 4, n. 10, p.12-42, jun. 2013.

ROMÃO, Maria. **Interfaces persuasivas e tangíveis**. 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Design, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 2010.

SAFFER, Dan. **Designing gestural interfaces**. Montreal: O'reily, 2009. 231 p.

SAMPAIO, R. F.; C. MANCINI, M. Estudos de Revisão Sistemática: Um Guia Para Síntese Criteriosa Da Evidência Científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Carlos, v. 11, n. 1, p.83-89, jan. 2007.

SHAER, Orit; HORNECKER, Eva. Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions. **Foundations and Trends in Human-computer Interaction**, Helsinki, v. 3, n. 2, p.1-137, jun. 2010.

SHAER, Orit; LELAND, Nancy; CALVILLO-GAMEZ, Eduardo. The TAC paradigm: specifying tangible user interfaces. **Journal Personal And Ubiquitous Computing**. Londres, p. 359-369. set. 2004.

SKINNER, B. F.. **Ciência e comportamento humano**. 6. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998. 154 p.

SKINNER, B. F. **Contingencies of reinforcement**: a theoretical analysis. Nova Iorque: Appleton-century-crofts, 1969.

SOUZA, Roberta. Soroban – Uma Ferramenta para ajudar a pensar, contribuindo na inclusão de alunos portadores de necessidades visuais. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 8., 2004, Recife. **Anais...** Recife: Ufpe, 2004. p. 32 - 43.

STOFFREGEN, Tomas. Affordances as properties of the animal – environment system. **Ecological Psychology**, 15, 115–134, 2003.

STONE, David.; JARRETT, Carl.; WOODROFFE, Mary. **User interface design and evaluation**. Nova Iorque: Morgan Kaufmann, 2005. 112 p.

Tangible Media Group. Disponível em:  
<<http://tangible.media.mit.edu/>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

TORI, Romero. A presença das tecnologias interativas na educação. **Revista de Computação e Tecnologia da PUC-SP**, São Paulo, v. 2, n. 3, p.3-16, mar. 2010.

ULLMER, B. **Tangible interfaces for manipulation aggregates of digital information**. 2002. 232 f. Tese (Doutorado) - Curso de Design, Mit, Massachussets, 2010.

VIEIRA, Prof. Phd. Rodrigo; STEIDLE, Manuel; VIEIRA, Alessandro. Conceptual architecture of motorcycle simulators for the training of novice riders. In: INTERNATIONAL MOTORCYCLE CONFERENCE, 10., 2014, Colônia. **Proceedings...** Colônia: Messeplatz, 2014. p. 34 - 44.

VIDOTTO, Giulio. A longitudinal study to evaluate riding trainer effectiveness in teenagers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROAD SAFETY AND SIMULATION, 3., 2011, Roma. **Proceedings...** Roma: Hci, 2012. p. 14 - 22.

WASELFISZ, Julio Jacobo. **Mapa da violência** – acidentes de trânsito e motocicleta. 2013. Disponível em:  
<[http://www.mapadaviolencia.org.br/pdf2013/mapa2013\\_transito.pdf](http://www.mapadaviolencia.org.br/pdf2013/mapa2013_transito.pdf)>  
Acesso em: 20 abr. 2014.

WEISER, Mark. **The computer for the 21st century**. Nova Iorque: Bookman, 1991. 93 p. Disponível em: <<http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/SciAmDraft3.htm>>. Acesso em: 4 fev. 2015.

WENSVEEN, S. A. G.; DJAJADININGRAT, J. P.; OVERBEEKE, C. J.. Interaction frogger: a design framework to couple action and function through feedback and feedforward. In: CONFERENCE ON DESIGNING INTERACTIVE SYSTEMS: PROCESSES, PRACTICES, METHODS, AND TECHNIQUES, 5., 2004, Nova Iorque. **Proceedings...** Nova Iorque: Acm, 2004. p. 34 - 43.

WIETHOFF, A. et al. **Paperbox** – A toolkit for exploring tangible interaction on interactive surfaces. Calgary: University of Calgary, 2013. 49 p.

ZAMAN, Bieke et al. Editorial: the evolving field of tangible interaction for children: the challenge of empirical validation. **Pers Ubiquit Comput**, Londres, v. 1, n. 2, p.83-95, jun. 2011.



**APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido<sup>48</sup>**

Pelo presente instrumento autorizo a Sistemica Performance Ltda, inscrita no CNPJ número 18.615.863/0001-39, a utilizar imagem e voz gravados no teste realizado com o simulador de motos, no período de janeiro/2014 a maio/2014, na cidade Florianópolis, no Estado de Santa Catarina.

Ao assinar este termo, declaro que:

- a) Sou aluno matriculado formalmente na autoescola Litoral, conforme legislação de trânsito vigente;
- b) Estou ciente que a pesquisa para avaliação de protótipos de simuladores tem por justificativa social a melhoria do ensino em Centros de Formação de Condutores no Brasil, visando um trânsito mais seguro;
- c) Estou ciente que a pesquisa tem por método: uma avaliação com questionários, 2 testes digitais, 07 aulas no simulador, com duração de 30 minutos cada aula, e acompanhamento das aulas práticas realizadas na auto escola. As aulas práticas são realizadas na auto escola Litoral, por instrutores da autoescola;
- d) Estou ciente que as aulas no simulador não substituem as aulas práticas na autoescola, tendo apenas um caráter complementar, sendo bem dirigidas por instrutores capacitados. As aulas no simulador podem beneficiar minha performance como condutor em termos de direção defensiva, me tornando mais hábil e prudente no trânsito;
- e) Estou ciente que aproximadamente 3% da população tem algum tipo de desconforto, mal-estar ao usar simuladores, e que se eu apresentar esse estado posso abandonar a pesquisa a qualquer momento;
- f) A minha participação na pesquisa é voluntária e não possui nenhuma forma de remuneração ou contrapartida;

---

<sup>48</sup> Desenvolvido pelo autor e assinado, após leitura, por todos os 20 testadores da amostra da pesquisa.

g) Posso a liberdade para recusar a participar das aulas e/ou me retirar em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma. Em caso de não participação das aulas ou da opção em me retirar da pesquisa informarei a equipe de pesquisadores por escrito;

h) Em caso de quaisquer dúvidas ou questões, a qualquer momento antes, durante ou depois das sessões, sei que posso recorrer aos promotores da pesquisa, que cuida das aulas no simulador: Alessandro Vieira e Tiago Speckart;

i) Autorizo o uso do material audiovisual registrado de minha participação na pesquisa, bem como resultados de minhas avaliações e dados de desempenho no simulador, para fins únicos e exclusivos de pesquisa e divulgação científica.

Desta forma assino o devido termo para que surta os efeitos legais a que se destinar:

<b>Nome Completo</b>	<b>Doc. Identidade</b>	<b>Assinatura</b>

## APÊNDICE B – Dados dos 20 testadores

Quadro 22 - Dados dos 20 testadores

<b>Testador</b>	<b>Sexo</b>	<b>Idade</b>	<b>Escolaridade</b>	<b>Nível de habilidade com motos</b>
T1	H	25	Ensino médio incompleto	Nenhuma
T2	H	20	Cursando ensino superior	Nenhuma
T3	H	35	Ensino médio completo	Média
T4	M	36	Pós-graduado	Baixa
T5	M	42	Ensino médio incompleto	Nenhuma
T6	M	38	Ensino médio completo	Nenhuma
T7	M	20	Ensino médio completo	Nenhuma
T8	H	20	Ensino médio completo	Alta
T9	H	42	Ensino fundamental	Baixa
T10	M	34	Ensino médio completo	Muito baixa
T11	M	33	Ensino médio completo	Nenhuma
T12	M	30	Ensino médio completo	Nenhuma
T13	H	21	Ensino fundamental	Muito baixa
T14	M	22	Ensino médio incompleto	Muito baixa
T15	H	21	Ensino Médio completo	Muito baixa
T16	H	23	Ensino Médio Completo	Alta
T17	H	30	Ensino médio completo	Baixa
T18	H	19	Ensino médio incompleto	Nenhuma
T19	H	41	Ensino médio completo	Baixa
T20	H	21	Ensino médio completo	Baixa

### APÊNDICE C – Dados das entrevistas finais

Os quadros a seguir descrevem o que os testadores disseram nas entrevistas. O primeiro quadro apresenta pontos positivos levantados. O segundo, pontos negativos. As colunas de ambos os quadros são temas pertinentes à avaliação do simulador que foram citados espontaneamente pelos testadores.

Quadro 23 - Entrevistas finais

Testador	Aprova a experiência	Bom para iniciantes	Perder o medo de conduzir moto	O som 3D ajudou muito
T1	Sim	Sim	Sim	Não
T2	Sim	Não	Não	Sim
T3	Sim	Sim	Sim	Sim
T4	Sim	Sim	Sim	Não
T5	Sim	Sim	Não	Sim
T6	Sim	Sim	Sim	Sim
T7	Sim	Sim	Sim	Sim
T8	Sim	Sim	Sim	Sim
T9	Sim	Não	Sim	Sim
T10	Sim	Sim	Sim	Sim
T11	Sim	Sim	Sim	Não
T12	Sim	Não	Não	Sim
T13	Sim	Sim	Sim	Sim
T14	Sim	Sim	Sim	Sim
T15	Sim	Sim	Sim	Não
T16	Sim	Sim	Sim	Sim
T17	Sim	Sim	Não	Não
T18	Sim	Sim	Sim	Sim
T19	Sim	Sim	Sim	Não
T20	Sim	Não	Não	Sim

A seguir são apresentados os assuntos considerados negativos e destacados pelos testadores. Isto é, problemas, falhas e afins:

Quadro 24 - Assuntos

Testador	Nas curvas há menos realismo; Nas curvas não dá para dobrar a moto com o peso do corpo.	A posição do retrovisor que não parece OK.	Atraso de menos de 1 seg, mas perceptível, entre ligar a moto e o som do motor; Mesmo atraso em acelerar e o som do motor.	O som da moto não parecia realista.	Simulation sickness
T1	Sim	Sim	Sim	Não	Não
T2	Sim	Não	Não	Não	Não
T3	Não	Não	Não	Não	Não
T4	Sim	Não	Não	Sim	Não
T5	Sim	Não	Não	Não	Não
T6	Não	Sim	Sim	Não	Não
T7	Sim	Não	Não	Não	Não
T8	Não	Não	Não	Não	Não
T9	Não	Sim	Não	Sim	Não
T10	Não	Sim	Não	Não	Não
T11	Sim	Não	Não	Não	Sim
T12	Não	Não	Não	Não	Não
T13	Não	Não	Não	Não	Não
T14	Não	Sim	Não	Não	Não
T15	Sim	Não	Sim	Não	Não
T16	Não	Não	Não	Não	Não
T17	Sim	Não	Não	Não	Não
T18	Não	Não	Não	Não	Não
T19	Não	Não	Não	Não	Não
T20	Sim	Sim	Sim	Sim	Não

## ANEXO A - Programa de objetivos de ensino desenvolvido pela equipe de pedagogas da Fundação CERTI

Quadro 25 - Objetivos de ensino

Aula	Objetivos	Cenário
1 – Habituação com o simulador	Aprender comandos elementares do painel e dos pedais. Aprender como ligar a moto. Botar a moto em movimento. Trocar de marcha. Controlar a velocidade. Parar a motocicleta.	Reta infinita, sem desafios
2 – Comandos básicos	Repetir os objetivos da aula 1. Conduzir respeitando regras de vias.	Pequena cidade, vazia.
3 – Trânsito leve	Fechar o percurso sem colisões, respeitando regras e leis de trânsito.	Pequena cidade, trânsito leve.
4 – Trânsito pesado	Fechar o percurso sem colisões, respeitando regras e leis de trânsito.	Pequena cidade, trânsito pesado.
5 – Mar e campo	Fechar o percurso sem colisões, respeitando regras e leis de trânsito.	Passeio no campo. Passeio na costa marítima.
6 – Autoestrada	Evitar colisões. Direção defensiva.	Autoestrada
7 – Revisão	Recapitular principais competências aprendidas, com ênfase no ganho de habilidades de percepção de risco.	Todos os cenários.

## ANEXO B – Indicadores de Desempenho

Quadro 26 – Competências

Classes de competências	Indicadores	Resultados por sessão	Observações
Controle dos comandos básicos	Dois pedais	Sim ( ) Não ( )	
	Guidão	Sim ( ) Não ( )	
	Acelerador	Sim ( ) Não ( )	
	Embreagem	Sim ( ) Não ( )	
	Setas	Sim ( ) Não ( )	
	Buzinas	Sim ( ) Não ( )	
	Luzes	Sim ( ) Não ( )	
Acionar a moto	Colocar no ponto neutro e ligar a moto, sair em primeira marcha.	Sim ( ) Não ( )	
Transitar com a moto	Se move com precisão pela pista em reta e em curvas	Sim ( ) Não ( )	
	Usa o pisca corretamente	Sim ( ) Não ( )	
	Tem bons reflexos	Sim ( ) Não ( )	
	Mantem a velocidade no limite certo.	Sim ( ) Não ( )	
	Transita com marcha apropriada.	Sim ( ) Não ( )	
	Presta atenção nos retrovisores.	Sim ( ) Não ( )	
	Sabe explicar suas falhas.	Sim ( ) Não ( )	
	Troca marcha sem acelerar	Sim ( ) Não ( )	
Parar a moto	Para pondo o pé esquerdo no chão.	Sim ( ) Não ( )	
	Freia corretamente,	Sim ( ) Não ( )	
	Desliga a moto corretamente.	Sim ( ) Não ( )	