

Utilização de Sensores de Profundidade de Baixo Custo para
Prover Qualidade de Vida em Idosos

André Luiz Satoshi Kawamoto

TESE DE DOUTORADO APRESENTADA
AO
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA
DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO
DE
DOUTOR EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Programa: Pós-Graduação em Ciência da Computação

Orientador: Prof. Dr. Flávio Soares Corrêa da Silva

Durante o desenvolvimento deste trabalho o autor recebeu auxílio financeiro da Fundação
Araucária - Paraná

São Paulo, Agosto de 2016

Utilização de Sensores de Profundidade de Baixo Custo para Prover Qualidade de Vida em Idosos

Esta é a versão original da tese de doutorado elaborada pelo candidato (André Luiz Satoshi Kawamoto), tal como submetida à Comissão Julgadora.

Resumo

KAWAMOTO, A. L. S.. **Utilização de Sensores de Profundidade de Baixo Custo para Prover Qualidade de Vida em Idosos**. 2016. 57 f. Tese de Doutorado (Doutorado) - Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

O presente trabalho tem como objetivo principal investigar o uso de dispositivos não convencionais para melhorar a qualidade de vida em idosos. Essa investigação é motivada principalmente pelo crescente aumento de idosos na população, pela constatação de que a ocorrência de quedas é a principal responsável pela incapacitação e internação de idosos, e pelos avanços tecnológicos que possibilitaram o surgimento de sensores de profundidade de baixo custo, baseados na tecnologia de luz estruturada. A condução dessa investigação inicia na identificação dos fatores que podem favorecer as quedas, passa pelos princípios de funcionamento dos sensores de profundidade comerciais disponíveis na atualidade, em seguida por uma extensa revisão a respeito do uso desses sensores em projetos de pesquisa tanto para o uso geral quanto especificamente voltados para o público idoso. Paralelamente, foi definido um conjunto de diretrizes de desenvolvimento para prover melhor usabilidade em aplicações que utilizam interfaces não convencionais direcionadas para o público idoso. Esse conjunto é o resultado do mapeamento entre os requisitos de interfaces naturais - que utilizam dispositivos não convencionais - e os requisitos decorrentes de alterações de ordem física e cognitiva causadas pelo envelhecimento. Finalmente, são apresentadas duas aplicações criadas, respectivamente, para atestar a viabilidade do uso de sensores na visualização de elementos ambientais (escadas), e no monitoramento de posturas e detecção de quedas de usuários. São apresentados, ainda, os resultados de avaliações de usabilidade conduzidas para duas aplicações (Jogo de Memória *Simon* e Teste de Corsi), criadas para validar as diretrizes definidas para prover usabilidade em aplicações voltadas para o público idoso.

Palavras-chave: quedas, idosos, sensor de profundidade, dispositivo de interface natural, diretrizes de usabilidade.

Abstract

KAWAMOTO, A. L. S.. **Using Low Cost Depth Sensors to Promote Quality of Life in Older Adults**. 2016. 57 f. Tese de Doutorado(Doutorado) - Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

This work aims to investigate the use of non-conventional devices to improve the quality of life in older adults. This research is motivated mainly by the increasing number of elderly in the population, by the observation that the occurrence of falls is the main responsible for disability and hospitalization of the senior citizens, and by the technological advances that made possible the emergence of low-cost depth sensors, based on structured light technology. The conduction of this research begins in the identification of the factors that may induce falls, passes by the principles of operation of commercial depth sensors currently available, and is followed by a comprehensive review on the use of these sensors in research projects both for general use as specifically targeting the elderly audience. In parallel, a set of development guidelines has been defined to provide better usability in applications that use non-conventional interfaces focused on the elderly audience. This set is the result of the mapping between the requirements of Natural User Interfaces - which use non-conventional devices - and the physical and cognitive order requirements introduced by ageing changes. Finally, we present two applications created, respectively, to attest the feasibility of using sensors in the visualization of environmental elements (stairways), monitoring posture and detecting user falls. Additionally, we present the results of usability evaluations conducted for two applications (Simon Memory Game and Corsi Test), designed to validate the guidelines established to provide usability in applications aimed at the elderly population.

Keywords: falls, older adults, depth sensor, natural user interface device, usability guidelines.

Sumário

Lista de Abreviaturas	v
Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	vii
1 Introdução	1
2 Conceitos	3
2.1 Quedas	3
2.2 Fatores que influenciam na ocorrência de Quedas em Idosos	3
2.2.1 Fatores de Risco Intrínsecos	3
2.2.2 Fatores de Risco Extrínsecos	5
2.2.3 Exposição aos Riscos	5
2.3 Interfaces Naturais de Usuário	6
2.4 Características de Interfaces Naturais	7
3 Sensores de Profundidade de Baixo Custo	8
3.1 Sensores PrimeSense	8
3.2 Sensores Asus	9
3.3 Microsoft Kinect	10
3.3.1 Microsoft Kinect 2.0	10
3.4 LeapMotion	11
3.5 Creative Labs Senz3D	12
3.6 Comparativo e Considerações Finais	12
4 Aplicações de Sensores de Profundidade de Baixo Custo	14
4.1 Metodologia e Abrangência	14
4.2 Resultados Encontrados	15
4.2.1 Trabalhos publicados para o sensor Asus Xtion	15
4.2.2 Trabalhos Publicados para o sensor LeapMotion	16
4.2.3 Kinect	16
4.2.4 Senz3D	16
4.3 Análise dos Resultados	17
4.4 Aplicações de Sensores de Baixo Custo Específicas para o Público Idoso	18
4.4.1 Prevenção de Quedas	19

4.4.2	Detecção de Quedas	21
4.4.3	Reabilitação após Quedas	23
4.5	Síntese e Análise Final da Revisão	24
5	Diretrizes para a Construção de Aplicações para Idosos	26
5.1	Recomendações Gerais para o Desenvolvimento de NUIs	26
5.2	Recomendações Relacionadas a Hesitação, Desencorajamento e Falta de Motivação .	28
5.3	Recomendações para Limitações Físicas e Cognitivas Relacionadas ao Envelhecimento	28
5.4	Mapeamento entre Recomendações para Interfaces Naturais e para o Desenvolvi- mento de Aplicações para Idosos	29
5.5	Considerações Finais a Respeito das Diretrizes	31
6	Validação das Recomendações e Implementação de Algoritmos	32
6.1	Ferramenta para Visualização de Escadas	32
6.2	Algoritmo para Detecção de Posturas	36
6.3	Algoritmos para Detecção de Quedas	38
6.4	Validação das Recomendações para Desenvolvimento de Aplicação para Idosos	39
6.4.1	Jogo de Memória <i>Simon</i>	39
6.4.2	Teste de Corsi	44
7	Conclusões	48
	Referências Bibliográficas	50
	Índice Remissivo	57

Lista de Abreviaturas

AVC	Acidente Vascular Cerebral
BCI	Interface Cérebro-Computador (<i>Brain-Computer Interface</i>)
CLI	Interface de Linha de Comando (<i>Command Line Interface</i>)
GUI	Interface Gráfica de Usuário (<i>Graphical User Interface</i>)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ILPI	Instituição de Longa Permanência para Idosos
LED	Diodo Emissor de Luz (<i>Light Emitter Diode</i>)
NUI	Interface Natural de Usuário (<i>Natural User Interface</i>)
ONU	Organização das Nações Unidas
RGB	Vermelho-Verde-Azul(<i>Red-Green-Blue</i>)
SDK	Kit de Desenvolvimento de Software (<i>Software Development Kit</i>)
SLAM	Localização e Mapeamento Simultâneos (<i>Simultaneous Location And Mapping</i>)
SoC	Sistema em um Chip(<i>System on a Chip</i>)
VGA	Adaptador Gráfico(<i>Video Graphics Adapter</i>)
WIMP	Janelas, Ícones, Menus, Apontadores(<i>Windows, Icons, Menus, Pointing Devices</i>)
RPG	Role Playing Games
SMT	<i>Step-Mat-Training</i>

Lista de Figuras

2.1	Evolução de Interfaces	6
3.1	PrimeSensor Carmine 1.09	9
3.2	PrimeSensor Capri 1.25	9
3.3	Sensores Asus Xtion Pro (a) e Asus Xtion Pro Live (b)	9
3.4	Microsoft Kinect 1.0	10
3.5	Microsoft Kinect 2.0	11
3.6	Leap Motion	11
3.7	Área de interação do LeapMotion	11
3.8	Creative Labs Senz3D	12
4.1	Distribuição dos Trabalhos em Relação aos Sensores de Profundidade Comerciais . .	17
4.2	Evolução na Quantidade de Publicações utilizando Sensores de Profundidade Comerciais	18
4.3	Processo de Revisão Sobre Sensores de Baixo Custo e Aplicação com Idosos	25
6.1	Interface da Aplicação de Visualização de Escadas	32
6.2	Aplicação sendo utilizada com baixa iluminação	36
6.3	Aplicação sendo utilizada com iluminação artificial	37
6.4	Ângulos formados quando a pessoa se inclina ou está ereta	37
6.5	Interface da Aplicação de Visualização de Escadas	38
6.6	Interface do jogo de memória <i>Simon</i>	40
6.7	Interface do jogo de memória <i>Genius</i>	41
6.8	Usuários Interagindo com o Jogo	42
6.9	Resultados do Questionário Pós-Teste para o jogo <i>Simon</i> (Parte 1)	43
6.10	Resultados do Questionário Pós-Teste para o jogo <i>Simon</i> (Parte 2)	44
6.11	Interface da Aplicação Teste de Corsi	45
6.12	Resultados da Avaliação do Teste de Corsi (Parte 1)	46
6.13	Resultados da Avaliação do Teste de Corsi (Parte 2)	47

Lista de Tabelas

3.1	Comparativo entre os Sensores de Profundidade	13
4.1	Resultados para sensores Xtion	16
4.2	Resultados para o sensor Kinect	16
4.3	Trabalhos Relacionados a Prevenção de Quedas	21
4.4	Trabalhos Relacionados a Detecção de Quedas	23
4.5	Trabalhos Relacionados a Reabilitação após Quedas	24
5.1	Recomendações para NUI destinadas a um problema relacionado ao Envelhecimento	30

Capítulo 1

Introdução

De acordo com o Relatório sobre Envelhecimento Mundial (*World Population Ageing Report*) da Organização das Nações Unidas (ONU), o envelhecimento populacional - um processo no qual a proporção de pessoas mais velhas aumenta em relação à de pessoas mais jovens - é a principal consequência demográfica do declínio da fertilidade, especialmente quando combinada com o aumento na expectativa de vida. A quantidade de pessoas consideradas idosas, com idade superior a 60 anos, cresce mais rapidamente do que em qualquer outro grupo etário. Como resultado, a quota de idosos na população está aumentando virtualmente em todo lugar. Entre 2015 e 2030, projeta-se que o número de pessoas com idade igual ou superior a 60 anos aumente cerca de 56%, de 901 milhões para 1.4 bilhão, e em 2050, espera-se que esse número atinja o dobro do que existe em 2015, atingindo cerca de 2.1 bilhões de pessoas (UN, 2015).

O ritmo de envelhecimento populacional em vários países em desenvolvimento na atualidade é substancialmente mais rápido do que o ocorrido em países desenvolvidos no passado.

No que diz respeito ao Brasil, o segmento populacional que mais aumenta na população é o de idosos, com taxas de crescimento de mais de 4% ao ano no período de 2012 a 2022. A população com 60 anos de idade ou mais avança de 14.2 milhões, em 2000, para 19.6 milhões, em 2010, devendo atingir 41.5 milhões, em 2030, e 73.5 milhões, em 2060 (Ervatti *et al.*, 2015).

Espera-se, para os próximos anos no Brasil, um incremento médio de mais de 1 milhão de idosos anualmente. Essa situação de envelhecimento populacional é consequência, primeiramente, da rápida e contínua queda da fecundidade no país, além de ser também influenciada pela queda da mortalidade em todas as idades (Ervatti *et al.*, 2015).

O aumento na expectativa de vida da população se deve a diversos avanços médicos e tecnológicos, melhorias em saneamento básico, prevenção, controle e cura de doenças até então consideradas fatais, a redução de taxas de mortalidade, entre outras coisas (Ervatti *et al.*, 2015; IBGE, 2002).

A tendência populacional de envelhecimento traz, obviamente, implicações individuais. Apesar das vantagens inerentes associadas ao envelhecimento, existem consequências negativas de ordem física e cognitiva como, por exemplo, a perda da acuidade visual e auditiva, bem como de força muscular e velocidade de resposta a ações (Shneiderman *et al.*, 2009). A ocorrência de certos eventos, por exemplo, pode ter impacto negativo muito maior em uma pessoa idosa do que teria em uma pessoa jovem.

De fato, quedas e lesões relacionadas constituem o principal problema para os fornecedores de assistência social e médica entre idosos (UN, 2015). Assim, medidas para promover a qualidade de vida desse público devem incluir, além treinamento profissional para os médicos e demais profissionais envolvidos, a prevenção de acidentes dessa natureza.

O aumento do número de idosos na sociedade, associado ao agravamento dos problemas observados nas áreas de seguridade social e saúde pública, sobretudo no contexto de países em desenvolvimento como o Brasil torna-se, então, um fator motivacional importante na condução de estudos que investiguem o uso de tecnologias com o intuito de assegurar qualidade de vida à população idosa. Associado a isso, observa-se diversos avanços tecnológicos, que proporcionam o surgimento de interfaces e dispositivos de interação humano-computador mais naturais e de baixo custo.

Dentre os dispositivos que têm surgido, sensores de profundidade têm atraído a atenção por implementar interfaces avançadas em diversas aplicações, variando desde Realidade Aumentada (RA) em peças de publicidade até jogos sérios, além de ser uma alternativa viável e de baixo custo ao uso de sensores no monitoramento de pessoas (Biswas e Basu, 2011; Da Gama *et al.*, 2012; Gerling *et al.*, 2012b; Martin *et al.*, 2012; Parajuli *et al.*, 2012; Yeh *et al.*, 2012).

O presente trabalho apresenta uma visão abrangente sobre os dispositivos de interação natural de baixo custo, sua utilização em diversas áreas de aplicação, enfatizando sobretudo como eles podem e têm sido utilizados na prevenção, detecção e tratamento de quedas na população idosa. Adicionalmente, apresenta-se uma série de diretrizes criadas para a construção de aplicações voltadas a idosos. Essas diretrizes foram definidas a partir de uma série de recomendações encontradas na literatura para a criação de interfaces gestuais e jogos em geral, alinhadas a recomendações específicas para minimizar as limitações físicas, intelectuais e cognitivas que surgem com o avanço da idade dos usuários.

Este documento está organizado da seguinte forma: no Capítulo 2, são definidos os conceitos de quedas, dos fatores responsáveis pela ocorrência de quedas em idosos, e de interfaces naturais de usuário; no Capítulo 3, são apresentados dispositivos e as características dos principais sensores de profundidade comercialmente disponíveis; no Capítulo 4, os resultados de uma abrangente revisão a respeito da utilização de sensores de profundidade de baixo custo em relevantes bases de dados são apresentados e avaliados; no Capítulo 5 apresenta-se um conjunto de diretrizes definidas para a utilização desses sensores em aplicações para idosos, visando prover bem estar e conforto físico; no Capítulo 6 são apresentadas as implementações de aplicações, bem como as avaliações de usabilidade realizadas para validar tanto a utilização de sensores de baixo custo para monitoramento de idosos quanto as diretrizes definidas nesse projeto; e finalmente, no Capítulo 7 são feitas as considerações finais, apresentação de uma síntese dos resultados obtidos, e propostas de trabalhos futuros.

Capítulo 2

Conceitos

2.1 Quedas

Uma queda pode ser definida como "um evento que resulta na pessoa vir a permanecer deitada inadvertidamente no chão ou outro nível inferior, além de outras possíveis consequências sofrer uma pancada violenta, perda de consciência, início súbito de paralisia, ou um ataque epilético" (Kellogg, 1987).

Quedas são uma das principais causas de incapacitação entre idosos, juntamente com transtornos depressivos, perda da audição, dores no pescoço e nas costas, diabetes, entre outras coisas (Todd e Skelton, 2004; UN, 2015). Além disso, quedas e as lesões induzidas por sua incidência representam o tipo de acidente mais sério e frequente, responsáveis por cerca de 80% das admissões hospitalares ou pela contratação de serviços do tipo "*home care*" (Parajuli *et al.*, 2012; Todd e Skelton, 2004; UN, 2013).

Todd e Skelton apresentam uma síntese de diversos trabalhos e evidências apontadas em revisões sistemáticas e estudos publicados, sobretudo focando a comunidade europeia, sobre abordagens preventivas no que diz respeito a treinamento de pessoal e medidas corretivas pós-quedas, além de uma taxonomia para os diversos fatores que exercem influência nas causas de quedas na população idosa (Todd e Skelton, 2004). Esses fatores são apresentados nas seções seguintes.

2.2 Fatores que influenciam na ocorrência de Quedas em Idosos

A identificação de pessoas que se encontram em maior risco ajuda a maximizar a eficácia de qualquer medida de intervenção, ou mesmo a criação de estratégias de prevenção a quedas. Estudos publicados têm apontado alguns fatores de risco bastante específicos, porém é impossível estabelecer uma comparação direta entre esses estudos devido a uma série de problemas metodológicos, que incluem diferentes populações de estudo, falta de clareza e consistência em algumas definições, variabilidade de períodos a ser seguidos, a inevitável dificuldade de se recuperar os eventos de maneira retrospectiva, além da existência de uma complexa interação de causalidade associada aos fatores de risco e a ocorrência da queda em si (Todd e Skelton, 2004).

Considerando os resultados apresentados em diversos estudos, Todd e Skelton estabelecem uma lista de fatores comumente observados em situações de queda (Todd e Skelton, 2004). Esses fatores podem ser, de maneira ampla, classificados em três categorias: fatores intrínsecos, fatores extrínsecos e de fatores de exposição ao risco. Não obstante, sabe-se que quedas ocorrem frequentemente devido a interações dinâmicas entre fatores de todas as categorias e que a exposição um determinado risco pode justificar outro, se avaliado de maneira multivariada (UN, 2013).

2.2.1 Fatores de Risco Intrínsecos

Fatores intrínsecos, ou seja, inerentes a cada pessoa, são constituídos por características físicas, histórico, doenças e uso de medicamentos. Esses fatores são apontados em diversos estudos

sumarizados em (Todd e Skelton, 2004), e constituídos por:

- um histórico de quedas - pessoas que sofreram quedas anteriormente são mais suscetíveis a novas ocorrências;
- idade - a incidência de quedas tende a ser maior, e com consequências mais graves na medida em que as pessoas se tornam mais velhas;
- sexo - nos anos iniciais, a taxa de quedas entre homens e mulheres é bastante similar. Todavia, entre os mais velhos, as mulheres têm taxa de quedas maior que homens, além de serem mais sujeitas a fraturas quando caem;
- morar sozinho - apesar de implicar em maiores habilidades funcionais, os ferimentos e seus resultados podem ser piores, sobretudo se a pessoa ficar incapacitada de se levantar. O fato de morar sozinho tem se mostrado um risco para quedas, embora parte deste efeito seja, aparentemente, relacionado a certos tipos de ambiente que os idosos podem ocupar;
- medicamentos - o uso de benzodiazepinas - um grupo de fármacos usado como sedativos, relaxantes musculares, tratamento de amnésia e atividade anticonvulsivante, é associado a um aumento de cerca de 44% no risco de fraturas nos quadris e quedas noturnas em idosos. O uso de psicotrópicos, medicamentos antiarritmia, diuréticos e sedativos também é responsável pelo aumento no risco de quedas. Independente do tipo, a combinação de mais de quatro medicamentos aumenta significativamente a probabilidade de quedas, além de ser associada a um aumento de nove vezes no comprometimento cognitivo e no medo de cair;
- condições médicas - doenças circulatórias, doenças obstrutivas pulmonares, depressão e artrite são associadas a um aumento de 32% no risco de quedas. Esse risco aumenta também devido aos efeitos crescentes de doenças crônicas, bem como disfunções na tireóide, diabetes e artrite. Embora desconhecido, o predomínio de causas relacionadas a fatores cardiovasculares, tonturas e incontinência urinária são comuns entre vítimas de quedas;
- mobilidade prejudicada e marcha- o declínio na força e resistência resultam em limitações físicas que tornam atividades cotidianas difíceis ou mesmo impossíveis de se realizar. Indivíduos com mobilidade prejudicada são mais suscetíveis a escorregões e incapazes de evitar quedas. Deficiências na maneira de caminhar, equilíbrio, uso de dispositivos assistivos, dificuldade de se levantar de uma cadeira, bem como qualquer deficiência nos membros inferiores são associados a um aumento nos riscos de queda;
- comportamento sedentário - pessoas menos ativas podem sofrer de atrofia muscular em torno de articulações devido ao desuso. Embora essas pessoas apresentem a tendência de sofrer mais quedas, essas ocorrem em ambientes mais seguros. Funções musculares são tão fortemente associadas a atividades físicas que tornam difícil demonstrar que a atividade física e a perda de funções musculares tenham contribuições únicas;
- estado psicológico- o medo de cair e a ansiedade podem ser fatores de risco. Pessoas com medo de cair restringem ou eliminam atividades físicas e sociais. Existem fortes relações entre o medo e desempenho postural ruim, velocidade de caminhada menor, fraqueza muscular, e queda na qualidade de vida;
- deficiências nutricionais - a carência de vitamina D é particularmente comum em idosos que moram em instituições de longa permanência e pode favorecer a marcha anormal, fraqueza muscular e osteoporose;
- aprendizado prejudicado - déficit cognitivo é claramente associado ao risco de queda, mesmo em níveis relativamente baixos. Residentes de instituições de longa permanência para idosos com demência diagnosticada caem duas vezes mais frequentemente que aqueles com aprendizado normal, porém não há diferença na gravidade dos ferimentos;

- deficiências visuais - a acuidade visual, sensibilidade a contrastes, campo visual, catarata, glaucoma e degeneração macular incrementam o risco de quedas, assim como o uso de lentes bifocais ou multifocais;
- problemas nos pés - deformidades, ulcerações e dores nos pés aumentam as dificuldades de equilíbrio e a chance de cair.

2.2.2 Fatores de Risco Extrínsecos

Fatores extrínsecos dizem respeito sobretudo a condições externas às quais as pessoas estão expostas. O impacto de fatores ambientais no risco de queda entre idosos é incerto. Alguns estudos reportam que cerca de 30% a 50% das quedas entre a comunidade de pessoas mais velhas é devido a causas ambientais, enquanto outros reportam que 20% das quedas é devido a fatores externos cruciais - que levariam qualquer adulto saudável a cair (UN, 2013). Idosos apresentam problemas de escorregar, perder equilíbrio e nos mecanismos posturais de correção para prevenir quedas. Os fatores de risco extrínsecos incluem fatores ambientais, calçados, roupas e dispositivos assistivos de caminhada inapropriados.

Dentre os fatores extrínsecos, os ambientais exercem prevalência sobre os demais (Lopes *et al.*, 2007; Santos *et al.*, 2012). Excesso de móveis e objetos no ambiente, ausência de material antiderrapante no piso, condições climáticas - que podem criar condições para que o piso fique escorregadio, presença de tapetes, iluminação deficiente, presença de degraus e falta de familiaridade com o ambiente são citados como fatores de risco preponderantes. (Lopes *et al.*, 2007; Santos *et al.*, 2012; Todd e Skelton, 2004).

A associação a outros fatores pode potencializar os riscos ambientais (Lopes *et al.*, 2007). Por exemplo, pessoas com mobilidade ou acuidade visual comprometida, ou usuárias de certos tipos de medicamento são mais suscetíveis a quedas quando precisam executar manobras posturais como levantar-se, sentar-se ou movimentar em ambientes que apresentam riscos (Santos *et al.*, 2012).

Os dispositivos auxiliares, apesar de prover maior independência aos idosos, podem trazer danos físicos aos seus usuários quando utilizados de forma inadequada. Muitas situações traumáticas ocorrem devido à ausência de regulação na estrutura desses dispositivos para adequá-los a características fisiológicas de determinados grupos, incluindo os idosos, o que pode acarretar uma queda (Santos *et al.*, 2012).

2.2.3 Exposição aos Riscos

Alguns estudos sugerem uma associação “*U-Shaped*” entre o nível de atividade física e a incidência de quedas, ou seja, tanto pessoas mais inativas, quanto as mais ativas apresentam maior suscetibilidade a quedas (Todd e Skelton, 2004). Esse fato revela a complexa relação entre quedas, atividades e riscos. O tipo e a dimensão dos desafios ambientais aos quais uma pessoa idosa enfrenta interagem com os fatores de risco intrínsecos.

Um exemplo dessa complexidade é a prática de caminhadas. Sabe-se que é benéfico que pessoas se envolvam em níveis moderados dessa atividade, sobretudo as que necessitam de auxílio para caminhar, porém há o aumento no risco de quedas e na gravidade das consequências dos ferimentos decorrentes destas. Algumas atividades parecem aumentar o risco de quedas, devido à maior exposição a fatores ambientais, fadiga aguda, ou mesmo práticas inadequadas.

É muito difícil estabelecer os fatores de risco determinantes de uma queda. Por outro lado, existem evidências que os fatores intrínsecos sejam mais importantes em pessoas acima dos 80 anos (UN, 2013). As quedas entre pessoas abaixo dos 75 anos parecem ocorrer provavelmente devido a fatores extrínsecos. Alguns estudos tem revelado que o risco de cair aumenta exponencialmente na medida em que o número de fatores de risco aos quais o indivíduo é exposto aumenta (UN, 2013).

A maior probabilidade de queda depende da frequência de exposição ao ambiente inseguro e do estado funcional do idoso. Por exemplo, idosos que usam escadas regularmente têm menor risco de cair que idosos que as utilizam esporadicamente. Por outro lado, quanto mais vulnerável e mais frágil o idoso, mais suscetível aos riscos ambientais, mesmo que mínimos. Pequenas dobras em tapetes

ou fios no chão de um ambiente podem representar um problema importante para idosos com marcha comprometida. Manobras posturais e ambientais, facilmente realizadas e superadas por idosos saudáveis, associam-se fortemente a quedas em portadores de alterações do equilíbrio e de marcha. Idosos fragilizados caem durante atividades rotineiras, aparentemente sem risco (deambulação, transferência), geralmente dentro de casa, num ambiente familiar e bem conhecido (Santos *et al.*, 2012).

Devido à natureza dos fatores intrínsecos, pode-se afirmar que, para fins de monitoramento e observação, os fatores extrínsecos despertam maior interesse do ponto de vista acadêmico no que tange o uso de sensores, já que são constituídos sobretudo por elementos gerais, passíveis de se detectar e que, para alguns dos quais, existem algoritmos definidos.

2.3 Interfaces Naturais de Usuário

O termo Interfaces Naturais de Usuário (em inglês *NUI - Natural User Interfaces*) designa interfaces entre humanos e computadores as quais utilizam dispositivos não convencionais e são baseadas em elementos naturais. A palavra “natural”, nesse caso, é usada em oposição à maioria das interfaces de computador que utilizam dispositivos artificiais cuja operação precisa ser aprendida. Nesse tipo de interface, pode-se afirmar que a interação se dá baseada em conhecimentos prévios do usuário e, dessa forma, é fácil de se aprender e de se tornar experiente. (Blake, 2012)

NUIs podem ser encontradas em vários sistemas e aplicações do nosso cotidiano: telas sensíveis ao toque em computadores e *smartphones*; aplicações que utilizam comandos de voz; comandos gestuais para controlar televisores e jogos; sistemas BCI (*Brain-Computer Interface - Interface Cérebro-Computador*), onde comandos cerebrais desencadeiam a execução de tarefas.

Historicamente, a interface entre homem e computador apresenta uma evolução, na qual podem ser destacados três paradigmas (Figura 2.1) Interfaces de Linha de Comando (*CLI - Command Line Interface*), Interfaces Gráficas (*GUI - Graphical User Interfaces*) e, mais recentemente, as Interfaces Naturais (*NUIs*).

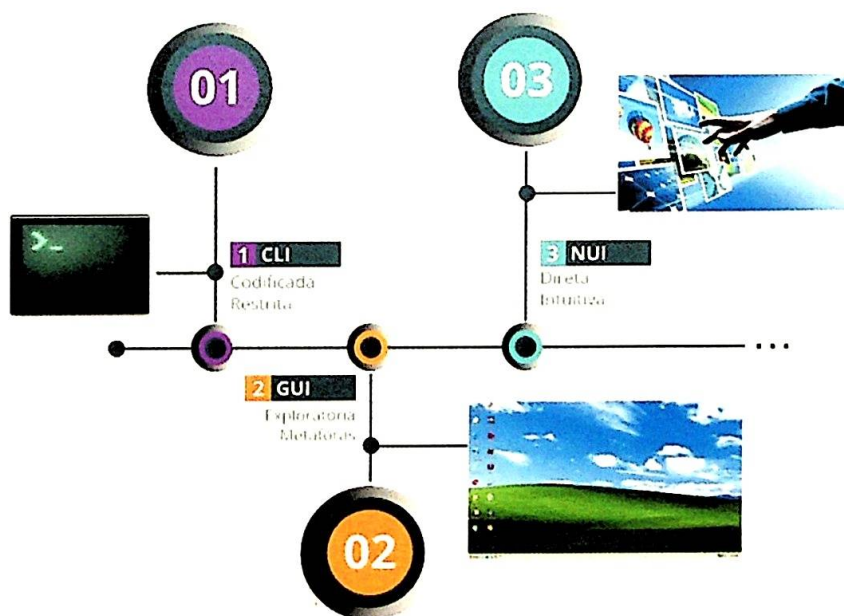


Figura 2.1: Evolução de Interfaces

Em interfaces de linha de comando, sucessivas linhas de texto (linhas de comando) são enviadas pelo usuário para o sistema. Essa interface é encontrada em sistemas operacionais mais antigos, como o MS-DOS, versões iniciais do Unix, entre outros. Geralmente, sua implementação consiste de um *prompt* capaz de aceitar os comandos de texto e convertê-los em chamadas para funções do

sistema. Esse é o tipo de interface frequentemente preferido por usuários avançados, já que fornece uma maneira concisa e poderosa de controlar um sistema.

As interfaces gráficas são atualmente as mais comuns, sobretudo aquelas baseadas no paradigma WIMP (em inglês *Windows, Icons, Menus, Pointer* — Janelas, Ícones, Menus, Ponteiro). Nesse paradigma o mouse, ou algum dispositivo similar, é usado para manipular elementos na tela (janelas, botões e menus) e, assim, realizar tarefas.

Do ponto de vista da usabilidade, interfaces gráficas introduzem benefícios como a facilidade de se lembrar de ações e de se construir modelos que se mantêm coerentes para diversas tarefas similares. O feedback visual é imediato ao indicar os efeitos de uma determinada ação. Por exemplo, ao apagar um arquivo, seu ícone é removido da tela. A grande vantagem desse tipo de interface é que elas tornam a operação do computador mais intuitiva e fácil de aprender.

Nos últimos anos, a evolução tecnológica permitiu a criação de uma gama de dispositivos que permitiram o surgimento de uma nova modalidade de interface. Esse novo paradigma é conhecido como Interfaces Naturais de Usuário. Essas podem ser definidas como “interfaces projetadas para reusar habilidades existentes para a interação direta com o conteúdo” (Blake, 2012).

2.4 Características de Interfaces Naturais

De acordo com Blake, a noção de Interface Natural evidencia três importantes conceitos fundamentais seu a respeito (Blake, 2012).

Em primeiro lugar, NUIs são projetadas, ou seja, requerem que sejam premeditadas e que sejam feitos esforços prévios para sua concepção. É preciso assegurar que as interações em uma NUI sejam apropriadas tanto para o usuário quanto para o conteúdo e o contexto. O simples fato de agrupar diversos conceitos a esmo não é suficiente para que uma interface seja considerada natural. É preciso ter ciência do papel que os projetistas precisam executar ao criar interações naturais e assegurar que seja dada à fase de projeto a mesma prioridade atribuída à fase de desenvolvimento.

Além disso, NUIs reutilizam habilidades existentes. Os usuários de aplicações são peritos em diversas habilidades que foram adquiridas pelo simples fato de serem humanos. Durante vários anos, esses usuários têm praticado a comunicação, verbal ou não verbal, além de interações com o ambiente. O poder computacional e a tecnologia evoluíram ao ponto em que é possível tirar vantagem dessas habilidades. NUIs fazem isso ao permitir que usuários interajam com computadores por meio de ações intuitivas como tocar, gesticular e falar, e apresentam interfaces as quais os usuários conseguem compreender primeiramente com metáforas extraídas de experiências do mundo real.

Finalmente, NUIs têm interação direta com o conteúdo, ou seja, o foco da interação está no conteúdo e na interação direta com ele. Isso não significa que controles, como botões ou caixas de seleção estejam totalmente ausentes na interface. Em vez disso, significa apenas que tais controles devem ser considerados secundários se comparados ao conteúdo, e que a manipulação direta do conteúdo deve ser considerado o método de interação primário.

O Capítulo 3 mostra diversos sensores de profundidade criados com a finalidade de prover Interfaces Naturais, descrevendo suas características técnicas e capacidades.

Capítulo 3

Sensores de Profundidade de Baixo Custo

Como visto, *NUIs* estão associadas ao uso de dispositivos de interação não-convencional, distintos daqueles tradicionalmente utilizados na interação homem-computador (teclado, mouse, monitor). A evolução tecnológica, e a consequente queda nos preços, possibilitou o surgimento no mercado e a popularização de diversos dispositivos adequados para aplicações que requerem captura, reconhecimento e processamento de gestos em tempo real, robótica, realidade aumentada, entre outras coisas.

Dentre esses dispositivos, destacam-se sensores de profundidade utilizando uma tecnologia de baixo custo conhecida como luz estruturada (*structured light* ou *light coding*). Nessa tecnologia, um feixe estreito de luz é projetado sobre uma superfície de formas tridimensionais, produzindo uma linha de iluminação que aparece distorcida quando observada a partir de outras perspectivas, diferentes da do projetor. Essa distorção é usada na reconstrução geométrica da superfície mapeada.

Alternativamente, projeta-se um padrão formado por vários feixes de luz ao mesmo tempo, obtendo assim informação de vários pontos simultaneamente. Os padrões mais comumente usados são formados por várias linhas paralelas em formato matricial.

Por utilizar padrões luminosos, a tecnologia de luz estruturada produz resultados melhores em ambientes internos, ou em condições de iluminação controladas. Alguns sensores utilizam padrões luminosos em frequências próximas ao infravermelho. Nesses casos, a luz solar interfere o desempenho do sensor. A seção seguinte destaca alguns sensores comercialmente disponíveis que utilizam luz estruturada e podem ser usados no desenvolvimento de aplicações.

3.1 Sensores PrimeSense

A PrimeSense foi uma companhia que se destacou no mercado de sensores de profundidade, principalmente por ser a pioneira na implementação da tecnologia de luz estruturada no espectro infravermelho. Essa empresa é responsável também pelo sistema SoC (*System-on-a-Chip*), que permite que os algoritmos computacionais que decodificam os padrões da luz infravermelha sejam executados no próprio dispositivo para gerar uma imagem contendo os dados de profundidade da cena observada, que são transferidos para o computador por meio de uma interface USB. Essa tecnologia tem a vantagem de permitir o uso desses sensores em qualquer computador, mesmo com recursos computacionais mínimos, o que é interessante em projetos de robótica. Uma possível desvantagem é que assim os desenvolvedores ficam limitados na maneira que os dados de profundidade da cena podem ser utilizados, pois têm acesso apenas aos dados já processados pelo sensor.

Inicialmente, a PrimeSense lançou o sensor Carmine 1.08, com alcance para objetos entre 0.8m e 3.5m de distância. Para distâncias menores, foi lançado o Carmine 1.09 (Figura 3.1), que apresentava a mesma tecnologia e projeto, porém voltado para distâncias na faixa de 0.35m a 1.4m.

Um outro dispositivo foi desenvolvido para ser embutido em outros equipamentos eletrônicos, como por exemplo PCs, tablets, laptops e televisores. Esse sensor foi batizado Capri 1.25 (Figura

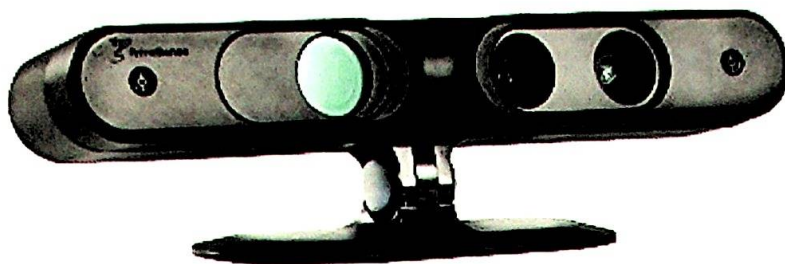


Figura 3.1: PrimeSensor Carmine 1.09

3.2), e implementava melhorias nos algoritmos do sistema SoC, incluindo técnicas 3D multi-modo, tamanho reduzido e alcance entre 0.8m e 3.25m.

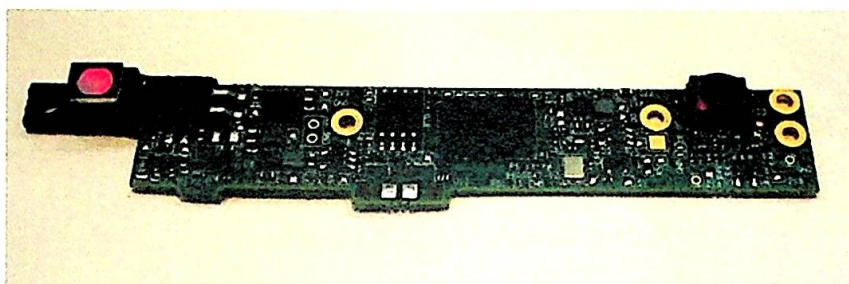


Figura 3.2: PrimeSensor Capri 1.25

Para o desenvolvimento de aplicações, todos os sensores da PrimeSense suportam um SDK de código aberto desenvolvido por um consórcio sem fins lucrativos chamado OpenNI (*Open Natural Interaction*). Esse grupo, formado em 2010, visa padronizar a compatibilidade e a interoperabilidade de dispositivos de interação natural, aplicações e *middleware*. OpenNI é um padrão reconhecido para o desenvolvimento de aplicações de visão computacional, soluções 3D para diversos dispositivos.

3.2 Sensores Asus

A ASUSTeK Computer Inc. (Asus) é uma companhia que produz diversos produtos eletrônicos, como placas-mãe, placas de vídeo, computadores portáteis e celulares. Na área de sensores de profundidade, essa empresa produziu seus próprios sensores, todos baseados na tecnologia de luz estruturada da PrimeSense: o Xtion e o Xtion Live (para usuários finais), e os mesmos sensores nas versões Pro para desenvolvedores (Figura 3.3(a) e (b), respectivamente).

A principal diferença entre os sensores Xtion Pro e Xtion Pro Live é que o primeiro possui apenas o sensor de profundidade, enquanto o último inclui também uma câmera RGB e microfones. De acordo com a própria ASUS, o objetivo do Xtion Pro Live é fornecer uma solução para desenvolvimento de implementações que requerem também o tratamento de imagens de vídeo, enquanto o Xtion Pro foca principalmente na detecção de objetos a partir de dados de profundidade.

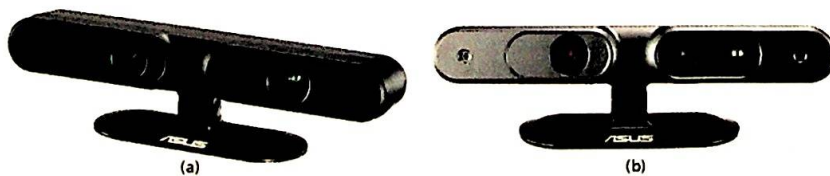


Figura 3.3: Sensores Asus Xtion Pro (a) e Asus Xtion Pro Live (b)

Desenvolvedores de aplicações podem utilizar um *middleware* chamado NiTE, que, baseado em OpenNI, provê controles por meio de gestos manuais ou corporais, e é capaz de utilizar informações de profundidade, cor, e áudio, rastreamento de usuários, entre outras coisas.

3.3 Microsoft Kinect

O sensor Kinect foi lançado comercialmente pela Microsoft em 2010, e é um dispositivo originalmente criado para prover Interfaces Naturais ao console de jogos Xbox 360. Esse dispositivo permite ao usuário controlar jogos por meio de gestos e comandos de voz. O hardware do Kinect é dotado de câmera RGB, sensor de profundidade, *array* de microfones, motor de inclinação e um acelerômetro de três eixos (Figura 3.4).

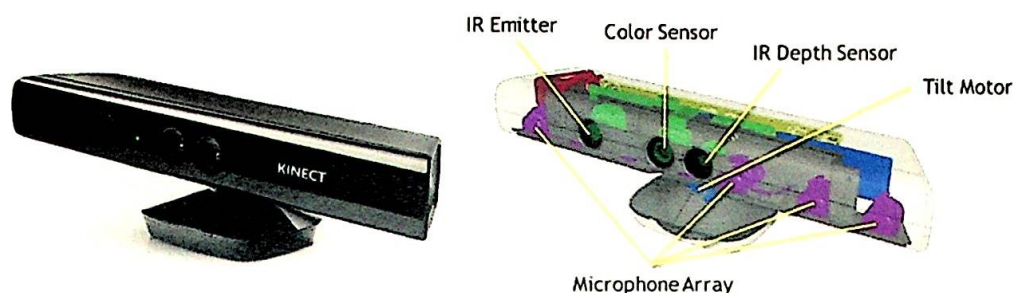


Figura 3.4: Microsoft Kinect 1.0

O sensor de profundidade do Kinect implementa a mesma tecnologia de luz estruturada criada pela PrimeSense. A resolução da profundidade (ao longo do eixo z) é de cerca de um centímetro, enquanto a resolução espacial (ao longo dos eixos x e y) é dada em milímetros. Cada quadro gerado pelo sensor de profundidade tem resolução VGA (640 x 480 pixels), contendo valores de profundidade de 11 bits, que fornecem 2048 níveis de sensibilidade. O fluxo de saída tem taxa de quadros de 30 Hz (Jana, 2012).

O fluxo de vídeo RGB utiliza resolução VGA a uma taxa de quadros de 30 Hz. O vetor de áudio consiste de quatro microfones, com cada canal processando áudio de 16 bits a uma taxa de amostragem de 16 KHz. O hardware inclui supressão de ruídos do ambiente. A Microsoft sugere que seja liberada uma área de cerca de 1.8m entre o sensor e o usuário.

Para o desenvolvimento de aplicações a Microsoft disponibiliza o Kinect SDK, compatível com Sistemas Operacionais Windows 7 ou mais recentes. O SDK possui exemplos para reconhecimento de gestos, rastreamento de usuários, processamento de áudio, uso dos dados de profundidade. Uma aplicação que despertou bastante interesse foi o KinectFusion (Newcombe *et al.*, 2011), que permite utilizar os dados de profundidade para gerar modelos 3D de maneira semiautomática. O KinectFusion foi incorporado ao Kinect SDK a partir da versão 1.7, lançada em março de 2013.

3.3.1 Microsoft Kinect 2.0

A Microsoft lançou, em novembro de 2013, uma segunda versão do Kinect, a partir do aprimoramento da tecnologia empregada no dispositivo original, compatível com o console de jogos Xbox One, conhecido como Kinect 2.0 (Figura 3.5). Entre as melhorias introduzidas, o detector de movimentos ficou mais preciso, identificando facilmente gestos sutis como mover os dedos, girar o pulso ou mesmo expressões faciais, sendo capaz e até identificar seu batimentos cardíacos ou a intensidade da força empregada em um movimento, como um soco, por exemplo.

De acordo com a fabricante, o campo de visão foi ampliado em 60%, e quantidade de usuários que podem ter seus movimentos simultaneamente capturados passou para seis, mesmo em condições de iluminação menos favoráveis. O sensor RGB tem resolução de 1080p, e o microfone permanece ativo durante todo o tempo, permitindo o uso de comandos de voz para reativar o console ou computador.

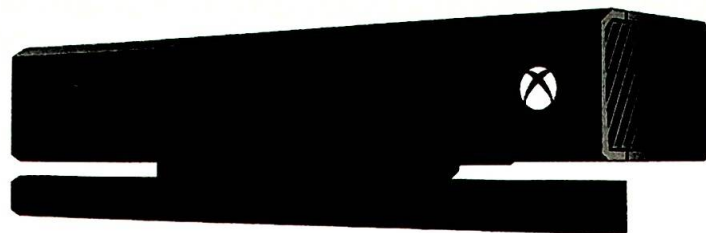


Figura 3.5: *Microsoft Kinect 2.0*

As melhorias incluem, ainda, a quantidade de articulações que podem se detectadas - 25 por usuário, em comparação às 20 do sensor Kinect da versão anterior, a capacidade detectar objetos menores e melhorias na estabilidade do rastreamento de usuários. A programação desse dispositivo permanece por conta do Microsoft Kinect SDK, disponível para Sistemas Operacionais Windows.

3.4 LeapMotion

LeapMotion é um dispositivo de interação produzido pela Leap Motion e lançado comercialmente em 2013, específico para capturar movimentos dos dedos e das mãos dos usuários. O hardware desse dispositivo é composto de duas câmeras e três LEDs infravermelhos com comprimento de onda de 850 nanômetros, ou seja, fora do espectro de luz visível (Figura 3.6).

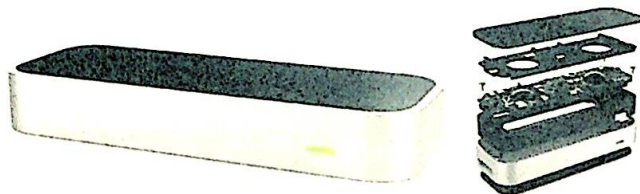


Figura 3.6: *Leap Motion*

Devido ao uso de lentes com ângulos bastante amplos, o dispositivo permite interações num espaço de 8 pés cúbicos (cerca de 0,226 metros cúbicos), no formato de uma pirâmide invertida (Figura 3.7) constituído pela intersecção dos campos de vista da câmera binocular. Nessa área, o sensor lê os os dados, realiza ajustes necessários e os transmite via USB para o software de rastreamento que é parte da API do dispositivo. No computador, esses dados formam uma imagem

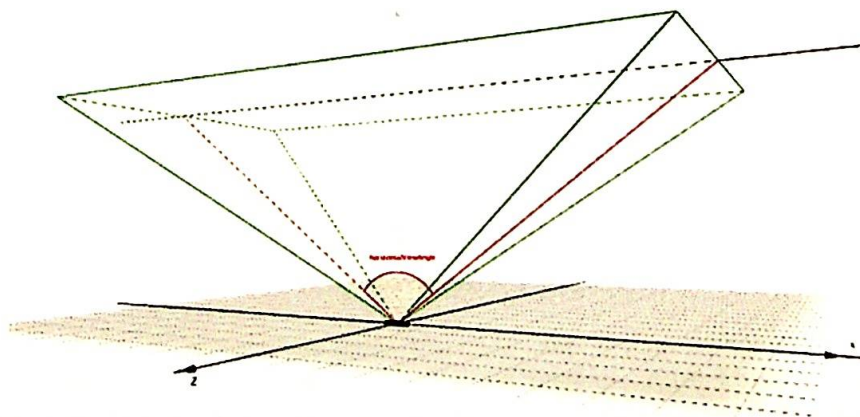


Figura 3.7: *Área de interação do LeapMotion*

estéreo em tons de cinza de todo o espectro infravermelho, separados pelas câmeras esquerda e direita. Tipicamente, os únicos objetos percebidos são aqueles iluminados diretamente pelos LEDs do controlador, entretanto a formação dessa imagem é influenciada por lâmpadas incandescentes, halógenas, bem como a luz do sol.

Uma vez que os dados da imagem são transferidos para o computador, o software LeapMotion Service processa a imagem aplicando algoritmos avançados que inicialmente removem os objetos e a luz ambiente, analisa as imagens e cria uma representação 3D. Em seguida, extrai informações a respeito de ferramentas e dedos. Os algoritmos do LeapMotion interpretam esses dados e são capazes de inferir a posição de objetos, mesmo se estiverem parcialmente ocultos.

Técnicas de filtragem são aplicadas a fim de garantir a coerência temporal dos dados e, então, os resultados são transferidos na forma de uma série de quadros, ou *snapshots*, contendo todos os dados rastreamento. Esses dados são enviados para as camadas superiores de software, onde a aplicação pode usá-los de forma a permitir uma experiência interativa.

A criação de aplicativos utilizando o LeapMotion é feita usando o SDK fornecido pela própria empresa desenvolvedora do dispositivo. Nas versões iniciais do LeapMotion SDK, não era possível ter acesso aos dados de profundidade, uma vez que esse sensor tinha como objetivo principal a detecção dos movimentos de mãos e instrumentos. A partir da versão 2.1 do SDK em , contudo, em atenção à solicitação dos desenvolvedores, foi implementado o acesso aos dados de profundidade (*raw data*) puros, possibilitando a criação de uma nova gama de aplicações.

3.5 Creative Labs Senz3D

Lançada em 2013 pela Creative Labs em parceria com a Intel, o Senz3D (Figura 3.8) possui, além do sensor de profundidade, câmera RGB e *array* de microfones para reconhecimento de voz. Disponível, por ocasião do lançamento, apenas para PCs baseados em Sistemas Operacionais Windows, permite rastreamento a curtas distâncias, variando entre 15 e 90 cm, além de rastreamento de dedos, habilidade para reconhecer e diferenciar poses estáticas e movimentos gestuais da mão, detecção e análise facial, e reconhecimento de voz.



Figura 3.8: Creative Labs Senz3D

O desenvolvimento de aplicativos para esse sensor é feito utilizando o *Intel Real Sense* SDK, que permite a criação de aplicações utilizando interações naturais e intuitivas, com capacidade para reconhecimento facial, gestos, varredura 3D e outros.

3.6 Comparativo e Considerações Finais

Tradicionalmente, diversas tecnologias têm sido empregadas no monitoramento de pessoas e captura de posturas e gestos de usuários (Cloete e Scheffer, 2010; Parajuli *et al.*, 2012), como a gravação em vídeo associada à observação manual, uso de marcadores reflexivos e câmeras especiais, sensores elétricos em músculos (Back e Clayton, 2013), sensores visuais e dispositivos de vestir

(Ozcan *et al.*, 2013), combinação de dispositivos embutidos em sapatos e sistemas de computação (Bae *et al.*, 2009), redes de sensores sem fio (Bagnasco *et al.*, 2011; Paoli *et al.*, 2012), uso de acelerômetros e tecnologia de telefonia móvel (Carlisle e Lee, 2011), pacotes de sensores de vestir (Morris e Paradiso, 2003), e monitoramento de inatividade inteligente usando detectores baseados em arrays (Sixsmith e Johnson, 2004).

Grande parte desses métodos requer que a pessoa a ser monitorada use algum sensor acoplado ao corpo, infraestrutura adequada e dispositivos especializados e, em sua maioria, caros. Por outro lado, existem dispositivos capazes de rastrear movimentos sem necessidade de se vestir sensores e que apresentam baixo custo, se comparados a outras tecnologias.

A grande vantagem dos sensores de profundidade aqui descritos reside no seu caráter não-invasivo, ou seja, não é necessário que o usuário vista o sensor ou faça qualquer adaptação corporal, ou alterações ambientais de grande impacto para que seus dados sejam capturados. Todos os sensores usam a tecnologia de luz estruturada como princípio de funcionamento. Essa tecnologia permitiu que o custo desses sensores caísse grandemente, tornando-os acessíveis para o público em geral e impulsionando pesquisas acerca de sua utilização. A Tabela ?? sumariza os sensores descritos e permite que suas características sejam dispostas lado a lado para fins de comparação.

	Ano de Lançamento	Distância Mínima	Distância Máxima	SDK	Sistema Operacional	Câmera RGB
Carminc 1.08	2013	0.8m	3.5m	OpenNI	Linux, Windows	Não
Carminc 1.09	2013	0.35m	1.4m	OpenNI	Linux, Windows	Não
Capri 1.25	2013	0.8m	3.25m	OpenNI	Linux, Windows	Não
Xtion Pro	2011	0.8m	3.5m	OpenNI	Android, Linux, Windows	Não
Xtion Pro Live	2011	0.8m	3.5m	OpenNI	Android, Linux, Windows	Sim
Kinect 1.0	2010	0.4m	4.5m	OpenNI, Kinect SDK	Linux, Windows	Sim
Kinect 2.0	2014	0.5m	4.5m	Kinect SDK	Windows	Sim
Senz 3D	2013	0.1524m	0.9906m	Real Sense SDK	Windows	Sim
LeapMotion	2013	0.025m	0.6m	LeapMotion SDK	Linux, Mac, Windows	Não

Tabela 3.1: Comparativo entre os Sensores de Profundidade

Do ponto de vista comercial, embora não exista muitas informações a respeito, pode-se afirmar que os sensores Microsoft Kinect (nas duas versões) são, sem dúvida, bem-sucedidos em comparação aos demais. Os sensores PrimeSense Carminc, PrimeSense Capri, Asus Xtion e Asus Xtion Pro encontram-se descontinuados. Essa popularidade se reflete também no meio acadêmico, evidenciada pelo grande número de pesquisas e publicações acerca desse dispositivo, abrangendo desde processos de calibração mais eficientes, avaliação dos sensores e validação para diversas aplicações, além do seu objetivo inicial de entretenimento.

O Capítulo a seguir apresenta uma revisão na literatura com o propósito de investigar e analisar o uso desses sensores em aplicações e projetos de pesquisa.

Capítulo 4

Aplicações de Sensores de Profundidade de Baixo Custo

Este capítulo apresenta uma abrangente revisão a respeito do uso de sensores de profundidade comerciais de baixo custo e suas aplicações, cobrindo desde processos de calibração mais eficientes, avaliação dos sensores e validação para diversas aplicações, além de interfaces gestuais.

4.1 Metodologia e Abrangência

O critério de inclusão dessa revisão foi de aceitar todos os artigos obtidos a partir de buscas nas bases de dados *IEEE Xplore Digital Library*¹, *Springer Link*² e *ACM Digital Library*³ pelos termos “*depth sensor*”, além dos nomes comerciais dos dispositivos “Kinect”, “Asus Xtion” e “Xtion”, “LeapMotion” e “Senz3D”, publicados desde a data de lançamento dos sensores (ou próximos a essa data) até abril de 2016. Os passos adotados nessa revisão foram:

1. buscas nas bases de dados escolhidas;
2. eliminação de trabalhos fora do escopo;
3. eliminação de trabalhos duplicados;
4. classificação dos trabalhos de acordo com a taxonomia definida;
5. análise dos resultados.

A busca inicial encontrou um total de 4386 trabalhos. Em seguida, foi feita a eliminação de trabalhos fora do escopo, aqueles que continham os termos buscados, porém eram de datas muito anteriores à do lançamento desse tipo de dispositivo, ou artigos nos quais a presença desses termos se dava por coincidência com a terminologia usada em áreas não relacionadas, como por exemplo o termo “Xtion” em trabalhos de Cálculo e “Kinect” em trabalhos de Química.

Para eliminar duplicatas, dois casos foram considerados: (1) trabalhos com título, autoria e conteúdo iguais encontrados em bases de dados diferentes e (2) trabalhos resultantes de buscas por termos diferentes. No segundo caso, houve a preocupação de verificar se o trabalho realmente dizia respeito a mais de um dispositivo (como por exemplo, avaliação ou calibração de sensores de forma geral), isso posto, foi selecionado um dos sensores para a classificação; ou se a citação a um sensor era apenas com o objetivo de estabelecer um critério de comparação com o outro, e assim sendo, o trabalho foi classificado apenas no dispositivo foco do projeto.

Após a fase de exclusões, um total de 4003 artigos diferentes foram classificados de acordo com uma taxonomia que levou em consideração seu objetivo principal, que poderia ser:

¹<http://www.ieeexplore.ieee.org>

²<http://link.springer.com/>

³<http://dl.acm.org>

- **Avaliação/Calibração do Sensor**, ou seja, apresentar técnicas para verificar se os dados entregues pelo sensor são condizentes e úteis do ponto de vista da aplicação desejada, além de técnicas para adequar/ajustar os sensores;
- **Extração de Características**, como bordas, cantos, pontos, formatos, texturas e objetos a partir de dados de profundidade, e aplicações de reconhecimento do usuário baseado em características pessoais (biometria);
- **Reconhecimento de Gestos e Posturas Corporais**, em jogos e aplicações como reconhecimento de posturas corporais para, por exemplo, interação via gestos, captura de movimentos de dança, e representação do usuário em ambientes virtuais (*avateering*),
- **Monitoramento/Vigilância e Captura de Movimentos**, para diversos fins, como por exemplo perceber comportamentos suspeitos, analisar estilos de caminhada de usuários, detectar quedas e tendência de queda sobretudo em idosos;
- **Reconhecimento de Faces**, que inclui a detecção de expressões (reconhecimento de emoções) e o rastreamento da posição da cabeça do usuário;
- **Interação via Voz e Processamento de Sinais Sonoros**, em sensores que possuem microfones;
- **Modelagem de Objetos ou Ambientes**, para a geração de objetos virtuais ou aplicações de SLAM (*Simultaneous Localization And Mapping* – Localização e Mapeamento Simultâneos);
- **Jogos Sérios/Tecnologias Assistivas**, para ensino ou para auxiliar a reabilitação física em diversas situações.

A decisão de classificar os os trabalhos de biometria em “Extração de Características” é devida unicamente ao fato de que, em última instância, dados biométricos constituem uma característica intrínseca dos usuários, sendo assim, detectar esses dados é objetivo principal dessas aplicações.

Todas as aplicações nas quais o sensor é utilizado como dispositivo de interação foram classificados como “Reconhecimento de Gestos e Posturas Corporais”, diferente daquelas em que o objetivo principal é a captura do movimento para tratamento de dados ou extração de informações foram classificados como “Monitoramento/Vigilância e Captura de Movimentos”. Em outras palavras, a captura de movimentos gestuais e posturas visando interação voluntária em sistemas foi classificada de maneira diferente da diferente de movimentos involuntários.

As aplicações do tipo SLAM, de extração de dados de profundidade para a criação de objetos ou ambientes virtuais, ou de extração de características de ambientes foram classificadas como “Modelagem de Objetos ou Ambientes”. Entende-se que essas aplicações poderiam ser incluídas em “Extração de Características”, porém a grande quantidade de trabalhos nesse sentido justifica uma classe específica para esse tipo de aplicação.

A grande quantidade de trabalhos no sentido de prover reabilitação por meio de *serious games* (jogos sérios) ou *exergames* (uma junção dos termos em inglês *exercise*-exercício- e *gaming*-jogos), além de tecnologias assistivas também serve de justificativa para a criação de uma classe taxonômica específica para essas aplicações.

4.2 Resultados Encontrados

4.2.1 Trabalhos publicados para o sensor Asus Xtion

A busca por trabalhos que se utilizam sensores da família Xtion (indistintamente) encontrou 239 trabalhos, sendo 36 na base de dados da IEEE Xplore, 7 resultados na ACM Digital Library, e 196 resultados na Springer Link. A distribuição dos trabalhos, de acordo com a taxonomia definida, se encontra na Tabela 4.1.

Objetivo Principal do Trabalho	IEEE	ACM	Springer
Avaliação/Calibração do Sensor	4	0	3
Extração de Características	9	2	79
Reconhecimento de Gestos e Posturas	11	2	46
Monitoramento e Captura de Movimentos	1	0	39
Reconhecimento de Faces	2	1	2
Interface via Voz e Processamento de Sons	0	0	0
Modelagem/ Reconstrução de Objetos 3D e Ambientes	6	2	18
Tecnologias Assistivas/ Jogos Sérios	3	0	9

Tabela 4.1: Resultados para sensores Xtion

4.2.2 Trabalhos Publicados para o sensor LeapMotion

Foi obtido um total de 59 trabalhos utilizando o sensor LeapMotion como dispositivo de interação, distribuídos da seguinte maneira:

- IEEE Xplore - 5 trabalhos classificados como “Reconhecimento de Gestos e Posturas Corporais”
- ACM Digital Library - 3 trabalhos classificados como “Reconhecimento de Gestos e Posturas Corporais”
- Springer Link- 51 trabalhos, sendo que 1 foi classificado como “Avaliação/ Calibração do Sensor”, enquanto os 50 restantes receberam a classificação de “Reconhecimento de Gestos e Posturas Corporais”.

Nota-se, para esse sensor, a clara predominância de trabalhos visando a implementação de interfaces gestuais, devido às próprias características desse dispositivo, que limitava o acesso aos dados de profundidade até o lançamento da versão 2.3 do seu SDK, em agosto de 2014.

4.2.3 Kinect

A busca por trabalhos utilizando o Microsoft Kinect obteve 2153 trabalhos na base da IEEE Xplore, 584 na ACM Digital Library e 950 na Springer Link, totalizando 3687 artigos. Da mesma forma que os sensores Asus Xtion não foram diferenciados, esse processo não separou resultados relacionados às diferentes versões do dispositivo (Kinect ou Kinect 2.0). Esses resultados, obedecendo a taxonomia estabelecida, são distribuídos de acordo com a tabela 4.2

Objetivo Principal do Trabalho	IEEE	ACM	Springer
Avaliação/Calibração do Sensor	80	10	16
Extração de Características	425	50	285
Reconhecimento de Gestos e Posturas	744	359	346
Monitoramento e Captura de Movimentos	297	35	145
Reconhecimento de Faces	97	19	22
Interface via Voz e Processamento de Sons	21	3	6
Modelagem/ Reconstrução de Objetos 3D e Ambientes	313	33	42
Tecnologias Assistivas/ Jogos Sérios	176	75	88

Tabela 4.2: Resultados para o sensor Kinect

4.2.4 Senz3D

Finalmente, a busca por trabalhos referentes ao sensor Creative Senz3D, obteve 18 resultados, distribuídos como:

- IEEE Xplore, 4 trabalhos, sendo 3 classificados em Reconhecimento de Gestos e Posturas e 1 em Jogos Sérios e Tecnologias Assistivas;
- Springer Link, com 14 trabalhos no total, dos quais 4 eram sobre a Extração de Características, 7 sobre Reconhecimento de Gestos e Posturas, 1 para aplicações de Monitoramento e Captura de Movimentos e 2 para a Avaliação do Sensor;
- ACM Digital Library, com nenhum trabalho relacionado a esse sensor.

4.3 Análise dos Resultados

A primeira citação a aplicação de sensores de profundidade de baixo custo encontrada ocorreu em uma palestra proferida por Shan ainda em outubro de 2010, intitulada “*Recent Progress in Vision-Based HCI*”, na qual foram apresentadas tendências na área de interação humano-computador (Shan, 2010).

O primeiro trabalho publicado nas bases de dados pesquisadas com resultados, por sua vez, é datado de novembro de 2010. Esse trabalho apresenta uma tentativa de implementar uma interface de toque baseada em dados de profundidade obtidos do sensor Kinect (Wilson, 2010). Considerando que o lançamento comercial desse dispositivo foi em 04 de novembro daquele ano, pode-se afirmar que houve grande interesse da comunidade desde a data em que esse sensor tornou-se disponível comercialmente.

A grande maioria dos trabalhos (92.11%) refere-se ao sensor Kinect, como mostra a Figura 4.1. Isso é devido ao sucesso comercial que esse sensor obteve, com mais de 2.5 milhões de unidades vendidas ao consumidor final no primeiro mês de comercialização - de acordo com dados publicados pela própria Microsoft⁴. Outra observação notável é a da presença de diversos trabalhos relatando aplicações em áreas diferentes da computação (sobretudo na área de saúde), as quais usam sensores diferentes do Kinect, na base de dados Springer Link.

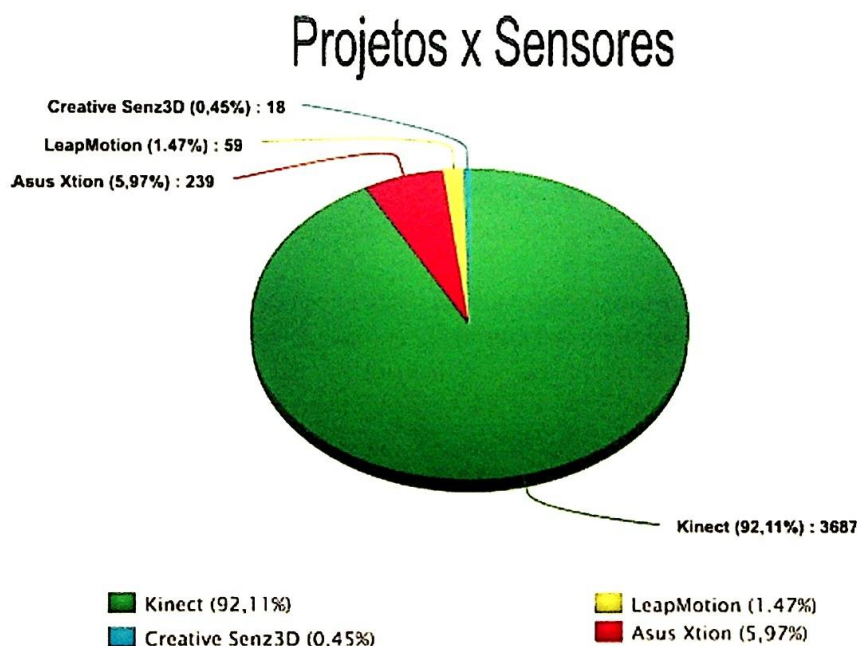


Figura 4.1: Distribuição dos Trabalhos em Relação aos Sensores de Profundidade Comerciais

Ao longo do tempo, o número de publicações de trabalhos que utilizam sensores de profundidade de baixo custo apresenta um crescimento bastante expressivo, desde 4 trabalhos nos meses de novembro e dezembro do ano do lançamento do Kinect, até 1087 no ano de 2015. Em 2016, até o

⁴<https://news.microsoft.com/2010/11/29/xbox-360-surpasses-2-5-million-kinect-sensors-sold/>

mês de março, já haviam sido encontrados 274 publicações nas bases de dados pesquisadas (Figura 4.2).

Um trabalho que merece menção é o intitulado “*KinectFusion: Real-Time Dense Surface Mapping and Tracking*” (Newcombe *et al.*, 2011), que utiliza os dados de profundidade do sensor Kinect na criação automática de modelos tridimensionais. Seu impacto foi bastante grande, tanto que Microsoft incluiu esse trabalho em sua biblioteca de exemplos da versão 1.8 do *Kinect for Windows SDK*.

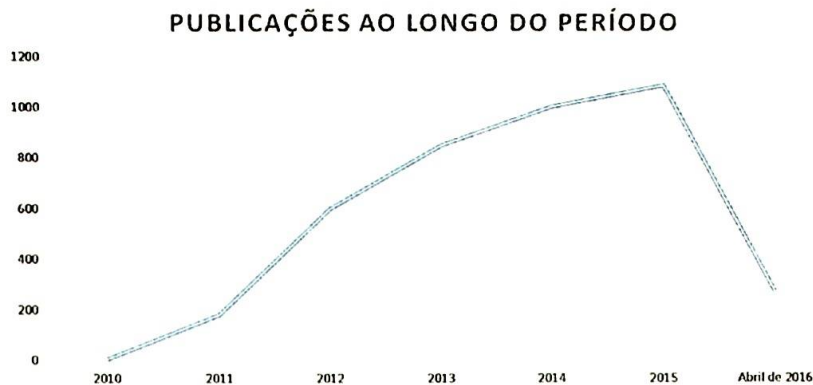


Figura 4.2: Evolução na Quantidade de Publicações utilizando Sensores de Profundidade Comerciais

Dois áreas da Computação, a Visão Computacional e a Interação Humano-Computador, exploraram mais notadamente os recursos providos por esses sensores de profundidade. Na Interação Humano-Computador, o uso desses dispositivos na criação de interfaces gestuais e interações naturais é bastante esperado, já que esse é seu objetivo primário. Uma outra utilização que chama bastante atenção é em aplicações de reconhecimento de linguagem de sinais, sendo que foram encontrados diversos trabalhos nesse sentido, para reconhecimento de linguagem de sinais para Inglês, Português, Vietnamita, Chinês, Árabe, (Geng *et al.*, 2014; Pugeault e Bowden, 2011; Sarhan *et al.*, 2015; Trindade *et al.*, 2012; Vo *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2015), entre outras.

A área de Visão Computacional, por sua vez, toma vantagem do baixo custo (de acordo com os autores de diversos trabalhos), sobretudo quando comparado a outros sensores. Além disso, os SDKs desses dispositivos introduzem características, como reconhecimento de faces, acesso aos dados brutos (“*raw data*”) de profundidade, entre outras, que facilitam o desenvolvimento desse tipo de aplicações.

O grande número de aplicações em Monitoramento de Pessoas e Captura de Movimentos pode ser compreendido se considerarmos a captura de movimentos como uma extensão inerente do objetivo inicial desses sensores. Uma vez que os dispositivos são preparados para reconhecer e interpretar movimentos corporais, é razoável pensar que diversos projetos implementariam essas funcionalidades com propósitos relacionados.

O uso dos dispositivos em Tecnologias Assistivas e Jogos Sérios é bastante intenso. Essas aplicações vão desde *exergames* para estimular o exercício, jogos sérios instrucionais e para correção postural, diagnóstico de doenças e outras aplicações. Por se tratar de atividades que envolvem movimentação corporal, também é razoável considerar a extensão dos objetivos iniciais desses dispositivos para a implementação de sistemas nesse sentido. Destaca-se, nessa área, aplicativos para promover a reabilitação de idosos, que serão detalhados no capítulo seguinte.

4.4 Aplicações de Sensores de Baixo Custo Específicas para o Público Idoso

A revisão de trabalhos utilizando sensores de profundidade investigou, entre outras coisas, um tema de pesquisa transversal e recorrente: “A utilização de sensores de profundidade em aplicações

que tem como público alvo a população idosa”. Esse tema está presente em projetos de praticamente todas as classes taxonômicas definidas na revisão, exceto, obviamente, trabalhos que se dedicam unicamente aos aspectos técnicos de avaliação e calibração dos sensores.

A motivação desses trabalhos é alinhada, em grande parte, com a motivação principal da presente tese, que é a necessidade de assegurar que o desenvolvimento tecnológico garanta a qualidade de vida da crescente parcela da sociedade que está envelhecendo, aliada a uma necessidade de desenvolver aplicações que respeitem limitações físicas desse público. Um trabalho notável observado durante o processo de revisão é o intitulado “Systematic review of Kinect applications in Elderly Care and Stroke Rehabilitation” (Webster e Celik, 2014), que apresenta uma classificação de artigos voltados tanto à reabilitação de vítimas de AVCs (Acidente Vascular Cerebral), quanto ao cuidado com idosos. Esse trabalho estabelece duas áreas principais: Cuidado com Idosos (*Elderly Care*) e Reabilitação de AVC (*Stroke Rehabilitation*).

Considerando os conceitos estabelecidos por Webster e Celik, bem como diversos trabalhos que indicam que a causa principal de mortes e invalidez entre idosos são as quedas (Parajuli *et al.*, 2012; Todd e Skelton, 2004; UN, 2013), foi proposta uma taxonomia para os trabalhos encontrados durante o processo de revisão aqui apresentado, que classifica os trabalhos em:

- Prevenção de Quedas;
- Detecção de Quedas;
- Reabilitação Após quedas.

4.4.1 Prevenção de Quedas

A prevenção de quedas está relacionada principalmente na detecção de fatores extrínsecos, como a presença de áreas desorganizadas ou obstruídas, de difícil mobilidade, como escadas ou outras intervenções arquiteturais que podem desencadear tropeços.

A prevenção também inclui aplicações voltadas a detectar deficiências de marcha via análise (*gait analysis*), e jogos sérios ou *exergames* para pessoas - que ainda não vítimas de quedas - melhorarem suas condições físicas.

Nessa categoria, foram encontrados 129 trabalhos, distribuídos da seguinte maneira:

- **Extração de Características**, com 19 trabalhos, sendo 17 oriundos da base de dados IEEE Xplore e 2 da Springer Link;
- **Modelagem de Ambientes e Objetos 3D**, com 3 trabalhos encontrados na IEEE Xplore;
- **Captura e Análise de Movimentos**, com 50 trabalhos, sendo 40 da IEEE Xplore, 1 da ACM Digital Library e 9 da Springer Link;
- **Reconhecimento de Gestos**, com 6 trabalhos da IEEE Xplore 1 da ACM Digital Library; e finalmente
- **Jogos Sérios e Tecnologias Assistivas**, com 51 trabalhos, ds quais 31 são da IEEE Xplore, 8 da ACM Digital Library e 12 da Springer Link.

Um excerto dos trabalhos encontrados se encontra na tabela 4.3

Título	Autores	Ano	Descrição
Detection of Ascending and Descending Stairways by Surface Normal Vectors	Wagner <i>et al.</i> (2015)	2015	Propõe um algoritmo capaz de identificar escadas ascendentes e descendentes, mesmo quando há presença de obstáculos.

The Design of a Purpose-Built Exergame for Fall Prediction and Prevention for Older People	Marston <i>et al.</i> (2015)	2015	<i>iStopp Falls</i> é o nome do sistema apresentado nesse trabalho, que implementa tecnologias existentes para um programa de exercícios caseiro para diminuir o risco de quedas entre idosos. Uma ferramenta foi projetada para reconhecer riscos de quedas, além de um conjunto de <i>exergames</i> para prevenção em fortalecimento de conjuntos específicos de músculos e favorecer o equilíbrio em idosos.
Improving Lives: Using Microsoft Kinect to Predict the Loss of Balance for Elderly Users Under Cognitive Load	Pisan <i>et al.</i> (2013)	2013	Propõe o uso do Kinect em um programa de exercícios específico para idosos, que mede habilidades cognitivas e físicas enquanto estimula atividade física.
KinSpace: To Provide Fall Prevention Using Kinect	Greenwood <i>et al.</i> (2013)	2013	Introduz um sistema que identifica áreas abertas e áreas que possuem obstáculos, a fim de monitorar ambientes. O sistema detecta muito bem um único objeto no ambiente, mas à medida que mais objetos são introduzidos, a acurácia do sistema cai, sobretudo para objetos pequenos posicionados longe do sensor.
Using the Kinect to Encourage Older Adults to Exercise: A Prototype	Ganesan e Anthony (2012)	2012	Apresenta os resultados iniciais de um estudo para motivar idosos a se exercitar por meio de um jogo interativo baseado no sensor Kinect. Conclui que idosos se mostraram inclinados a usar o jogo, e apreciaram o mecanismo de interação.

The Effect of Sensor-Based Exercise at Home on Functional Performance Associated with Fall Risk in Older People - a Comparison of Two Exergame Interventions	Gschwind <i>et al.</i> (2015)	2015	Compara resultados obtidos por idosos e <i>exergames</i> sem supervisão profissional utilizando 2 dispositivos: o sensor Kinect e um tapete de treinamento conhecido como SMT (<i>Step-Mat-Training</i>). O risco de quedas diminuiu com a utilização de ambos os dispositivos. O uso do SMT introduziu, ainda, melhora de funções cognitivas específicas. Conclui que é necessário melhorar a aderência aos <i>exergames</i> para maximizar os benefícios em programas de prevenção de quedas entre idosos.
An Assistive Tool for Monitoring Physical Activities in Older Adults	Dell'Acqua <i>et al.</i> (2013)	2013	Apresenta um sistema para monitoramento para idosos, com o intuito de diminuir a fadiga e estimular atividades físicas com o objetivo de reduzir o risco de quedas e melhorar a qualidade de vida.
Multi-Sensor Exercise-Based Interactive Games for Fall Prevention and Rehabilitation	Santos <i>et al.</i> (2015)	2015	Diversos dispositivos de interação foram usados no desenvolvimento de um framework para desenvolvimento de <i>exergames</i> específicos para idosos. O objetivo principal é estimular a atividade física para fortalecimento corporal e reabilitação

Tabela 4.3: *Trabalhos Relacionados a Prevenção de Quedas*

4.4.2 Detecção de Quedas

A detecção de quedas consiste em perceber o mais rápido possível se ocorreu queda por parte do usuário do sistema. Por se tratar de monitorar uma postura corporal, ou a variação ou ausência de movimento ao longo do tempo, todos os 37 trabalhos encontrados se enquadram na classe taxonômica “Captura e Análise de Movimentos”, distribuídos da seguinte forma: 20 trabalhos na IEEE Xplore, 5 na ACM Digital Library e 12 na Springer Link.

Alguns dos trabalhos encontrados são apresentados na Tabela 4.4

Título	Autores	Ano	Descrição
Fall Detection System using kinect infrared sensor	Mastorakis e Makris (2014)	2014	Um sistema para detecção de quedas que considera uma “caixa delimitadora” em torno do usuário, bem como variações no tempo para alteração de posição e tempo de inatividade
Introducing the Use of Depth Data for Fall Detection	Planinc e Kampel (2013)	2013	Apresenta três diferentes abordagens para detecção de quedas: áudio, câmeras e sensores de profundidade, obtendo resultados similares aos do estado-da-arte atual
Falls and Fainting Detection Through Movement Interaction	Garrido <i>et al.</i> (2012)	2012	Um sistema que controla as posturas de residentes em instituições de longa permanência por meio de estados de alerta e avisos. O sistema analisa posturas consideradas anormais, e considera ativar avisos ou solicitar de ações por parte de funcionários
Lower Body Motion Analysis to Detect Falls and Near Falls on Stairs	Parra-Dominguez <i>et al.</i> (2015)	2015	Um sistema para detecção de quedas durante a navegação em escadas, associado a um sistema de aprendizado de máquina
Skeleton Clustering by Multi-Robot Monitoring for Fall Risk Discovery	Deguchi <i>et al.</i> (2015)	2015	Um sistema que analisa a qualidade da marcha dos usuários a fim de detectar quais estilos de caminhada podem levar a quedas
Depth-Based Human Fall Detection via Shape Features and Improved Extreme Learning Machine	Ma <i>et al.</i> (2014)	2014	Um conjunto de dados para seis movimentos (cair, inclinar, sentar, agachar, andar e deitar) foi obtido utilizando o sensor Kinect. Depois, técnicas de aprendizado de máquina foram aplicadas na classificação de ações, obtendo resultados da ordem de 86% de acerto em quedas propositais

Unobtrusive Indoor Surveillance of Patients at Home Using Multiple Kinect Sensors	Ghose <i>et al.</i> (2013)	2013	Um sistema de monitoramento não invasivo para detectar a localização e a atividade de uma pessoa. Por utilizar apenas os dados das articulações (impossibilitando identificação), os autores garantem que, dessa forma, o sistema preserva a privacidade dos usuários
A Novel Methodology for Assessing the Fall Risk Using Low-Cost and Off-the-Shelf Devices	Loncomilla <i>et al.</i> (2014)	2014	Uma metodologia para determinar o risco de queda usando dispositivos comerciais de baixo custo. Conclui que tais dispositivos fornecem informações valiosas sobre a determinação do risco de queda. O uso do sensor Kinect fornece dados importantes no que diz respeito à movimentação dos usuários e, quando integrado a outros dispositivos de baixo custo, nesse caso, o Nintendo Wii Balance Board, os resultados tornam-se bastante relevantes.

Tabela 4.4: Trabalhos Relacionados a Detecção de Quedas

4.4.3 Reabilitação após Quedas

Nessa categoria enquadram-se as aplicações para avaliar o impacto das quedas ou diagnosticar pacientes em processo de recuperação após uma queda, bem como as aplicações para análise de movimentos em sessões de fisioterapia e *exergames* ou *serious games* para fortalecimento físico pós-queda.

Ao todo, foram encontrados 26 trabalhos em “Tecnologias Assistivas e Jogos Sérios”, sendo 5 deles na IEEE Xplore, 11 na ACM Digital Library e 10 na Springer Link; os demais pertenciam à classe “Captura e Análise de Movimentos”, onde foram encontrados 7 trabalhos no total, sendo 6 da IEEE Xplore e 1 da Springer Link, como mostra a Tabela 4.5

Título	Autores	Ano	Descrição
Balance Disorder Rehabilitation Through Movement Interaction	Garrido <i>et al.</i> (2013)	2013	Um sistema para monitoramento em exercícios de reabilitação no sentido de gerar indicações e correções para os pacientes, dispensando o deslocamento para centros médicos

Prescription Software for Recovery and Rehabilitation Using Microsoft Kinect	Simmons <i>et al.</i> (2013)	2013	Um sistema de baixo custo que dá apoio à recuperação de pessoas em hospitais, ou mesmo em casa, por meio do envolvimento em aplicações (jogos) com objetivos personalizados a cada sintoma do paciente. A aplicação captura dados em tempo real e os analisa, para prover informações aos terapeutas a respeito do progresso do paciente e melhorar a assistência individualizada que pode ser aplicada
Human Motion Tracking for Rehabilitation using Depth Images and Particle Filter Optimization	Penelle e Debeir (2013)	2013	Um algoritmo para rastreamento de usuários em exercícios de reabilitação. Dependendo das condições de uso, o algoritmo apresenta erro de apenas alguns milímetros e alguns graus entre os dados capturados e posição real dos pacientes

Tabela 4.5: Trabalhos Relacionados a Reabilitação após Quedas

4.5 Síntese e Análise Final da Revisão

Uma síntese de todo o processo de revisão acerca do uso de sensores de profundidade de baixo custo na Computação, e mais especificamente, sua aplicação em trabalhos voltados a idosos é apresentada na Figura 4.3.

A partir desses resultados, pode-se concluir que, dentre as aplicações de sensores de profundidade voltadas especificamente para o monitoramento e reabilitação de idosos, a área de prevenção de quedas é a mais explorada.

A motivação dessa vantagem na quantidade de trabalhos é evidente. É melhor antecipar e, se possível, evitar a ocorrência de uma queda do que lidar com medidas corretivas. Além disso, existem diversas abordagens aplicáveis nesse sentido, seja a detecção de interferências ambientais, ou a observação de características próprias do usuário. Dentre as diversas características do usuário, a maneira de caminhar (*gait analysis*) tem despertado bastante interesse dos pesquisadores, uma vez que esse tipo de dispositivo possui relativa facilidade de implementação de aplicações capazes analisar essa característica.

A detecção de quedas basicamente consiste em analisar posturas do usuário. Alguns trabalhos exploram a falta de mobilidade do usuário por algum tempo em posição horizontal (Garrido *et al.*, 2012; Mastorakis e Makris, 2014), outros exploram a distância média das articulações em relação ao solo (Kawatsu *et al.*, 2013), além de outras abordagens, como o ângulo de inclinação entre o torso do usuário e o plano horizontal (Kawamoto e Corrêa da Silva, 2013). Após a detecção, é importante que o sistema seja capaz de minimizar os efeitos da queda, pelo disparo de ações programadas, como emissão de sinais sonoros ou chamar uma outra pessoa responsável. É importante notar, ainda, que alguns sistemas tratam da confirmação da queda, seja por interação via voz ou interface gestual (Garrido *et al.*, 2012; Ghose *et al.*, 2013; Kawatsu *et al.*, 2013).

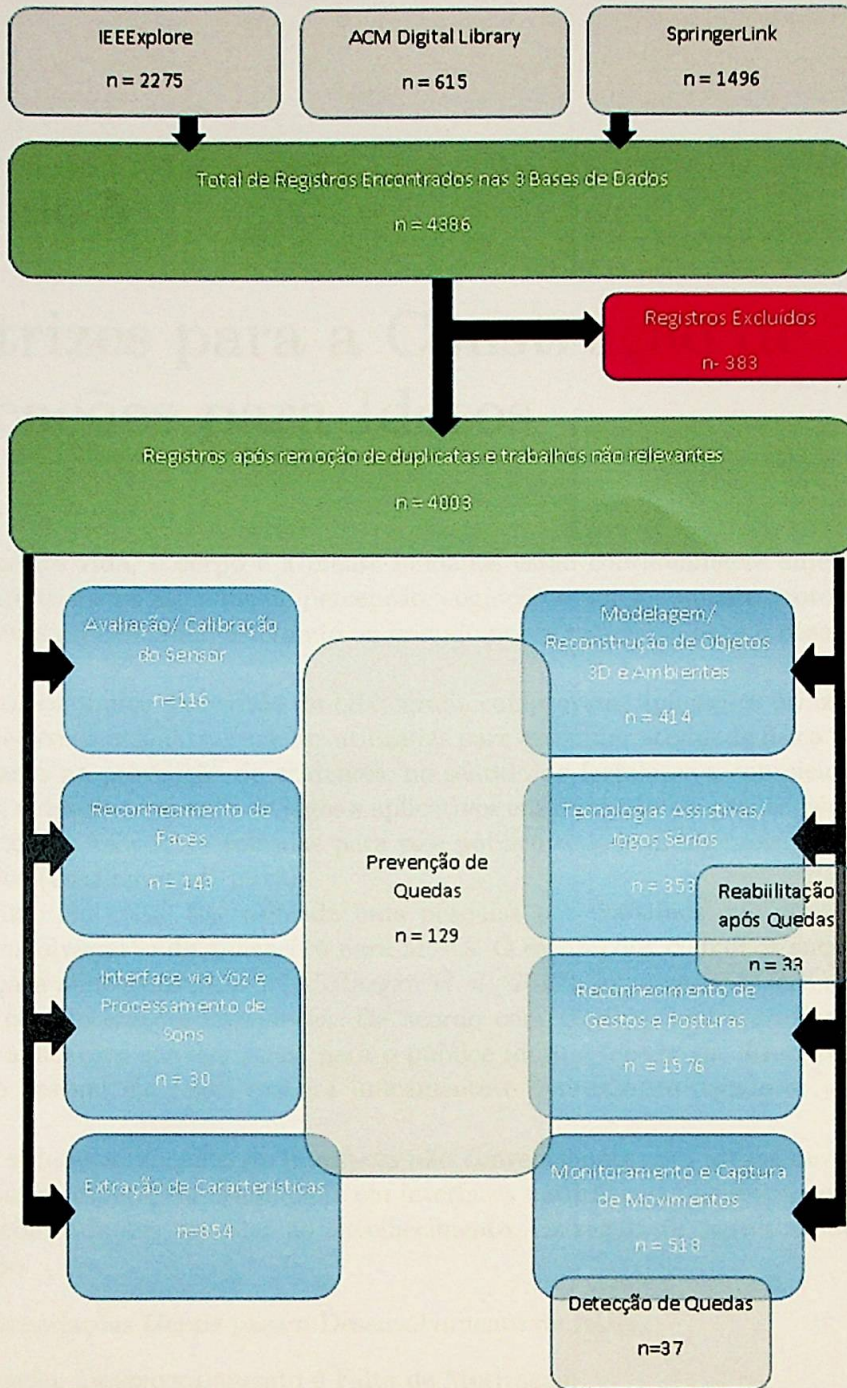


Figura 4.3: Processo de Revisão Sobre Sensores de Baixo Custo e Aplicação com Idosos

Finalmente, a reabilitação após a ocorrência de quedas lida tão somente com correções posturais em sessões de fisioterapia ou *exergames*. Essa área apresenta muitos trabalhos correlatos com a área de prevenção, já que os mesmos exercícios podem ser usados para estimular a atividade física no sentido de fortalecer o usuário tanto antes quanto depois de um acidente, desde que sejam respeitadas limitações óbvias, como por exemplo as sequelas de ordem física e motora (Penelle e Debeir, 2013; Santos *et al.*, 2015; Yeh *et al.*, 2012). Cabe destacar que outros trabalhos que lidavam com reabilitação, sobretudo após AVCs, foram encontrados, porém não foram levados em consideração por não serem específicos do tratamento de quedas.

Capítulo 5

Diretrizes para a Construção de Aplicações para Idosos

Ao longo da vida, o corpo e a mente humanos estão continuamente sujeitos a alterações em praticamente todos os aspectos de percepção, cognição e funcionamento motor. O envelhecimento introduz novas necessidades, alterando ou criando novos requisitos para o desenvolvimento de aplicações.

Como os resultados da revisão da bibliografia comprovam, aplicações utilizando dispositivos de interação não convencional podem ser utilizadas para estimular atividade física tanto na reabilitação motora quanto na prevenção de acidentes, no sentido de fortalecer a compleição física dos idosos. Entretanto, o desenvolvimento de jogos e aplicativos em geral não leva em consideração as alterações nos requisitos de aplicações voltadas para esse público e podem, algumas vezes, fornecer perigo a seus usuários (Gerling *et al.*, 2010).

Tendo isso em vista, foi realizada uma pesquisa por trabalhos que visam fornecer diretrizes para o desenvolvimento de aplicações para idosos. O escopo dos trabalhos encontrados varia desde interfaces para aplicações móveis (Al-Razgan *et al.*, 2012), jogos sérios (Gerling *et al.*, 2012a,c) até aplicações com interações complexas. De acordo com Gerling, embora existam casos em que o projeto de aplicações convencionais para o público idoso é focado em diretrizes e estudos de caso, a interação gestual em jogos explora unicamente o contexto de jogadores jovens Gerling *et al.* (2012a).

Assim, o desenvolvimento de interfaces não convencionais para idosos deve respeitar tanto recomendações a respeito da usabilidade em interfaces naturais e ao gerenciamento do esforço físico, além de recomendações voltadas ao envelhecimento. Os seguintes aspectos devem ser levados em consideração:

- Recomendações Gerais para o Desenvolvimento de NUIs;
- Hesitação, Desencorajamento e Falta de Motivação;
- Declínios na Acuidade Visual e Motora;
- Alterações na Cognição;

As **Recomendações Gerais para o Desenvolvimento de NUIs** se aplicam ao desenvolvimento de interfaces naturais, independente da idade do público alvo, enquanto as três demais lidam especificamente com requisitos relacionados a usuários idosos. Essas recomendações são detalhadas a seguir.

5.1 Recomendações Gerais para o Desenvolvimento de NUIs

Blake define quatro diretrizes para o projeto de interfaces naturais, independente do tipo de interação: Experiência Instantânea (*Instant Expertise*), Carga Cognitiva (*Cognitive Load*), Apre-

dizagem Progressiva (*Progressive Learning*) e Interação Direta (*Direct Interaction*) (Blake, 2012).

A **Experiência Instantânea** pressupõe que as interações projetadas devem reutilizar habilidades existentes. Ao fazer isso, o investimento prévio feito pelos usuários em suas competências é aproveitado e peritos são criados instantaneamente. Tanto no mundo real quanto numa interface, o processo mais difícil é o de aprendizagem. Assim que uma habilidade é aprendida, torna-se bem mais fácil exercitá-la (Blake, 2012).

Os usuários possuem diversas habilidades antes mesmo de usar qualquer aplicação, muitas das quais têm sido exercitadas desde a infância. Interações que reutilizam habilidades existentes permitem que os usuários tornem-se práticos rapidamente e com pouco esforço. Blake conjectura que existem duas maneiras de criar peritos instantaneamente: aproveitar habilidades específicas do domínio como, por exemplo, em uma aplicação que simula o uso de uma ferramenta, a interação se dá pela imitação dos mesmos movimentos; e aproveitar habilidades comuns a todos os humanos, como empurrar, acenar, mover a cabeça ou o corpo (Blake, 2012).

A **Carga Cognitiva** implica em projetar interfaces nas quais a maioria das interações usam habilidades inatas e simples. Isso introduz como benefícios o fato de que a maior parte da interface será fácil de usar; e a interface será rápida para se aprender, mesmo que algumas das habilidades sejam completamente novas. Se a interface usar habilidades baseadas em interações naturais com o mundo real, a frequência de interações é muito mais alta (Blake, 2012).

Existe uma relação de custo-benefício entre a Experiência Instantânea e a Carga Cognitiva. Essas diretrizes podem, inclusive, entrar em conflito quando usuários já são dotados de uma habilidade útil como, por exemplo, o uso do mouse. O foco, nesses casos, deve recair em minimizar a carga cognitiva para a maior parte das interações, reutilizando habilidades simples existentes. No caso do mouse, embora seja possível assumir que os usuários já tenham experiência prévia, uma interface de toque é preferível, uma vez que o uso do mouse exige mais aprendizado do que usar os dedos.

A **Aprendizagem Progressiva** prevê uma curva de aprendizado suave a partir de tarefas básicas até as tarefas avançadas. Interfaces Naturais devem permitir que seus usuários aprendam e evoluam progressivamente, partindo de novatos até o nível de peritos. Ao mesmo tempo, as interfaces não podem dificultar que usuários experientes consigam realizar tarefas avançadas da melhor maneira. Essa diretriz implica em permitir o uso da aplicação ao mesmo tempo em que tarefas mais complexas são aprendidas (Blake, 2012).

Finalmente, a **Interação Direta** estabelece que as interações devem se relacionar diretamente com o conteúdo; ocorrer em frequência alta e ser apropriadas ao contexto. Uma vez que nossas interações com o mundo real apresentam essa característica, a adoção de interações diretas resulta em interfaces mais fluidas e naturais, e permitem acesso a muitas funcionalidades sem sobrecarregar o usuário apresentando-as todas ao mesmo tempo. Um exemplo de Interação Direta é mover um objeto, em uma interface de toque, posicionando o dedo sobre o mesmo e arrastando ao longo da tela até a posição desejada (Blake, 2012).

As quatro diretrizes de Blake versam sobre as habilidades, tarefas e interações de Interfaces Naturais. Enquanto a Experiência Instantânea e a Carga Cognitiva definem orientações para tarefas individuais, a Aprendizagem Progressiva discute a sequência dessas tarefas em uma aplicação, enquanto a Interação Direta está relacionada à qualidade da interação entre usuário e conteúdo da aplicação (Blake, 2012).

Além do conjunto de diretrizes proposto por Blake, a Microsoft propõe outro conjunto, específico para interfaces baseadas em gestos (Microsoft Corporation, 2013). Essas diretrizes são originalmente definidas para o Microsoft Kinect, porém podem ser estendidas sem perda de importância ou aplicabilidade para qualquer interface gestual.

As diretrizes da Microsoft recomendam o uso de interações simples, fáceis de aprender e de dominar. Além disso, deve-se evitar a interpretação incorreta da intenção do usuário e enviar feedback das ações do usuário constantemente, para que esse fique ciente do que está acontecendo e o que pode esperar. Caso a interface utilize interação via voz, sugere-se que os sons sejam claros e bastante distintos entre si. Recomenda-se, ainda, evitar a aliteração (repetições do mesmo som em uma sentença), palavras que rimam, palavras com mesma quantidade de sílabas, sons com vogais em

comum, e o uso de palavras iguais em diferentes frases, além de fornecer alternativas de interação, utilizando outros dispositivos de entrada (Microsoft Corporation, 2013).

5.2 Recomendações Relacionadas a Hesitação, Desencorajamento e Falta de Motivação

De acordo com Pernice e Nielsen, 45% dos idosos apresentaram comportamento que indicava desconforto ao tentar coisas novas ou hesitação para explorar novas tecnologias (Pernice e Nielsen, 2008). Para estimular os idosos a engajar e se envolver jogos de computador, Gerling propõe algumas recomendações (Gerling e Smeddinck, 2013), extensíveis para outras aplicações, quando possível:

- o jogo/aplicação deve ser lúdico, ou seja, as pessoas precisam se divertir passar o tempo jogando;
- se possível, o jogo deve envolver outros jogadores. A razão é que jogar com outros tende a ser mais atraente do que jogar sozinho; isso também justifica a próxima recomendação,
- os usuários devem ser encorajados a usar colaboração e competição;
- os jogos/aplicações devem ser desenvolvidos de acordo com o gênero dos usuários, uma vez homens e mulheres podem ter diferentes tópicos de interesse.

5.3 Recomendações para Limitações Físicas e Cognitivas Relacionadas ao Envelhecimento

O envelhecimento é acompanhado por diminuições nas habilidades motoras e cognitivas. À medida que as pessoas envelhecem, tarefas mais complexas são realizadas mais lentamente e, em alguns casos, com menor precisão. Além disso, os sentidos se tornam menos aguçados, diminuindo assim a quantidade e qualidade das informações recebidas do ambiente na forma de som, luz, odores, sabores e toques, as quais são convertidas em sinais nervosos conduzidos ao cérebro, onde são transformadas em sensações significativas.

Assim, o declínio nas capacidades físicas é um dos problemas gerais que acometem idosos. Usualmente, os idosos são mais lentos tanto na movimentação quanto no tempo de resposta, e consideram difícil encontrar objetos pequenos, além de terem movimentos menos precisos que jovens. Dessa forma, pode-se deduzir que os idosos possuem mais dificuldade em lidar com interações de computador em geral, as quais não são projetadas para eles (Phiriyapokanon, 2011)

Na literatura, podemos encontrar diversos trabalhos que endereçam a diminuição na memória e cognição entre idosos. De acordo com Bouwhuis, a velocidade de processamento parece ser a diferença crucial entre pessoas mais jovens e mais velhas, o que leva a crer que na ideia que o mundo percebido também é tipificado por seu próprio curso de eventos (Bouwhuis, 2003).

Ainda de acordo com Bouwhuis, a perda de memória em idosos é essencialmente relacionada ao mesmo problema de sincronicidade. A memória principal dificilmente é afetada em idades avançadas, por envolver a retenção poucos itens com o mínimo de processamento. Entretanto, à medida que o número de informação a ser lembrada aumenta, o desempenho da memória cai rapidamente (Bouwhuis, 2003).

Diversos trabalhos investigando como o declínio na memória pode ser mitigado pela estimulação por meio de jogos fornecem uma lista de recomendações:

- evitar o uso de informações anteriores, tais como em jogos do tipo RPG (*Role Playing Games*) (Gerling e Smeddinck, 2013; Ijsselsteijn *et al.*, 2007; Phiriyapokanon, 2011);
- utilizar interações simples (Al-Razgan *et al.*, 2012; Ijsselsteijn *et al.*, 2007; Phiriyapokanon, 2011);

- evitar interações rápidas, complexas, bem como ações paralelas (Gerling e Smeddinck, 2013; Ijsselsteijn *et al.*, 2007; Phiriyaokanon, 2011);
- estender o tempo de aprendizado (Gerling e Smeddinck, 2013);
- incorporar metáforas familiares (Gerling e Smeddinck, 2013; Phiriyaokanon, 2011);
- fornecer informações adicionais e mais detalhadas ao longo do jogo (Gerling e Smeddinck, 2013);
- evitar telas muito complexas (Al-Razgan *et al.*, 2012; Group, 2001; Ijsselsteijn *et al.*, 2007; Pernice e Nielsen, 2008; Phiriyaokanon, 2011; Redish e Chisnell, 2004);
- manter mínimo o nível de esforço em memória e processamento cognitivo (Ijsselsteijn *et al.*, 2007; Phiriyaokanon, 2011);
- evitar contradições e inconsistências de arranjo de informação, pois essas podem confundir os usuários (Phiriyaokanon, 2011);
- em interfaces gestuais, utilizar um pequeno conjunto de movimentos fáceis (Gerling *et al.*, 2012d).

O declínio nas habilidades físicas afeta todos os sentidos, entretanto, em aplicações interativas, a visão e a audição são os sentidos mais estimulados e, por isso, carecem maior atenção. De acordo com (Phiriyaokanon, 2011), os problemas relacionados à perda de visão em idosos tornam-se mais óbvios em torno dos 60 anos de idade. O campo visual reduz, o que obriga ajustar o ponto focal dos dispositivos de interação para que sejam mais destacados e próximos ao centro do campo visual.

Pessoas mais velhas possuem menos sensibilidade ao contraste de cores do que os jovens, especialmente no espectro azul-verde. Além disso, os idosos possuem a capacidade de detectar frequências diferentes de tons sonoros diminuída. A audição é afetada, e se torna difícil ouvir sons de alta frequência com picos acima de 2500 Hz (Phiriyaokanon, 2011).

Para preservar a qualidade dos estímulos sonoros e visuais fornecidos aos idosos, recomenda-se:

- utilizar tamanho adequado e cores contrastantes para objetos e textos (Al-Razgan *et al.*, 2012; Gerling e Smeddinck, 2013; Group, 2001; Ijsselsteijn *et al.*, 2007; Pernice e Nielsen, 2008; Phiriyaokanon, 2011; Redish e Chisnell, 2004);
- evitar síntese de voz, uma vez que ela pode ser de difícil compreensão por parte dos idosos (Ijsselsteijn *et al.*, 2007; Phiriyaokanon, 2011);
- para sinais de áudio que não sejam vocalizações, utilizar sons de menor frequência (na faixa entre 500-1000 Hz), que são mais fáceis de serem ouvidos pelos idosos do que sons de alta frequência (Bouwuis, 2003; Phiriyaokanon, 2011);
- evitar objetos pequenos e elementos de interface móveis (Bouwuis, 2003);
- utilizar cenários com boa iluminação e tentar criar intuitividade (Bouwuis, 2003).

5.4 Mapeamento entre Recomendações para Interfaces Naturais e para o Desenvolvimento de Aplicações para Idosos

Outra contribuição do presente trabalho foi estabelecer uma intersecção entre as recomendações encontradas na literatura para o desenvolvimento de aplicações voltadas para idosos e as recomendações para a construção de interfaces naturais criando, assim, diretrizes para o desenvolvimento de interfaces naturais específicos para idosos. Essa intersecção permitiu mapear quais, e quão adequadas são as diretrizes específicas para NUIs que podem ser aplicadas ou adaptadas para que satisfaçam também o projeto de aplicações para idosos.

Durante o processo de mapeamento, foram encontrados casos em que houve correspondência direta (um-a-um) entre recomendações provenientes dos dois conjuntos observados. Essas recomendações são apresentadas na Tabela 5.1 .

Recomendações para NUI	Problemas Relacionados à Idade
Uso de Sons Distintos	Declínio na Acuidade Visual e Motora
Evitar Poses Desconfortáveis	Declínio em Habilidades Motoras
Evitar Repetições Frequentes	Declínio in Habilidades Motoras
Uso de Gestos Intuitivos	Alterações na Cognição
Aprendizado Progressivo	Falta de Motivação
Carga Cognitiva	Falta de Motivação
Gestos Aprendidos	Falta de Motivação
Evitar Esperas Desnecessárias	Declínio in Habilidades Motoras
Considerar Dispositivos de Entrada Comuns	Hesitação e Desencorajamento
Uso de Gestos Inatos	Hesitação e Desencorajamento
Permitir Utilizar a Aplicação enquanto novas Tarefas são Aprendidas	Hesitação e Desencorajamento

Tabela 5.1: *Recomendações para NUI destinadas a um problema relacionado ao Envelhecimento*

Outras recomendações para o desenvolvimento de NUIs, por sua vez, foram mapeadas para amenizar/solucionar de mais de uma incapacidade. As seguintes recomendações endereçam tanto o **Declínio na Acuidade Visual e Auditiva** quanto **Alterações na Cognição**:

- uso de frases curtas;
- adoção de palavras naturais e de fácil memorização;
- uso de vocabulário simples;
- oferta de alternativas para comandos via voz;
- fornecimento de mensagens de confirmação.

Voltadas tanto para **Hesitação e Desencorajamento** quanto para **Falta de Motivação**, por sua vez, as seguintes recomendações foram mapeadas:

- interação direta;
- experiência instantânea;
- feedback constante;
- uso de interações simples;
- facilidade em aprender e dominar;
- evitar a má interpretação;
- mecanismos de interação precisos, rápidos e confortáveis.

Finalmente, a recomendação para NUI de usar interações relacionadas ao conteúdo foi mapeada para **Alterações na Cognição e Hesitação e Desencorajamento**.

5.5 Considerações Finais a Respeito das Diretrizes

Duas recomendações para NUIs não foram consideradas específicas apenas para o desenvolvimento de aplicações para idosos: o uso de testes frequentes com usuários e a adoção de testes de usabilidade desde as fases iniciais do projeto. Apesar disso, sabe-se que, devido ao caráter inovador dos dispositivos não convencionais usados em NUI, essas recomendações certamente se aplicam, também, ao desenvolvimento para idosos.

Convém destacar a grande intersecção entre a **Hesitação e Desencorajamento** e a **Falta de Motivação**, devida à inerente correlação existente entre essas incapacidades. Para fins desse mapeamento, considerou-se que a **Hesitação e Desencorajamento** diz respeito à resistência ao uso de uma nova tecnologia/aplicação, enquanto a **Falta de Motivação** se caracteriza por conhecer o mecanismo de interação de uma aplicação, e ainda assim evitar utilizá-la.

Percebe-se ainda a existência de uma grande intersecção entre **Declínio na Acuidade Visual e Auditiva** e **Alterações na Cognição**. Deve-se isso à natureza dessas incapacidades, ambas relacionadas a aspectos fisiológicos do usuário. De certa forma, a diminuição nos sentidos afeta a percepção e isso eventualmente implica na aquisição de conhecimento (Schultz e Schultz, 2005), logo as recomendações voltadas a mitigar os efeitos da perda de visão e audição são inerentemente relacionadas às relacionadas à cognição.

Capítulo 6

Validação das Recomendações e Implementação de Algoritmos

A fim de validar a aplicabilidade de sensores de baixo custo no monitoramento de idosos, bem como as recomendações para criação de Interfaces Naturais para idosos, foram implementadas algumas aplicações. Para validar a capacidade de monitoramento de idosos, foram implementadas duas aplicações, sendo uma para detectar posturas e quedas em usuários, e outra para visualização de fatores ambientais que poderiam implicar em riscos de quedas. Para avaliar as recomendações para o desenvolvimento de aplicações interativas para idosos, foram implementadas duas aplicações que utilizam interações gestuais, seguidas de avaliações de usabilidade.

6.1 Ferramenta para Visualização de Escadas

A presença de escadas em ambientes é um fator importante de causa de quedas (Todd e Skelton, 2004; UN, 2013; Wagner *et al.*, 2015). Para atestar a capacidade de sensores de profundidade na detecção de fatores ambientais, bem como reproduzir resultados obtidos em outros estudos, foi implementada uma aplicação para visualizar escadas e outras intervenções arquiteturais em ambientes baseada unicamente em dados de profundidade obtidos diretamente do sensor Kinect, mesmo em condições desfavoráveis de iluminação para humanos.

A visualização de escadas implementada nessa validação é feita utilizando os dados do sensor de profundidade. Toda vez que os dados de profundidade estão prontos, um evento dispara o método `SensorDepthFrameReady`, que faz o tratamento desses dados e gera uma imagem *bitmap*, na qual todos os pontos localizados a uma mesma distância do sensor são coloridos com a mesma cor. A interface da primeira implementação dessa ferramenta é apresentada na figura 6.1.



Figura 6.1: Interface da Aplicação de Visualização de Escadas

Uma vez obtido o mapa de bits, essa imagem é exibida na interface da aplicação, de forma

que uma pessoa consiga visualizar a presença da escada, mesmo se o ambiente estiver com baixa iluminação. O código que realiza essa operação é apresentado a seguir.

```

1 private void depthFrameReady(object sender, DepthImageFrameReadyEventArgs e)
2 {
3     DepthImagePoint depthPoint = new DepthImagePoint();
4     using (DepthImageFrame depthFrame = e.OpenDepthImageFrame())
5     {
6         if (depthFrame != null)
7         {
8             // Copia os dados de profundidade da imagem para um vetor temporario
9             depthFrame.CopyDepthImagePixelDataTo(this.depthPixels);
10
11             // obtem as profundidades minima e maxima do quadro
12             int minDepth = depthFrame.MinDepth;
13             int maxDepth = depthFrame.MaxDepth;
14
15             // Converte a profundidade para um valor RGB
16             int colorPixelIndex = 0;
17             //Para cada pixel do vetor temporario
18             for (int i = 0; i < this.depthPixels.Length; ++i)
19             {
20                 // obtem a profundidade do pixel
21                 short depth = depthPixels[i].Depth;
22
23                 // Converte para 1 byte de intensidade,
24                 // Valores fora da faixa entre minDepth e maxDepth
25                 //sao mapeados para a 0 (preto)
26                 byte intensity = (byte)(depth >= minDepth && depth <= maxDepth ? depth :
27                     0);
28
29                 // utiliza o valor do byte obtido para preencher as 3 intensidades
30                 // iniciando pela cor azul
31                 this.colorPixels[colorPixelIndex++] = intensity;
32
33                 // em seguida a cor verde
34                 this.colorPixels[colorPixelIndex++] = intensity;
35
36                 // e finalmente a cor vermelha
37                 this.colorPixels[colorPixelIndex++] = intensity;
38
39                 // Como esta sendo usando o formato BGR, os ultimos bits sao ignorados.
40                 // Se houvesse informacao de transparencia (BGRA),
41                 // os valores alpha seriam inseridos aqui
42                 ++colorPixelIndex;
43             }
44
45             // Grava o pixel de cor no mapa de bits
46             this.colorBitmap.WritePixels(
47                 new Int32Rect(0, 0, this.colorBitmap.PixelWidth, this.
48                     colorBitmap.PixelHeight),
49                 this.colorPixels,
50                 this.colorBitmap.PixelWidth * sizeof(int),
51                 0);
52         }
53     }
54 }

```

Pela interface apresentada na Figura 6.1, observa-se que o mapeamento direto de dados de profundidade para uma imagem apresenta bastante “ruído”. Para amenizar esse efeito, foi aplicado um método (CreateFilteredDepthArray) que atua diretamente nas informações de profundidade do sensor. Esse método é invocado tão logo os dados de profundidade são copiados para o vetor de pixels de profundidade depthPixels - linha 31 do código, da seguinte forma:

```

this.depthPixels = this.smoothingFilter.CreateFilteredDepthArray(this.depthPixels, depthFrame.Width,
depthFrame.Height);

```


O processo de suavização de dados implementa uma ideia publicada pelo programador Karl Sanford ¹. Inicialmente, os dados da imagem são convertidos em um único vetor. Em seguida, esse vetor é percorrido inteiramente. Toda vez que é encontrado um valor 0 (zero) ou um pixel com profundidade desconhecida, observa-se os pixels vizinhos e atribui-se o valor que ocorre com maior frequência na vizinhança.

Esse processo é relativamente simples, porém é necessário que o processamento seja suficientemente rápido para não degradar o desempenho e manter a taxa de quadros. Em experimentos realizados, a taxa de quadros foi mantida em cerca de 30fps, o que não degrada o desempenho. O código da implementação é apresentado a seguir.

```

1 public DepthImagePixel[] CreateFilteredDepthArray(DepthImagePixel[] depthArray,
    int width, int height)
2 {
3     DepthImagePixel[] smoothDepthArray = new DepthImagePixel[depthArray.Length];
4
5     // limites dos indices
6     int widthBound = width - 1;
7     int heightBound = height - 1;
8
9     //Para melhorar desempenho, processamento das linhas em paralelo
10    Parallel.For(0, height, depthArrayRowIndex =>
11    {
12        // Para cada pixel da linha
13        for (int depthArrayColumnIndex = 0; depthArrayColumnIndex < width;
            depthArrayColumnIndex++)
14        {
15            var depthIndex = depthArrayColumnIndex + (depthArrayRowIndex * width);
16
17            // Se a profundidade for igual a 0, ou desconhecida, o pixel sera filtrado
18            if (!depthArray[depthIndex].IsKnownDepth || depthArray[depthIndex].Depth
                == 0)
19            {
20                // determina as coordenadas do pixel
21                int x = depthIndex % width;
22                int y = (depthIndex - x) / width;
23
24                // filter collection usada para contar a frequencia de cada valor de
                // profundidade no vetor
25                short[,] filterCollection = new short[24, 2];
26
27                // playerIndexCollection usada para contar a frequencia de cada pixel no
                // vetor
28                short[] playerIndexCollection = new short[7];
29
30                // valores-limite usados para comparacao
31                int innerBandCount = 0;
32                int outerBandCount = 0;
33
34                // percorre uma matriz de 5x5 de pixels (pixel candidato no centro).
35                // Se algum pixel nessa matriz eh diferente de 0, seu valor eh acumulado
                // e contado
36                for (int yi = -2; yi < 3; yi++)
37                {
38                    for (int xi = -2; xi < 3; xi++)
39                    {
40                        // yi e xi consideram as coordenadas do candidato (0,0)
41                        // ignora o pixel candidato
42                        if (xi != 0 || yi != 0)
43                        {
44                            var xSearch = x + xi;
45                            var ySearch = y + yi;

```

¹<http://www.codeproject.com/Articles/317974/KinectDepthSmoothing>

```

46
47 // Verifica se as coordenadas relativas nao ultrapassam os limites
48 // da imagem
49 // Evita acessar indices inexistentes (abaixo de 0 e acima do
50 // tamanho da matriz)
51 if (xSearch >= 0 && xSearch <= widthBound && ySearch >= 0 &&
52 // ySearch <= heightBound)
53 {
54     var index = xSearch + (ySearch * width);
55     // Considera apenas valores diferentes de 0 - profundidade
56     // conhecida
57     if (depthArray[index].IsKnownDepth || depthArray[depthIndex].
58         Depth != 0)
59     {
60         // preenche a frequencia
61         for (int i = 0; i < 24; i++)
62         {
63             if (filterCollection[i, 0] == depthArray[index].Depth)
64             {
65                 // se a profundidade ja existe, incrementa a frequencia
66                 filterCollection[i, 1]++;
67                 break;
68             }
69             else if (filterCollection[i, 0] == 0)
70             {
71                 // Se encontrar um valor 0 na colecao de frequencias,
72                 // encontrou um novo valor de profundidade, entao esse eh
73                 // um novo valor a ser contado.
74                 filterCollection[i, 0] = depthArray[index].Depth;
75                 filterCollection[i, 1]++;
76                 break;
77             }
78         }
79     }
80     // incrementa a frequencia do indice
81     playerIndexCollection[(int)depthArray[index].PlayerIndex]++;
82
83     // incrementa os limites do pixel diferente de 0
84     if (yi != 2 && yi != -2 && xi != 2 && xi != -2)
85         innerBandCount++;
86     else
87         outerBandCount++;
88 }
89 }
90 }
91 // Depois de determinar e acumular todos os valores dos pixels
92 // diferentes de zero,
93 // compara-se com um valor limite para determinar se o pixel sera
94 // modificado
95 if (innerBandCount >= _innerBandThreshold || outerBandCount >=
96     _outerBandThreshold)
97 {
98     short frequencyDepth = 0;
99     short depth = 0;
100    // determina a profundidade de maior frequencia entre os pontos
101    // vizinhos
102    for (int i = 0; i < 24; i++)
103    {
104        // Se encontrou o fim da distribuicao, interrompe o laço
105        if (filterCollection[i, 0] == 0)
106            break;
107        if (filterCollection[i, 1] > frequencyDepth)
108        {

```



```

101         depth = filterCollection[i, 0];
102         frequencyDepth = filterCollection[i, 1];
103     }
104 }
105 smoothDepthArray[depthIndex].Depth = depth;
106 short frequencyPlayer = 0;
107 short index = 0;
108 for (int i = 0; i < 6; i++)
109 {
110     if (playerIndexCollection[i] > frequencyPlayer)
111     {
112         index = (short)i;
113         frequencyPlayer = playerIndexCollection[i];
114     }
115 }
116 //finalmente, atribui o valor ao pixel candidato
117 smoothDepthArray[depthIndex].PlayerIndex = index;
118 }
119 }
120 else
121 {
122     // Se o valor nao era zero, copia o valor original para o novo vetor.
123     smoothDepthArray[depthIndex] = depthArray[depthIndex];
124 }
125 }
126 });
127 return smoothDepthArray;
128 }

```

Após a aplicação do método para suavização dos dados de profundidade, tornou-se mais fácil a visualização das superfícies. As Figuras 6.2 e 6.3 mostram, respectivamente, o mesmo ambiente sob baixa iluminação e com sob iluminação artificial, à noite. Destaca-se aqui que a visualização mostrou-se satisfatória mesmo em condições de luz natural no ambiente - condição que, a princípio, é bastante desfavorável ao uso de luz estruturada.

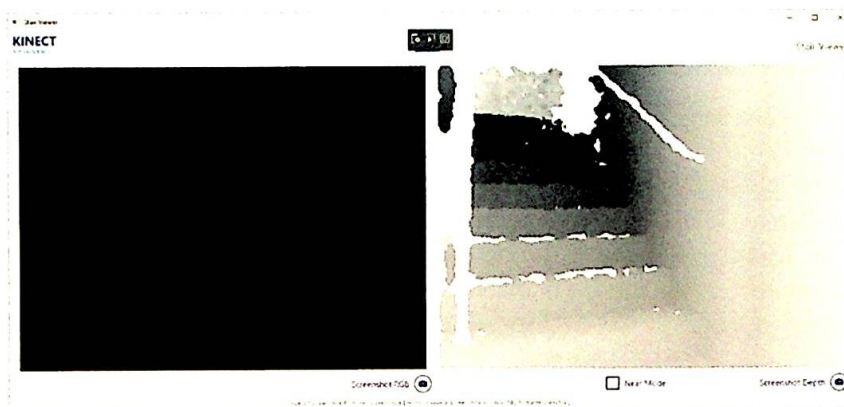


Figura 6.2: Aplicação sendo utilizada com baixa iluminação

6.2 Algoritmo para Detecção de Posturas

Para validação de algoritmos que detectam queda, inicialmente foi desenvolvida uma aplicação para monitorar a postura dos usuários baseado no ângulo formado entre a reta normal ao plano do chão e aquela que intercepta 2 pontos específicos, obtidos a partir de dados do sensor: a cabeça e centro da cintura. O princípio dessa ferramenta é bem simples: Se o ângulo for pequeno, o usuário se encontra com a parte superior do tronco na vertical, ou levemente inclinada. Uma vez que o usuário começa a se inclinar para a frente ou para o lado, o ângulo aumenta (Figura 6.4) de forma



Figura 6.3: Aplicação sendo utilizada com iluminação artificial

que é possível inferir, quando o ângulo formado é próximo a 90 graus em relação ao plano do solo, que o usuário está deitado ou bastante inclinado.

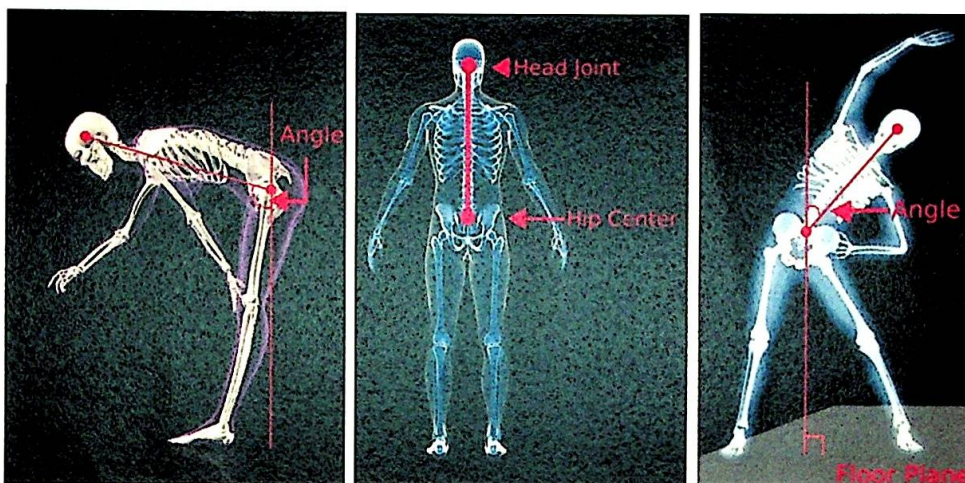


Figura 6.4: Ângulos formados quando a pessoa se inclina ou está ereta

A interface da aplicação desenvolvida é apresentada na 6.5. Nessa Figura, pode-se observar: (A) uma área na qual são exibidas as imagens capturadas pela câmera RGB, bem como onde são projetadas as articulações capturadas, dando uma noção do “esqueleto” do usuário; (B) uma caixa de texto que sinaliza se o usuário encontra-se deitado ou inclinado (lying down/ inclined) e o ângulo calculado; e (C) botões para controlar a inclinação do dispositivo, de maneira a tentar fazer com que a imagem consiga efetivamente capturar a imagem do usuário.

A câmera RGB captura imagens do ambiente em tempo real. Ao mesmo tempo, o sensor calcula as posições nas quais são detectadas as articulações da pessoa. Para melhor visualização, são traçadas linhas conectando as articulações do esqueleto.

Baseado nos dados das articulações, é possível inferir qual é a posição da pessoa. A única análise feita recai sobre o ângulo formado entre dois vetores: aquele que conecta o ponto em que se encontra a articulação da cabeça (Head Joint) e o centro dos quadris (Hip Center) em relação ao eixo vertical (formado pelo eixo dos quadris até a altura em que se encontra a cabeça). Caso o ângulo seja superior a certo limiar, duas mensagens podem ser exibidas, que informam se a pessoa está em posição ereta ou a pessoa está deitada ou inclinada.

Para garantir que o foco da aplicação irá permanecer em um único usuário, foi inserido código que limita o traço do esqueleto (e eventuais cálculos) apenas para o primeiro usuário detectado. Caso esse primeiro usuário seja ofuscado (por outra pessoa ou por algum obstáculo), ou venha a sair de cena, uma mensagem é exibida na tela, solicitando o reinício da aplicação. Considerando que



Figura 6.5: Interface da Aplicação de Visualização de Escadas

a aplicação visa o monitoramento postural de pessoas com limitações severas, ou mesmo limitações totais de locomoção, essa abordagem foi julgada suficiente para garantir o correto funcionamento da aplicação.

Ainda no desenvolvimento dessa aplicação, foi testada a hipótese de que a variação da quantidade de movimento na cena (baseada na análise do fluxo de imagens capturadas) é indicativo de que ocorreu algum fenômeno. Após a implementação de um módulo de reconhecimento de movimento e subsequente análise, concluiu-se que essa premissa é fortemente dependente do ambiente no qual está ocorrendo o monitoramento. Em ambientes devidamente controlados, a alteração da quantidade de movimento pode realmente sinalizar algum fenômeno, porém isso não ocorre em ambientes do cotidiano, por exemplo, uma televisão ligada no plano de fundo da cena, ou uma janela podem introduzir bastante alteração nos quadros, embora não haja movimentação efetiva da pessoa monitorada.

Os testes foram feitos em ambiente controlado (iluminação e posicionamento do sensor), e detectaram corretamente a postura do usuário. É possível “calibrar” o limite do ângulo que determina se houve mudança de estado (“em pé para inclinado”).

6.3 Algoritmos para Detecção de Quedas

Kawatsu et. al. apontaram a possibilidade de detectar quedas baseado na variação ao longo do tempo da distância média entre articulações detectadas pelo sensor de profundidade (Kawatsu *et al.*, 2013). A abordagem descrita em seu trabalho foi replicada, com um diferencial apenas: enquanto seu algoritmo calculava o plano do chão a partir de dados do sensor, foi utilizada uma função disponível no SDK que fornecia esses dados.

Essa mesma abordagem foi adotada para a implementar um algoritmo para detecção de quedas,

adaptando a implementação existente para detecção de posturas. Consiste, basicamente em verificar se houve variação entre postura ereta para bastante inclinado ou deitado em tempo inferior a um limiar de 1 segundo.

A implementação dessa funcionalidade é bastante simples. Sabendo que o SDK do sensor permite obter a frequência de quadros por segundo capturada, basta manter o estado da postura anterior e, a cada vez que um limiar de tempo (no caso, um segundo) é transcorrido, verifica-se se houve alteração entre a postura atual e a anteriormente salva.

Caso essa alteração represente o que se considera uma queda (de postura ereta/levemente inclinado para deitado), um aviso é dado na interface. Tanto na detecção de posturas quanto quedas, os resultados obtidos foram condizentes aos esperados, ou seja, situações (simuladas) de queda foram detectadas corretamente.

6.4 Validação das Recomendações para Desenvolvimento de Aplicação para Idosos

Duas aplicações foram implementadas para averiguar a adequação das diretrizes de interfaces naturais aplicadas ao projeto de aplicações para idosos: uma versão eletrônica do jogo de memória *Simon* - conhecido no Brasil como "Genius", e uma implementação computacional do Teste de Corsi.

6.4.1 Jogo de Memória *Simon*

O jogo de memória *Simon* é um eletrônico de memória bastante popular na década de 1980 (Figura 6.6). De acordo com um profissional em estudos de memória consultado, esse jogo pode ser utilizado para avaliar a quantidade de informação visoespacial que pode ser armazenada na memória de curto prazo. Esse mesmo profissional definiu os requisitos funcionais e não-funcionais da aplicação, listados a seguir:

- a versão implementada deve simular com precisão o jogo original;
- a ordem dos botões/sons deve ser aleatória;
- um som deve sinalizar o final do jogo - toda vez que um jogador introduzir uma sequência incorreta;
- a sequência de botões introduzida pelo usuário deve ser gravada em um arquivo, para ser analisada pelo profissional após o fim do jogo;
- apenas uma mão pode ser usada para selecionar os botões;
- a interface deve fornecer *feedback* (mudança no tamanho, cor ou intensidade de brilho), indicando a seleção do botão;;
- a interface deve permanecer inativa enquanto o usuário não selecionar um botão;
- o sistema deve permitir um jogador de cada vez.

A implementação obedeceu os requisitos elicitados, bem como observou todas as recomendações de desenvolvimento para idosos que haviam sido definidas. Dentre todas as recomendações, aquelas consideradas adequadas para a aplicação foram seguidas. Devido a restrições inerentes à própria aplicação desenvolvida, ou devido ao cumprimento dos requisitos impostos pelo profissional, as seguintes diretrizes não foram obedecidas:

- evitar repetições, uma vez que o jogo requer apenas o movimento para pressionar sequências de botões;
- utilizar frases curtas, bem como



Figura 6.6: Interface do jogo de memória Simon

- oferecer alternativas para comandos de voz e
- prover mensagens de confirmação, uma vez que não foram usadas interfaces baseadas em voz nas aplicações;

A interface do jogo de memória implementado é apresentada na figura 6.7, e é composta basicamente de quatro botões nas cores vermelha, verde, amarela e azul, cada botão associado a um som distinto. O jogador deve memorizar e reproduzir sequências de sons-cores na mesma ordem em que eles são apresentados. A primeira sequência possui um som, e o tamanho da sequência é aumentado de um a cada rodada. Nesse jogo, níveis avançados podem alcançar sequências de 34 sons-cores.

Considerando as recomendações voltadas para a hesitação e desencorajamento dos jogadores, o mecanismo de interação em si, que requer movimentos corporais aliados ao aspecto cognitivo foi suficiente para gerar um jogo lúdico. O envolvimento com outros jogadores não era possível, uma vez que apenas um jogador interage por vez. Esse fato também não permite atender a recomendação de colaboração e competição, mas convém destacar que é possível inserir um sistema de classificação baseado em pontos para satisfazer essa diretriz. O jogo é adequado tanto para homens quanto para mulheres, sem necessidade de adaptação.

As recomendações relacionadas às alterações cognitivas relacionadas ao envelhecimento são percebidas nas seguintes características da aplicação:

- o jogador é isento de utilizar informações prévias, salvo a sequência que ele precisa memorizar;
- o jogo utiliza interações simples, isso é, o jogador não necessita navegar em ambientes, “rolar” telas nem percorrer várias páginas de informação, basta interagir com uma pequena quantidade de botões;
- as interações não requerem velocidade, uma vez que não é levado em consideração o tempo gasto para se introduzir a sequência de sons;
- o jogo não exige interações simultâneas, possui nível de dificuldade incremental e não desenvolve telas muito complexas;
- informações redundantes são fornecidas por meio de múltiplas modalidades - cada botão possui uma cor diferente, toca um som diferente, e é rotulado com o nome da cor associada a ele;
- a carga no processamento cognitivo e memória é mantido o mínimo possível, no sentido de que apenas requer a memorização de quais botões devem ser pressionados ao longo da sequência;

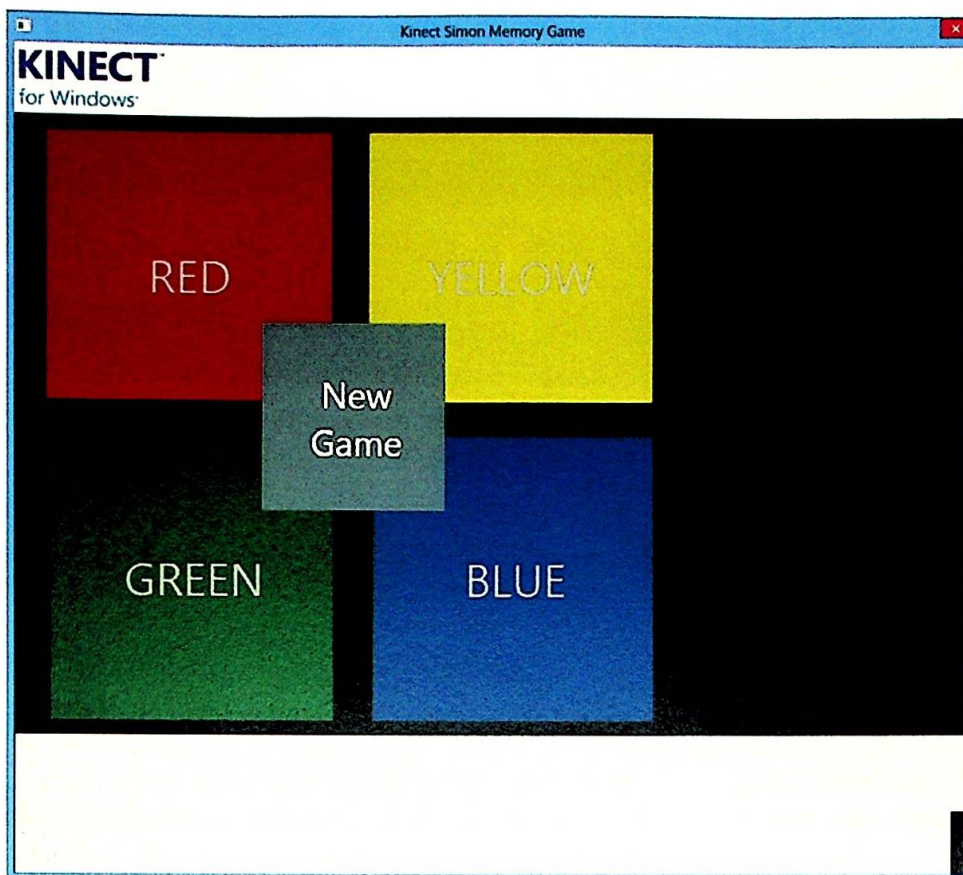


Figura 6.7: Interface do jogo de memória Genius

- os movimentos necessários para o jogo são poucos e fáceis de se realizar, além de incorporar metáforas familiares - empurrar um botão é associado ao movimento de empurrar com a mão no ar;
- a interface é mais lenta, se comparada ao jogo original.

As recomendações para declínios na acuidade visual e auditiva foram satisfeitas pelo uso de fontes e botões em tamanhos grandes; objetos clicáveis que não se movimentam na tela; não utilização de voz sintetizada e sinais de áudio em frequências mais baixas. Nesse último item, ressalta-se que os tons utilizados variam entre 500Hz e 1000Hz e são, na verdade, mais baixos do que a recomendação (entre 500Hz e 1000Hz), porém são os sons utilizados no jogo original e foram mantidos para atender um requisito do profissional.

Considerando as recomendações voltadas às alterações nas habilidades motoras, o jogo utiliza tempos de resposta mais lentos; não requer um fluxo contínuo de movimentos e é projetado para proporcionar comportamento mais saudável (movimentação física) para os usuários. Entretanto, o jogo não leva em consideração dificuldades motoras devido ao seu modelo de interação, que exige movimentação corporal.

Declínios as habilidades de percepção foram considerados pela adoção de feedback multimodal para informações importantes - som e cor mudam para indicar interações com os botões, assim como erros, que são sinalizados por uma “buzina”. Dicas visuais não foram utilizadas devido à simplicidade da interface.

Finalmente, voltadas à ansiedade quanto ao uso do computador e a falta de motivação para usuários iniciais e experientes, o jogo não é adaptável de acordo com o nível de experiência, ou seja, não há mudanças nem na interface, nem no nível de dificuldade para usuários antigos, devido às características do jogo original.



Figura 6.8: *Usuários Interagindo com o Jogo*

Devido aos requisitos iniciais de reproduzir estritamente o jogo, é possível notar que não foi possível considerar a totalidade das recomendações. Algumas recomendações não eram adequadas e entraram em conflito com características do jogo.

Avaliação de Usabilidade do Jogo *Simon*

Um grupo de 10 adultos, com idades variando entre 60 e 75 anos foi selecionado para realizar uma Avaliação de Usabilidade. De acordo com Nielsen, essa quantidade é suficiente para a maioria dos testes de usabilidade, sobretudo quando o objetivo é detectar falhas de usabilidade (Nielsen, 1994). Os usuários interagiram com a aplicação em ambiente doméstico, que não requereu preparação prévia nem intervenções além da instalação do dispositivo em si. A Figura 6.8 mostra usuários interagindo com o jogo.

A avaliação foi feita por meio de três questionários e entrevistas. O primeiro questionário, chamado de Perfil do Usuário, era adaptado de um outro, criado por Mitchell, constituído de questões de múltipla escolha a respeito do sexo, idade, frequência no uso de jogos de computador, atividades físicas e conhecimento prévio a respeito do dispositivo de interação (Mitchell, 2007).

O segundo questionário, chamado de Questionário de Expectativa, foi adaptado de um trabalho de Hartikainen, e utiliza a escala Likert-5 ((Likert, 1932)) para investigar as impressões do usuário a respeito do nível de interesse no jogo, facilidade de uso, nível de motivação, e intenção de utilizar novas tecnologias (Hartikainen *et al.*, 2004).

Finalmente, um questionário chamado de Pós-Teste, também utilizou a escala Likert-5 e foi adaptado dos trabalhos de Martins e e da *Web Usability Questionnaire* (Martins *et al.*, 2012; Web, 2013) para avaliar as impressões finais.

O Perfil do Usuário mostrou que, dentre os usuários que participaram do teste havia 4 mulheres e 6 homens, sendo que nenhum deles afirmou ter contato prévio com o Microsoft Kinect. Além disso 7 usuários declararam nunca usar jogos de computador para entretenimento, 1 usuário joga semanalmente e 2 usuários mensalmente. No que diz respeito à prática de exercícios físicos, 4 declararam nunca praticar.

O Questionário de Expectativa teve como resultados 2 usuários que assinalaram “Concordo Totalmente” para a pergunta “Considero que o jogo será muito interessante”, enquanto os 8 restantes assinalaram “Concordo”. A questão “Acho que o jogo será fácil de usar” teve um usuário que assinalou “Concordo Totalmente”, 2 usuários assinalaram “Concordo” e 7 usuários assinalaram “Discordo”. Quanto ao aspecto motivacional, 3 usuários consideraram “totalmente motivados”, 3 “motivados”, 3 “indecisos” e 1 “desmotivado”. Finalmente, quanto ao uso de novas tecnologias, 5 usuários assinalaram “concordo” para o desejo de experimentar novas tecnologias, 1 usuário mostrou-se indeciso, 2 usuários discordaram e 2 discordaram fortemente. Essas questões corroboram os problemas relacionados a Hesitação e Desencorajamento que acometem usuários idosos.

Os resultados da Avaliação em si são sintetizados nas Figuras 6.9 e 6.10. Esses resultados permitem concluir que, para essa amostra de usuários:

- utilizar um mouse ainda é preferível do que usar o dispositivo de interação (de acordo com as respostas para as questões 1, 5, 6, 12 e 13), porém não chega a afetar a questão 4 (quão prazeroso é utilizar o jogo);
- o feedback fornecido para erros (som de buzina) foi considerado apropriado (questão 2);
- o jogo era fácil de se aprender a usar, e fácil de se lembrar como jogar (questões 9, 10 e 14);
- o fato de não dominar totalmente o controle do dispositivo no primeiro causou bastante frustração (questão 8);
- não houve fadiga muscular (questão 3), porém 40% dos usuários declararam estar indecisos ou discordaram da afirmação que eles poderiam jogar por longos períodos de tempo, uma vez que teriam que interagir em pé (questão 18). Ainda, 40% dos jogadores também não estavam certos se a posição para jogar era confortável ou não, enquanto 10% afirmou que era desconfortável (questão 19);
- o tamanho dos botões na interface foram considerados apropriados e não representaram um problema (questão 17), e o feedback para a seleção do botão (alteração no tom na cor do botão) não foi suficientemente claro para o público entrevistado (questão 20).

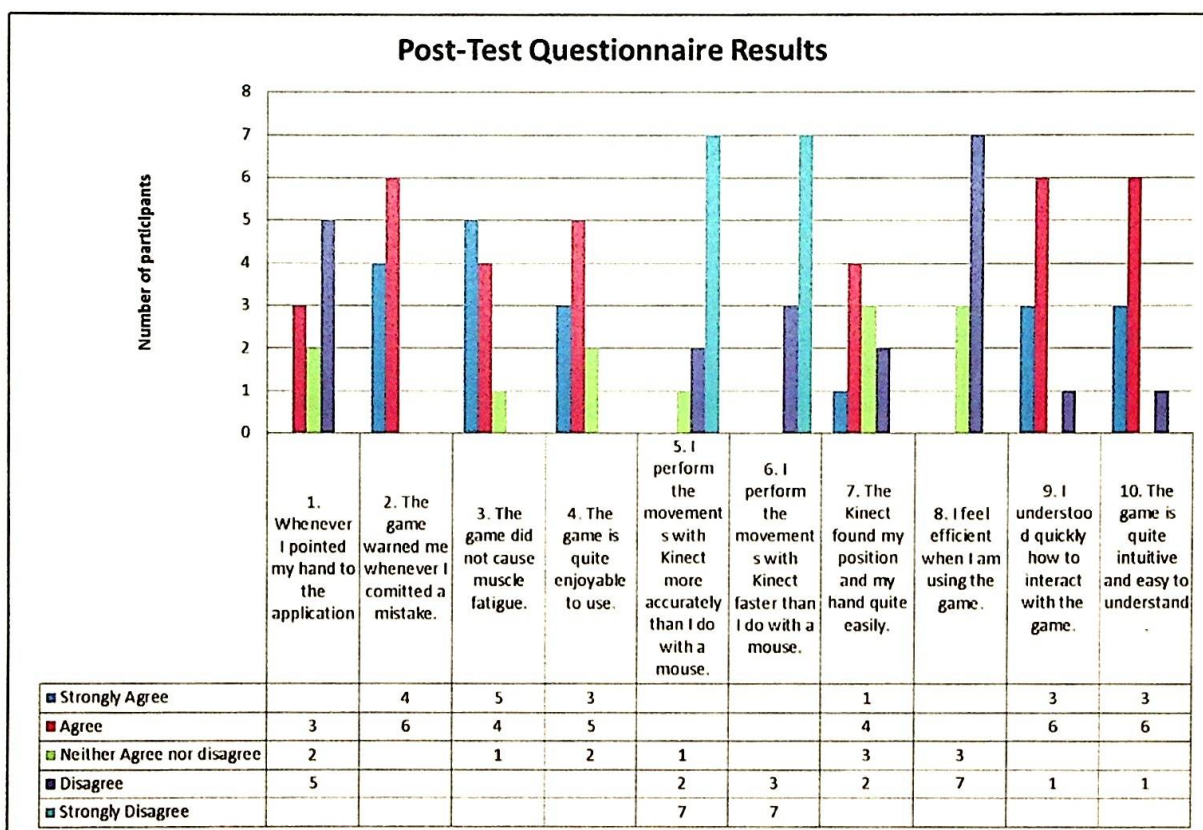


Figura 6.9: Resultados do Questionário Pós-Teste para o jogo Simon (Parte 1)

O processo de entrevista revelou que a principal queixa era não ter controle total do movimento de clicar e a interação por meio de interface gestual. Várias vezes o cursor não estava visível e causou algum desconforto. Alguns usuários declararam que acharam que a causa do problema era eles, por não saber utilizar corretamente o dispositivo.

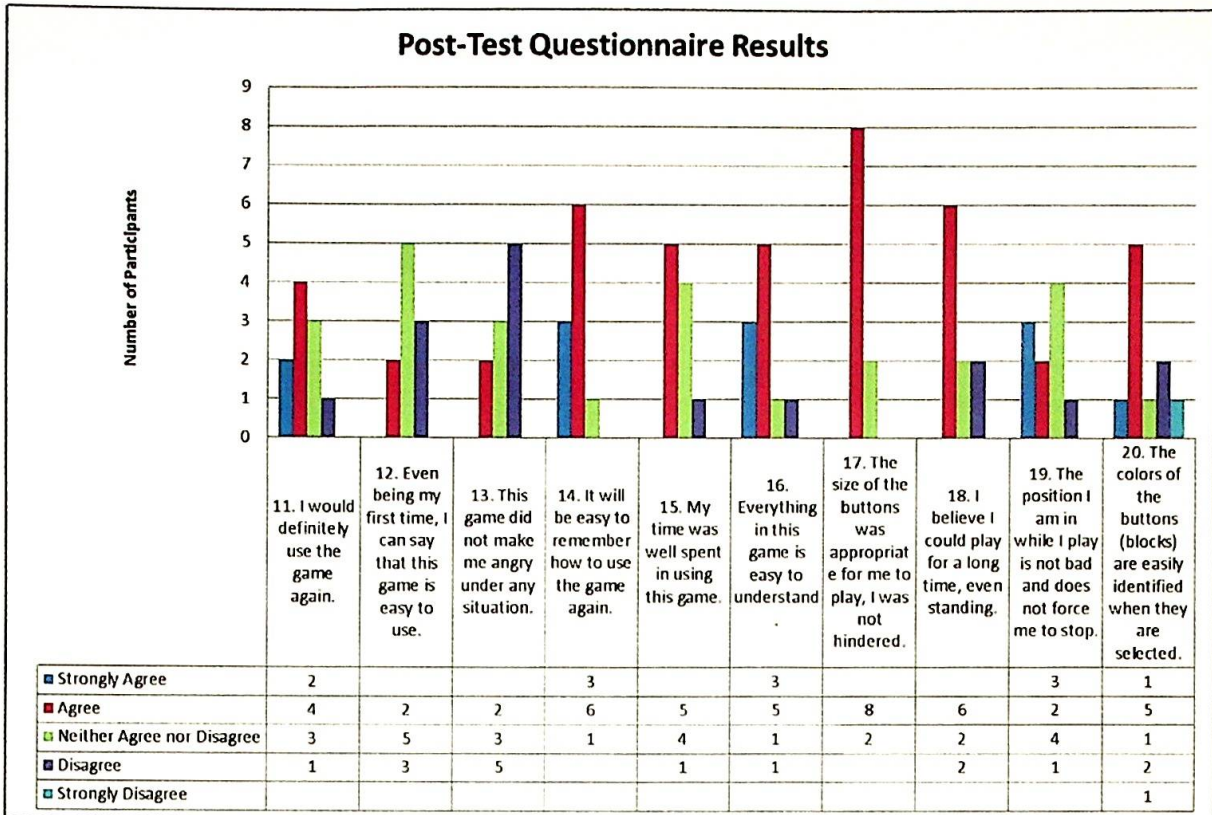


Figura 6.10: Resultados do Questionário Pós-Teste para o jogo Simon (Parte 2)

Análise dos Resultados da Avaliação de Usabilidade do Jogo Simon

Os resultados permitem concluir que idosos que não utilizam jogos com frequência jogos, nem dispositivos de interação gestual sentiram dificuldade inicial em realizar os gestos, porém consideraram isso desafiador (estimulante). Os sons usados na aplicação se encontravam fora da faixa de frequência recomendada. Supõe-se que, por causa disso, os resultados da avaliação de usabilidade indicam que realmente houve dificuldade por parte dos usuários em distingui-los. Isso reforça a crença de que realmente é necessário obedecer as recomendações que dizem respeito aos sons em aplicações para idosos.

A interface foi avaliada como adequada e forneceu uma aplicação considerada lúdica e interessante. Apesar dos problemas relacionados à fadiga muscular e ao domínio do equipamento apontados pela avaliação, acredita-se que a prática e o uso constante podem conduzir a benefícios na condição física dos usuários, como afirmam outros estudos na área (Dell'Acqua *et al.*, 2013; Gerling e Smeddinck, 2013; Gerling *et al.*, 2012a; Santos *et al.*, 2015). Os resultados corroboram, indiretamente, a importância da recomendação de uso de testes constantes, sobretudo devido ao aspecto inovador desse tipo de interface e a falta de familiaridade dos usuários com os dispositivos introduzidos.

6.4.2 Teste de Corsi

Para o desenvolvimento da segunda aplicação, um psicólogo especializado em problemas referentes à memória foi consultado. Esse profissional utiliza um teste pra avaliar a quantidade de informação armazenada como parte do tratamento de memória visoespacial, conhecido como Teste de Corsi. Esse teste consiste de uma tabela apresentada ao usuário. Sobre ela, nove blocos dispostos aleatoriamente. O condutor do teste toca os blocos, um após o outro, em uma sequência que deve ser repetida pelo paciente.

A primeira sequência é constituída de apenas um bloco, a segunda é formada por dois blocos,

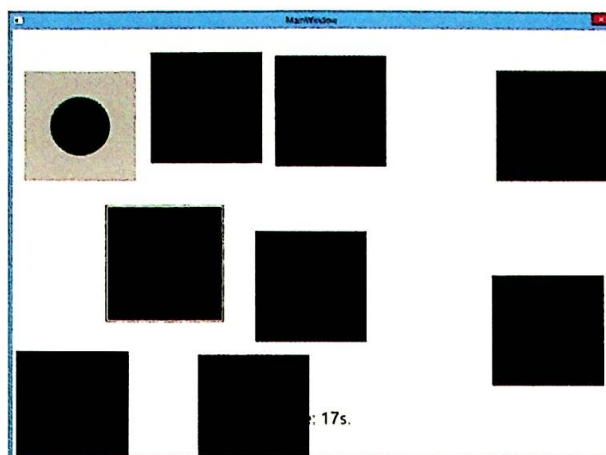


Figura 6.11: Interface da Aplicação Teste de Corsi

e assim sucessivamente, até a quantidade máxima de nove blocos. Cada sequência é diferente da anterior. Nesse teste, o paciente precisa memorizar por alguns momentos as posições dos blocos colocados pelo condutor. A média de lembrança entre usuários se situa em torno de 4 ou 5 blocos. A interface da aplicação é apresentada na Figura 6.11. Os requisitos elicitados para o desenvolvimento dessa aplicação incluem:

- a aplicação deve simular o teste real; substituindo o condutor da experiência (humano) pela máquina;
- uma vez que a aplicação pode ser executada na ausência do profissional, os dados devem ser gravados em um arquivo para análise posterior;
- a aplicação deve executar em dois modos distintos. Um modo de teste, que não fornece feedback ao usuário, e um modo de treino, que deve permitir ao usuário conhecer se a sequência de blocos informada estava correta.

Além dos requisitos, o profissional consultado também manifestou expectativa quanto à aplicação do teste pois, uma vez que o dispositivo de interação também estimula aspectos físicos (espaciais) do paciente, acredita que melhorias significantes podem ser alcançadas se utilizar a aplicação como ferramenta de treinamento.

Avaliação de Usabilidade do Teste de Corsi

Da mesma maneira que na aplicação do jogo Simon, uma avaliação de usabilidade foi conduzida, dessa vez com 11 usuários, tanto homens quanto mulheres, e idades variando entre 18 e 63 anos de idade. Os resultados indicam os mesmos problemas encontrados no primeiro estudo de caso, no que diz respeito à fadiga muscular se a aplicação for utilizada por longos períodos de tempo, e no que diz respeito à velocidade de interação menor, se comparada ao uso do mouse. Além disso, as mesmas expectativas quanto à motivação e facilidade de uso também se aplicam.

O teste foi conduzido em dois ambientes diferentes - uma sala na Universidade e, em alguns casos, a casa dos usuários. Os questionários de Perfil, Expectativa e Pós-Teste utilizados na avaliação anterior foram aplicados. O conjunto de questões de usabilidade é voltado a problemas apontados por Nielsen (Nielsen, 2005), como feedback, tempo de aprendizado e satisfação do usuário.

Antes da avaliação, e tendo em vista algumas observações decorrentes do primeiro estudo de caso, um teste-piloto foi preparado e executado para evitar interferências e erros durante o experimento. Nesse teste, evidenciou-se a necessidade de 25 minutos no total (3 minutos para explicações, 3 minutos para que os usuários respondessem aos questionários de Perfil e Expectativa, 10 minutos para permitir que usuários novatos experimentassem o Kinect pela primeira vez e se adaptassem aos

mecanismos de interação, 6 minutos para o teste em si e mais 3 minutos para responder questões de usabilidade pós-teste.

Análise dos Resultados da Avaliação de Usabilidade do Teste de Corsi

Os resultados mostram que 5 usuários entrevistados eram mulheres e 6 homens; 6 usuários nunca haviam utilizado o dispositivo antes. No que diz respeito ao uso de jogos de computador para entretenimento, 6 dos usuários afirmaram nunca, ou raramente jogar utilizando o computador, 4 utilizam semanalmente e 1 afirmou usar o computador mensalmente. As atividades físicas nunca foram praticadas por 6 dos usuários entrevistados.

Quanto ao Questionário de Expectativa, as respostas foram: 6 pessoas concordaram que a aplicação seria muito interessante, enquanto as outras 5 restantes não. No que diz respeito à facilidade de uso, 6 consideraram que seria muito fácil de se usar (concordaram totalmente), 3 assinalaram que seria fácil, enquanto 2 ficaram indecisas. O aspecto motivacional do jogo foi avaliado por 4 usuários como “totalmente motivacional”, enquanto 6 consideraram “motivacional” e uma pessoa permaneceu indecisa. Os gráficos nas Figuras 6.12 e 6.13 mostram uma compilação dos resultados.

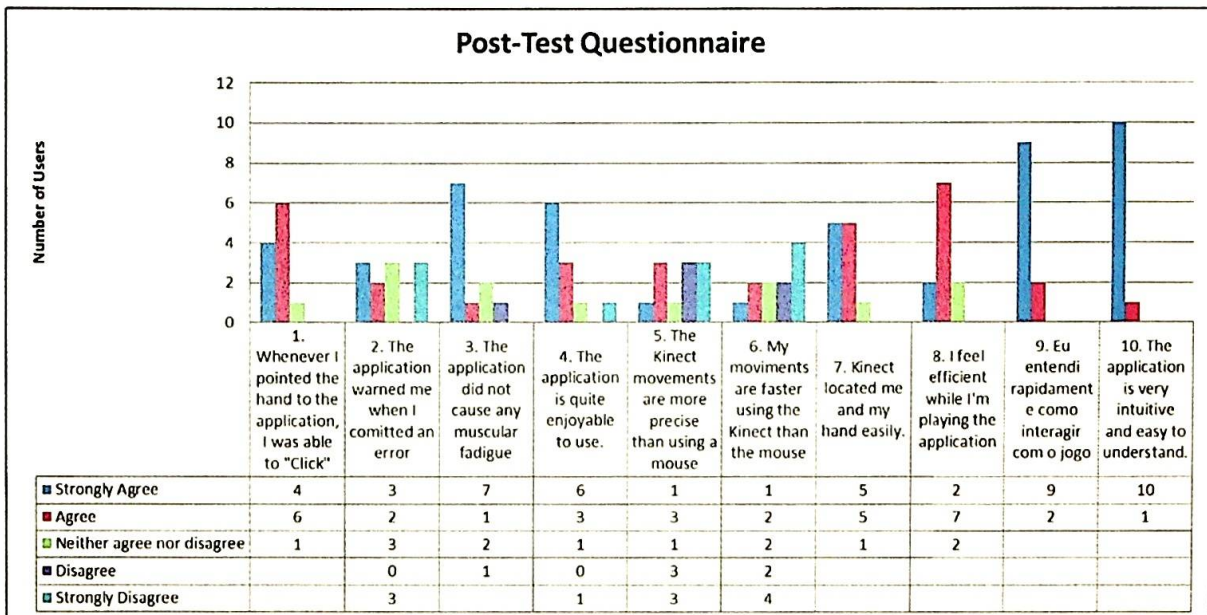


Figura 6.12: Resultados da Avaliação do Teste de Corsi (Parte 1)

Pela observação dos dados dispostos nos gráficos, podemos concluir::

- O jogo não fornece feedback para os usuários quando eles cometem algum erro. Embora isso seja uma característica desejável, essa versão foi projetada para ser usada pelos psicólogos que analisam a capacidade da memória de curto prazo. Em vez disso, a taxa de erros é gravada em um arquivo texto gerado pela aplicação;
- os usuários perceberam que a interação gestual nem sempre é tão rápida ou tão precisa quanto o mouse, mas devido ao aspecto lúdico da aplicação, ficaram induzidos a repetir a atividade;
- a interface foi considerada intuitiva, fácil de aprender mesmo no primeiro uso, e fácil de se lembrar como utilizar;
- a utilização da aplicação por longos períodos de tempo foi considerado potencialmente ruim, devido à posição desconfortável em que a interação precisa ocorrer (jogadores em pé utilizando os braços e as mãos);
- mesmo com movimentos não tão precisos, sobretudo por parte de usuários novatos, não foi considerado irritante repetir a ação até atingir o movimento correto.

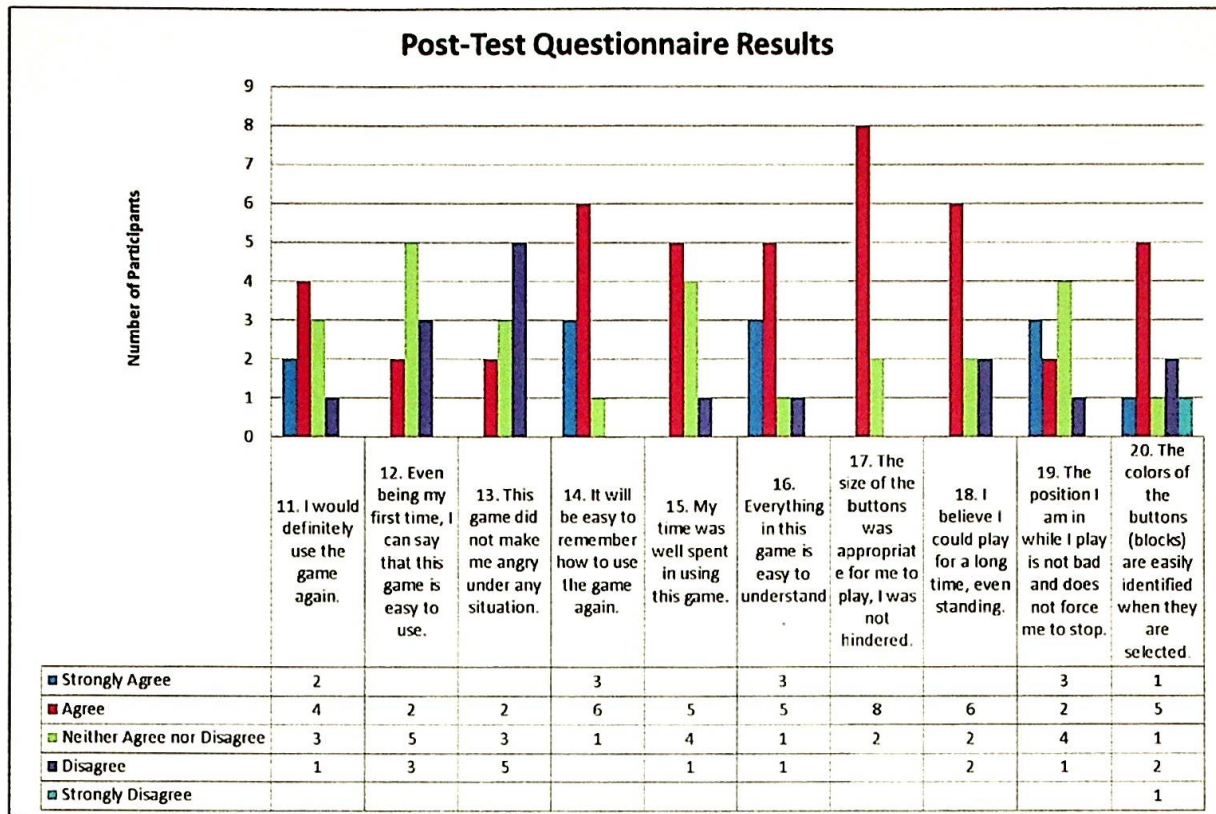


Figura 6.13: Resultados da Avaliação do Teste de Corsi (Parte 2)

Dois usuários, com idades superiores a 60 anos foram entrevistados após a avaliação. Um dos usuários não realiza exercícios regularmente, enquanto o outro sim. Ambos nunca haviam utilizado o dispositivo antes, e raramente utilizam jogos de computador. Antes do teste, ambos possuíam uma boa expectativa a respeito da aplicação, porém estavam em dúvida se seria fácil interagir com ela ou não. Após o experimento, consideraram o jogo bastante motivacional, que certamente o utilizariam novamente e, após algum período para adaptação, seriam capazes de utilizá-la sem problema. Ambos consideraram a interação intuitiva e acreditam que seria questão de pouco tempo para se tornarem experientes na utilização da aplicação.

Capítulo 7

Conclusões

O presente trabalho teve como principal motivação a questão de pesquisa: É possível proporcionar melhoria na qualidade de vida de idosos a partir dos avanços tecnológicos nas áreas de sensores de profundidade de baixo custo que temos experimentado?

A partir dessa motivação, foram estabelecidos critérios e sintetizados diversos trabalhos, que resultaram nas contribuições dessa pesquisa, que são:

- síntese dos diversos fatores que podem influenciar a ocorrência de quedas em idosos;
- identificação dos fatores monitoráveis com as tecnologias disponíveis na atualidade;
- síntese e descrição dos dispositivos de interação natural que surgiram devido aos avanços tecnológicos recentes, com suas características e princípios de funcionamento;
- síntese do estado-da-arte da pesquisa utilizando os sensores de profundidade atuais, com ênfase nos trabalhos que são voltados especificamente para o público idoso, tanto na identificação de fatores de risco para quedas quanto na identificação de quedas e reabilitação;
- estabelecimento de um conjunto de recomendações para o desenvolvimento de aplicações voltadas para o público idoso;
- implementação de algoritmos com o intuito de replicar resultados conhecidos a fim de assegurar tanto a viabilidade de monitoramento de idosos quanto a detecção de fatores ambientais que influenciam em quedas;
- implementação de aplicações interativas para idosos a fim de validar o conjunto de recomendações obtido, por meio de avaliações de usabilidade.

Inicialmente, a detecção de quedas foi escolhida pelo fato de que, dentre os fatores responsáveis pela incapacitação e conseqüente piora na qualidade de vida de maneira definitiva nas pessoas, é o único fator extrínseco relacionado ao usuário efetivamente monitorável (UN, 2015). Existia o propósito de definir um conjunto de fatores identificáveis suficientemente representativo para determinar que uma pessoa iria cair e, a partir desse conjunto, definir um modelo para prevenção de quedas. Isso mostrou-se muito ambicioso, já que a pesquisa realizada apontou que na verdade existe uma grande interação entre fatores observáveis (extrínsecos) e não-observáveis (intrínsecos), provando ser pouco provável que a causa de quedas seja devido unicamente à presença ou ausência de um conjunto reduzido de fatores.

Face essa limitação encontrada inicialmente, e devido à evolução introduzida por sensores de profundidade baseados em luz estruturada, significativamente mais baratos que outros tipos de sensores disponíveis até então, foi realizada uma abrangente revisão acerca do uso de sensores de profundidade em pesquisas na área de Computação. Essa pesquisa revelou o grande interesse da Academia em explorar a utilização desses sensores em aplicações variadas, desde visão computacional até monitoramento e modelagem tridimensional de objetos, bem como demonstrou a maior

penetração do dispositivo Microsoft Kinect tanto no mercado quanto nas pesquisas observadas. Os resultados iniciais dessa pesquisa foram publicados em (Kawamoto e Corrêa da Silva, 2013).

Essa mesma pesquisa permitiu a investigação de trabalhos relacionados especificamente a quedas entre o público idoso, que possibilitou utilizar uma taxonomia para distribuir esses trabalhos em 3 áreas principais: Prevenção de Quedas, Detecção de Quedas e Reabilitação após Quedas. É interessante notar que a principal motivação das pesquisas é o fato que relaciona quedas como a principal causa de problemas em idosos, portanto devem ser evitadas a fim de assegurar qualidade de vida a essa população.

Apesar de encontrar diversos trabalhos voltados ao público idoso, tanto de monitoramento quanto no desenvolvimento de aplicações interativas, não foi encontrado nenhum trabalho que lidava especificamente da implementação de aplicações que utilizam dispositivos não convencionais de interação junto a esse público. Isso motivou o estabelecimento de diretrizes específicas para o desenvolvimento de aplicações que utilizam essa classe de dispositivos específicas para idosos. Os resultados dessa pesquisa foram apresentados ao longo dessa tese, e foram sintetizados em 2 artigos, sendo que os resultados iniciais foram publicados em (Martins *et al.*, 2013), e o conjunto de recomendações, bem como uma síntese das avaliações de usabilidade que foram realizadas para assegurar a validade dessas diretrizes, foram publicados em (Kawamoto *et al.*, 2014).

Uma vez que diversos trabalhos que apontavam a possibilidade de utilização do Microsoft Kinect para monitoramento de quedas e posturas foram encontrados, foram implementadas duas aplicações com o intuito de reproduzir os resultados encontrados na literatura. Essas aplicações foram apresentadas ao longo desse trabalho e provaram que realmente o uso de sensores é uma alternativa viável de baixo custo para aplicações de monitoramento em geral.

Visto que a pesquisa com o público idoso pode, ocasionalmente, introduzir a necessidade de se estabelecer testes, uma importante questão se mostra inevitável: definir diretrizes éticas para a condução de testes com idosos, já que não se deve expor essa população a riscos nem comprometer sua integridade física.

Como trabalhos futuros, a presente pesquisa introduz diversas possibilidades, como o estabelecimento de critérios de usabilidade específicos para idosos; a avaliação dos sistemas existentes e, se for o caso, o provimento de meios de adaptação desses sistemas para o público idoso; o refino e a melhoria das recomendações definidas nesse trabalho, pela introdução de novas recomendações ou pela proposta de alterações visando satisfazer as constantes descobertas da Medicina; o desenvolvimento de novas técnicas de monitoramento ou detecção de outros fatores que podem vir a prejudicar a qualidade de vida de idosos, além das quedas.

Finalmente, em resposta à questão de pesquisa postulada inicialmente, podemos afirmar que “Sim, é totalmente possível, viável e justificável utilizar os sensores de profundidade disponíveis no mercado, de baixo custo, para assegurar melhoria de vida à população idosa, seja por meio de aplicações que monitorem seu comportamento a fim de atestar posturas prejudiciais ou incorretas, seja por aplicações que monitorem e detectem a presença de fatores ambientais que apresentam risco (como escadas ou ambientes atulhados), seja por aplicações que determinem a ocorrência de quedas e disparem ações no sentido de alertar outras pessoas, seja por aplicações que auxiliem atividades de reabilitação e fisioterapia, ou seja até mesmo pela utilização em interfaces de aplicações interativas com o intuito de prover melhorias na qualidade de vida por meio de exercícios, desde que sejam consideradas as limitações físicas e cognitivas impostas pelo envelhecimento”.

Referências Bibliográficas

- Al-Razgan et al. (2012)** MunaS. Al-Razgan, Hend S. Al-Khalifa, Mona D. Al-Shahrani e Heshah H. Al-Ajmi. Touch-based mobile phone interface guidelines and design recommendations for elderly people: A survey of the literature. Em Tingwen Huang, Zhigang Zeng, Chuandong Li e ChiSing Leung, editors, *Neural Information Processing*, volume 7666 of *Lecture Notes in Computer Science*, páginas 568–574. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-34477-0. doi: 10.1007/978-3-642-34478-7_69. URL http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-34478-7_69. Citado na pág. 26, 28, 29
- Back e Clayton (2013)** Willem. Back e Hilary Clayton. *Equine Locomotion*. Elsevier Health Sciences UK. ISBN 9780702052934. URL <http://books.google.com.br/books?id=dLKFXgYpdqsC>. Citado na pág. 12
- Bae et al. (2009)** Joonbum Bae, Kyoungchul Kong, N. Byl e M. Tomizuka. A mobile gait monitoring system for gait analysis. Em *Rehabilitation Robotics, 2009. ICORR 2009. IEEE International Conference on*, páginas 73–79. doi: 10.1109/ICORR.2009.5209621. Citado na pág. 13
- Bagnasco et al. (2011)** Andrea Bagnasco, Anna Marina Scapolla e Velislava Spasova. Design, implementation and experimental evaluation of a wireless fall detector. Em *Proceedings of the 4th International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies*, ISABEL '11, páginas 65:1–65:5, New York, NY, USA. ACM. ISBN 978-1-4503-0913-4. doi: 10.1145/2093698.2093763. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2093698.2093763>. Citado na pág. 13
- Biswas e Basu (2011)** Kanad K. Biswas e Saurav Kumar Basu. Gesture recognition using microsoft kinect. Em *Automation, Robotics and Applications (ICARA), 2011 5th International Conference on*, páginas 100–103. doi: 10.1109/ICARA.2011.6144864. Citado na pág. 2
- Blake (2012)** J. Blake. *Natural User Interfaces in .Net*. Manning Pubs Co Series. Manning Publications Company. ISBN 9781935182818. URL <http://books.google.com.br/books?id=mmMCKgEACAAJ>. Citado na pág. 6, 7, 27
- Bouwhuis (2003)** D. G. Bouwhuis. Design for person-environment interaction in older age: a gerontechnological perspective. *Gerontechnology*, 2(3):232–246. Citado na pág. 28, 29
- Carlisle e Lee (2011)** Alison J. Carlisle e Raymond Y. W. Lee. Detection of falls using accelerometers and mobile phone technology. *Age and ageing*, 40(6):690–696. ISSN 0002-0729. doi: 10.1093/ageing/afr050. URL <http://dx.doi.org/10.1093/ageing/afr050>. Citado na pág. 13
- Cloete e Scheffer (2010)** Teunis Cloete e Cornie Scheffer. Repeatability of an off-the-shelf, full body inertial motion capture system during clinical gait analysis. Em *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE*, páginas 5125–5128. doi: 10.1109/IEMBS.2010.5626196. Citado na pág. 12
- Da Gama et al. (2012)** Alana E. F. Da Gama, Thiago Chaves, Lucas Figueiredo e Verônica Teichrieb. Poster: Improving motor rehabilitation process through a natural interaction based system using kinect sensor. Em *3D User Interfaces (3DUI), 2012 IEEE Symposium on*, páginas 145–146. doi: 10.1109/3DUI.2012.6184203. Citado na pág. 2

- Deguchi et al. (2015)** Yutaka Deguchi, Daisuke Takayama, Shigeru Takano, Vasile-Marian Scuturici, Jean-Marc Petit e Einoshin Suzuki. Skeleton clustering by multi-robot monitoring for fall risk discovery. *Journal of Intelligent Information Systems*, páginas 1–41. ISSN 1573-7675. doi: 10.1007/s10844-015-0392-1. URL <http://dx.doi.org/10.1007/s10844-015-0392-1>. Citado na pág. 22
- Dell'Acqua et al. (2013)** Pierangelo Dell'Acqua, Leonie Verheijden Klompstra Klompstra, Tiny Jaarsma e Ali Samini. An assistive tool for monitoring physical activities in older adults. Em *Serious Games and Applications for Health (SeGAH), 2013 IEEE 2nd International Conference on*, páginas 1–6. doi: 10.1109/SeGAH.2013.6665315. Citado na pág. 21, 44
- Ervatti et al. (2015)** Leila Ervatti, Gabriel Mendes Borges e Antonio de Ponte Jardim. *Mudança demográfica no Brasil no início do século XXI: subsídios para as projeções da população*. IBGE. ISBN 9788524043444. Citado na pág. 1
- Ganesan e Anthony (2012)** Samyukta Ganesan e Lisa Anthony. Using the kinect to encourage older adults to exercise: A prototype. Em *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '12, páginas 2297–2302, New York, NY, USA. ACM. ISBN 978-1-4503-1016-1. doi: 10.1145/2212776.2223792. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2212776.2223792>. Citado na pág. 20
- Garrido et al. (2012)** Juan E. Garrido, Víctor M. R. Penichet, María D. Lozano e José A. F. Valls. Falls and fainting detection through movement interaction. Em *Proceedings of the 13th International Conference on InteracciÓN Persona-Ordenador, INTERACCION '12*, páginas 54:1–54:2, New York, NY, USA. ACM. ISBN 978-1-4503-1314-8. doi: 10.1145/2379636.2379689. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2379636.2379689>. Citado na pág. 22, 24
- Garrido et al. (2013)** Juan Enrique Garrido, Irma Maset e María D. Lozano. Balance disorder rehabilitation through movement interaction. Em *2013 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare and Workshops*, páginas 319–322. doi: 10.4108/icst.pervasivehealth.2013.252368. Citado na pág. 23
- Geng et al. (2014)** L. Geng, X. Ma, B. Xue, H. Wu, J. Gu e Y. Li. Combining features for chinese sign language recognition with kinect. Em *Control Automation (ICCA), 11th IEEE International Conference on*, páginas 1393–1398. doi: 10.1109/ICCA.2014.6871127. Citado na pág. 18
- Gerling e Smeddinck (2013)** Kathrin Gerling e Jan Smeddinck. Involving users and experts in motion-based game design for older adults. Em *CHI Workshop on Game User Research: Practice, Methods, and Applications*, Paris, France. Citado na pág. 28, 29, 44
- Gerling et al. (2012a)** Kathrin Gerling, Ian Livingston, Lennart Nacke e Regan Mandryk. Full-body motion-based game interaction for older adults. Em *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, páginas 1873–1882, New York, NY, USA. ACM. ISBN 978-1-4503-1015-4. doi: 10.1145/2207676.2208324. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2207676.2208324>. Citado na pág. 26, 44
- Gerling et al. (2012b)** Kathrin Gerling, Ian Livingston, Lennart. Nacke e Regan Mandryk. Full-body motion-based game interaction for older adults. Em *CHI '12: Proceedings of the 30th international conference on Human factors in computing systems*, páginas 1873–1882, Austin, Texas, USA. Citado na pág. 2
- Gerling et al. (2010)** Kathrin Maria Gerling, Jonas Schild e Maic Masuch. Exergame design for elderly users: The case study of silverbalance. Em *Proceedings of the 7th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE '10, páginas 66–69, New York, NY, USA. ACM. ISBN 978-1-60558-863-6. doi: 10.1145/1971630.1971650. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1971630.1971650>. Citado na pág. 26

- Gerling et al. (2012c)** Kathrin Maria Gerling, Frank Paul Schulte, Jan Smeddinck e Maic Masuch. *Entertainment Computing - ICEC 2012: 11th International Conference, ICEC 2012, Bremen, Germany, September 26-29, 2012. Proceedings*, chapter Game Design for Older Adults: Effects of Age-Related Changes on Structural Elements of Digital Games, páginas 235–242. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. ISBN 978-3-642-33542-6. doi: 10.1007/978-3-642-33542-6_20. URL http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-33542-6_20. Citado na pág. 26
- Gerling et al. (2012d)** Kathrin Maria Gerling, Frank Paul Schulte, Jan Smeddinck e Maic Masuch. Game design for older adults: Effects of age-related changes on structural elements of digital games. Em Marc Herrlich, Rainer Malaka e Maic Masuch, editors, *Entertainment Computing - ICEC 2012*, volume 7522 of *Lecture Notes in Computer Science*, páginas 235–242. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-33541-9. doi: 10.1007/978-3-642-33542-6_20. URL http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-33542-6_20. Citado na pág. 29
- Ghose et al. (2013)** Avik Ghose, Kingshuk Chakravarty, Amit Kumar Agrawal e Nasim Ahmed. Unobtrusive indoor surveillance of patients at home using multiple kinect sensors. Em *Proceedings of the 11th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, SenSys '13*, páginas 40:1–40:2, New York, NY, USA. ACM. ISBN 978-1-4503-2027-6. doi: 10.1145/2517351.2517412. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2517351.2517412>. Citado na pág. 23, 24
- Greenwood et al. (2013)** Chris Greenwood, Shahriar Nirjon, John A. Stankovic, Hee Jung Yoon, Ho-Kyeong Ra, Taejoon Park e Sang H. Son. Kinspace: To provide fall prevention using kinect. Em *Proceedings of the 11th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, SenSys '13*, páginas 59:1–59:2, New York, NY, USA. ACM. ISBN 978-1-4503-2027-6. doi: 10.1145/2517351.2517438. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2517351.2517438>. Citado na pág. 20
- Group (2001)** AgeLight Consultancy Group. *Interface Design Guidelines for Users of All Ages*. Agelight. URL <https://books.google.com.br/books?id=pIkwngeEACAAJ>. Citado na pág. 29
- Gschwind et al. (2015)** Yves J. Gschwind, Daniel Schoene, Stephen R. Lord, Andreas Ejupi, Trinidad Valenzuela, Konstantin Aal, Ashley Woodbury e Kim Delbaere. The effect of sensor-based exercise at home on functional performance associated with fall risk in older people – a comparison of two exergame interventions. *European Review of Aging and Physical Activity*, 12(1):1–9. ISSN 1861-6909. doi: 10.1186/s11556-015-0156-5. URL <http://dx.doi.org/10.1186/s11556-015-0156-5>. Citado na pág. 21
- Hartikainen et al. (2004)** Mikko Hartikainen, Esa-pekka Salonen e Markku Turunen. Subjective evaluation of spoken dialogue systems using servqual. Em *Proceedings of the Eighth International Conference on Spoken Language Processing (INTERSPEECH 2004-ICSLP)*, Jeju Island, Korea. Citado na pág. 42
- Ijsselsteijn et al. (2007)** Wijnand Ijsselsteijn, Henk Herman Nap, Yvonne De Kort e Karolien Poels. Digital game design for elderly users. Em *Proceedings of the 2007 Conference on Future Play, Future Play '07*, páginas 17–22, New York, NY, USA. ACM. ISBN 978-1-59593-943-2. doi: 10.1145/1328202.1328206. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1328202.1328206>. Citado na pág. 28, 29
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2002)** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Perfil dos idosos responsáveis pelos domicílios no Brasil, 2000*. ibge. Citado na pág. 1
- Jana (2012)** Abhijit Jana. *Kinect for Windows SDK Programming Guide*. Community experience distilled. Packt Publishing, Limited. ISBN 9781849692397. URL <http://books.google.com.br/books?id=oA7ngEACAAJ>. Citado na pág. 10

- Kawamoto e Corrêa da Silva (2013)** André Kawamoto e Flávio Corrêa da Silva. Using low-cost technologies in the development of people-monitoring applications. Em *Proceedings of the XV Symposium on Virtual and Augmented Reality*, páginas 204–207. Citado na pág. 24, 49
- Kawamoto et al. (2014)** André Kawamoto, Valéria Martins e Flávio Corrêa da Silva. Converging natural user interfaces guidelines and the design of applications for older adults. Em *2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, páginas 2328–2334. doi: 10.1109/SMC.2014.6974274. Citado na pág. 49
- Kawatsu et al. (2013)** Christopher Kawatsu, Jiaying Li e C.J. Chung. Development of a fall detection system with microsoft kinect. Em Jong-Hwan Kim, Eric T. Matson, Hyun Myung e Peter Xu, editors, *Robot Intelligence Technology and Applications 2012*, volume 208 of *Advances in Intelligent Systems and Computing*, páginas 623–630. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-37373-2. doi: 10.1007/978-3-642-37374-9_59. URL http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-37374-9_59. Citado na pág. 24, 38
- Kellogg International Work Group on the Prevention of Falls by the Elderly (Kellogg) (1987)** Kellogg International Work Group on the Prevention of Falls by the Elderly (Kellogg). The prevention of falls in later life. A report of the Kellogg International Work Group on the Prevention of Falls by the Elderly. *Danish medical bulletin*, 34 Suppl 4:1–24. ISSN 0907-8916. URL <http://view.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3595217>. Citado na pág. 3
- Likert (1932)** R. Likert. A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22(140):1–55. Citado na pág. 42
- Loncomilla et al. (2014)** Patricio Loncomilla, Claudio Tapia, Omar Daud e Javier Ruiz-del Solar. A novel methodology for assessing the fall risk using low-cost and off-the-shelf devices. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 44(3):406–415. ISSN 2168-2291. doi: 10.1109/THMS.2014.2309493. Citado na pág. 23
- Lopes et al. (2007)** Mislaine C. de Lima Lopes, Maria Rúbia Violin, Ana Paula Lavagnoli e Sônia Silva Marcon. Fatores desencadeantes de quedas no domicílio em uma comunidade de idosos. *Cogitare Enfermagem*, 12(4). ISSN 2176-9133. URL <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/cogitare/article/view/10073>. Citado na pág. 5
- Ma et al. (2014)** Xin Ma, Haibo Wang, Bingxia Xue, Mingang Zhou, Bing Ji e Yibin Li. Depth-based human fall detection via shape features and improved extreme learning machine. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 18(6):1915–1922. ISSN 2168-2194. doi: 10.1109/JBHI.2014.2304357. Citado na pág. 22
- Marston et al. (2015)** Hannah R. Marston, Ashley Woodbury, Yves J. Gschwind, Michael Kroll, Denis Fink, Sabine Eichberg, Karl Kreiner, Andreas Ejupi, Janneke Annegarn, Helios de Rosario, Arno Wienholtz, Rainer Wieching e Kim Delbaere. The design of a purpose-built exergame for fall prediction and prevention for older people. *European Review of Aging and Physical Activity*, 12(1):1–12. ISSN 1861-6909. doi: 10.1186/s11556-015-0157-4. URL <http://dx.doi.org/10.1186/s11556-015-0157-4>. Citado na pág. 20
- Martin et al. (2012)** C.C. Martin, D.C. Burkert, K.R. Choi, N.B. Wiczorek, P.M. McGregor, R.A. Herrmann e P.A. Beling. A real-time ergonomic monitoring system using the microsoft kinect. Em *Systems and Information Design Symposium (SIEDS), 2012 IEEE*, páginas 50–55. doi: 10.1109/SIEDS.2012.6215130. Citado na pág. 2
- Martins et al. (2012)** Valéria Martins, Ana Corrêa, André Kawamoto e Marcelo Guimarães. Usability evaluation of television based gestures and voice control. Em *Proceedings of LatinDisplay 2012/IDRC 2012*. Citado na pág. 42

- Martins et al. (2013)** Valéria Martins, André Kawamoto e Flávio Corrêa da Silva. Guidelines for the development of gestural interface games for the older adults. Em *Proceedings do XII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames 2013) - Trilha de Computação*, páginas 45–53. Citado na pág. 49
- Mastorakis e Makris (2014)** Georgios Mastorakis e Dimitrios Makris. Fall detection system using kinect's infrared sensor. *Journal of Real-Time Image Processing*, 9(4):635–646. ISSN 1861-8219. doi: 10.1007/s11554-012-0246-9. URL <http://dx.doi.org/10.1007/s11554-012-0246-9>. Citado na pág. 22, 24
- Microsoft Corporation (2013)** Microsoft Corporation. *Kinect for Windows Human Interface Guidelines v1.8.0*, 2013. URL <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj663791.aspx>. Citado na pág. 27, 28
- Mitchell (2007)** Peter P. Mitchell. *A Step-by-Step Guide to Usability Testing*. iUniverse, Inc., 0 ed. ISBN 0595422764, 9780595422760. Citado na pág. 42
- Morris e Paradiso (2003)** Stacy J. Morris e Joseph A. Paradiso. A Compact Wearable Sensor Package for Clinical Gait Monitoring. *Offspring*, 1(1):7–15. Citado na pág. 13
- Newcombe et al. (2011)** Richard A. Newcombe, Shahram Izadi, Otmar Hilliges, David Molyneaux, David Kim, Andrew J. Davison, Pushmeet Kohli, Jamie Shotton, Steve Hodges e Andrew Fitzgibbon. Kinectfusion: Real-time dense surface mapping and tracking. Em *Proceedings of the 2011 10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR '11*, páginas 127–136, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society. ISBN 978-1-4577-2183-0. doi: 10.1109/ISMAR.2011.6092378. URL <http://dx.doi.org/10.1109/ISMAR.2011.6092378>. Citado na pág. 10, 18
- Nielsen (2005)** Jakob Nielsen. Ten usability heuristics. Website, 2005. URL <http://www.useit.com/papers/heuristic/heuristiclist.html>. Citado na pág. 45
- Nielsen (1994)** Jakob Nielsen. Usability inspection methods. Em *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems, CHI '94*, páginas 413–414, New York, NY, USA. ACM. ISBN 0-89791-651-4. doi: 10.1145/259963.260531. URL <http://doi.acm.org/10.1145/259963.260531>. Citado na pág. 42
- Ozcan et al. (2013)** Koray Ozcan, Anvith Mahabalagiri, M. Casares e Senem Velipasalar. Automatic fall detection and activity classification by a wearable embedded smart camera. *Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, IEEE Journal on*, 3(2):125–136. ISSN 2156-3357. doi: 10.1109/JETCAS.2013.2256832. Citado na pág. 13
- Paoli et al. (2012)** Roberto Paoli, Francisco J. Fernández-Luque, Ginés Doménech, Félix Martínez, Juan Zapata e Ramón Ruiz. A system for ubiquitous fall monitoring at home via a wireless sensor network and a wearable mote. *Expert Systems with Applications*, 39(5):5566 – 5575. ISSN 0957-4174. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2011.11.061>. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417411016071>. Citado na pág. 13
- Parajuli et al. (2012)** Monish Parajuli, Dat Tran, Wanli Ma e Dharmendra Sharma. Senior health monitoring using kinect. Em *Communications and Electronics (ICCE), 2012 Fourth International Conference on*, páginas 309 –312. doi: 10.1109/CCE.2012.6315918. Citado na pág. 2, 3, 12, 19
- Parra-Dominguez et al. (2015)** Gemma S. Parra-Dominguez, Jasper Snoek, Babak Taati e Alex Mihailidis. Lower body motion analysis to detect falls and near falls on stairs. *Biomedical Engineering Letters*, 5(2):98–108. ISSN 2093-985X. doi: 10.1007/s13534-015-0179-x. URL <http://dx.doi.org/10.1007/s13534-015-0179-x>. Citado na pág. 22

- Penelle e Debeir (2013)** Benoît Penelle e Debeir Debeir. Human motion tracking for rehabilitation using depth images and particle filter optimization. Em *2013 2nd International Conference on Advances in Biomedical Engineering*, páginas 211–214. doi: 10.1109/ICABME.2013.6648885. Citado na pág. 24, 25
- Pernice e Nielsen (2008)** Kara Pernice e Jakob Nielsen. *Web usability for senior citizens: design guidelines based on usability studies with people age 65 and older*. Nielsen Norman Group. Citado na pág. 28, 29
- Phiriyapokanon (2011)** Tanid Phiriyapokanon. Is a big button interface enough for elderly users. *Towards user interface guidelines for elderly users. Sweden, Mälardalen University. Thesis (Master of Computer Engineer)*. Citado na pág. 28, 29
- Pisan et al. (2013)** Yusuf Pisan, Jaime Garcia Marin e Karla Felix Navarro. Improving lives: Using microsoft kinect to predict the loss of balance for elderly users under cognitive load. Em *Proceedings of The 9th Australasian Conference on Interactive Entertainment: Matters of Life and Death*, IE '13, páginas 29:1–29:4, New York, NY, USA. ACM. ISBN 978-1-4503-2254-6. doi: 10.1145/2513002.2513026. URL <http://doi.acm.org/10.1145/2513002.2513026>. Citado na pág. 20
- Planinc e Kampel (2013)** Rainer Planinc e Martin Kampel. Introducing the use of depth data for fall detection. *Personal and Ubiquitous Computing*, 17(6):1063–1072. ISSN 1617-4917. doi: 10.1007/s00779-012-0552-z. URL <http://dx.doi.org/10.1007/s00779-012-0552-z>. Citado na pág. 22
- Pugeault e Bowden (2011)** N. Pugeault e R. Bowden. Spelling it out: Real-time asl fingerspelling recognition. Em *Computer Vision Workshops (ICCV Workshops), 2011 IEEE International Conference on*, páginas 1114–1119. doi: 10.1109/ICCVW.2011.6130290. Citado na pág. 18
- Redish e Chisnell (2004)** Janice Redish e Dana Chisnell. Designing web sites for older adults: A review of recent research. *Retrieved June, 9:2008*. Citado na pág. 29
- Santos et al. (2015)** António Santos, Vânia Guimarães, Nuno Matos, João Cevada, Carlos Ferreira e Inês Sousa. Multi-sensor exercise-based interactive games for fall prevention and rehabilitation. Em *Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2015 9th International Conference on*, páginas 65–71. doi: 10.4108/icst.pervasivehealth.2015.259115. Citado na pág. 21, 25, 44
- Santos et al. (2012)** Silvana Sidney Costa Santos, Marília Egues da Silva, Leandro Barbosa de Pinho, Daiane Porto Gautério, Marlene Teda Pelzer e Rosemary Silva da Silveira. Risco de quedas em idosos: revisão integrativa pelo diagnóstico da North American Nursing Diagnosis Association. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, 46:1227 – 1236. ISSN 0080-6234. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0080-62342012000500027>. Citado na pág. 5, 6
- Sarhan et al. (2015)** N.A. Sarhan, Y. El-Sonbaty e S.M. Youssef. Hmm-based arabic sign language recognition using kinect. Em *Digital Information Management (ICDIM), 2015 Tenth International Conference on*, páginas 169–174. doi: 10.1109/ICDIM.2015.7381873. Citado na pág. 18
- Schultz e Schultz (2005)** Duane P. Schultz e Sidney Ellen Schultz. *História da psicologia moderna*. Thomson. ISBN 9788522104253. URL <https://books.google.com.br/books?id=gbvuPQAACAAJ>. Citado na pág. 31
- Shan (2010)** S. Shan. Recent progress in vision-based hci. Em *Universal Communication Symposium (IUCS), 2010 4th International*, páginas 257–257. doi: 10.1109/IUCS.2010.5666753. Citado na pág. 17
- Shneiderman et al. (2009)** Ben Shneiderman, Catherine Plaisant, Maxine Cohen e Steven Jacobs. *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley Publishing Company, USA, 5th ed. ISBN 9780321537355. Citado na pág. 1

- Simmons et al. (2013)** Stephen Simmons, Rachel McCrindle, Malcolm Sperrin e Andy Smith. Prescription software for recovery and rehabilitation using microsoft kinect. Em *2013 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare and Workshops*, páginas 323–326. doi: 10.4108/icst.pervasivehealth.2013.252249. Citado na pág. 24
- Sixsmith e Johnson (2004)** Andrew Sixsmith e Neil Johnson. A smart sensor to detect the falls of the elderly. *Pervasive Computing, IEEE*, 3(2):42–47. ISSN 1536-1268. doi: 10.1109/MPRV.2004.1316817. Citado na pág. 13
- Todd e Skelton (2004)** Chris Todd e Dawn Skelton. What are the main risk factors for falls amongst older people and what are the most effective interventions to prevent these falls?, 2004. Citado na pág. 3, 4, 5, 19, 32
- Trindade et al. (2012)** P. Trindade, J. Lobo e J.P. Barreto. Hand gesture recognition using color and depth images enhanced with hand angular pose data. Em *Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI), 2012 IEEE Conference on*, páginas 71–76. doi: 10.1109/MFI.2012.6343032. Citado na pág. 18
- United Nations (UN) (2013)** United Nations (UN). *World Population Prospects: The 2012 Revision, Key Findings and Advance Tables*. New York, USA, 2013. Citado na pág. 3, 5, 19, 32
- United Nations (UN) (2015)** United Nations (UN). *World Population Ageing 2015*. New York, USA, 2015. Citado na pág. 1, 3, 48
- Vo et al. (2015)** D. Vo, T. Nguyen, H. Huynh e J. Meunier. Recognizing vietnamese sign language based on rank matrix and alphabetic rules. Em *Advanced Technologies for Communications (ATC), 2015 International Conference on*, páginas 279–284. doi: 10.1109/ATC.2015.7388335. Citado na pág. 18
- Wagner et al. (2015)** Daniel Wagner, Kathrin Kalischewski, Jörg Velten e Anton Kummert. Detection of ascending and descending stairways by surface normal vectors. Em *Multidimensional (nD) Systems (nDS), 2015 IEEE 9th International Workshop on*, páginas 1–5. doi: 10.1109/NDS.2015.7332646. Citado na pág. 19, 32
- Web (2013)** *Web Usability Questionnaire*. Website Analysis and MeasureMent Inventory, 2013. URL <http://www.wammi.com>. Citado na pág. 42
- Webster e Celik (2014)** D. Webster e O. Celik. Systematic review of kinect applications in elderly care and stroke rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 11(1):1–24. ISSN 1743-0003. doi: 10.1186/1743-0003-11-108. URL <http://dx.doi.org/10.1186/1743-0003-11-108>. Citado na pág. 19
- Wilson (2010)** A. D. Wilson. Using a depth camera as a touch sensor. Em *ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ITS '10*, páginas 69–72, New York, NY, USA. ACM. ISBN 978-1-4503-0399-6. doi: 10.1145/1936652.1936665. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1936652.1936665>. Citado na pág. 17
- Yeh et al. (2012)** Shih-Ching Yeh, Wu-Yuin Hwang Hwang, Tzu-Chuan Huang, Wen-Kang Liu, Yu-Tsung Chen e Yen-Po Hung. A study for the application of body sensing in assisted rehabilitation training. Em *Computer, Consumer and Control (IS3C), 2012 International Symposium on*, páginas 922–925. doi: 10.1109/IS3C.2012.240. Citado na pág. 2, 25
- Zhang et al. (2015)** J. Zhang, W. Zhou e H. Li. A new system for chinese sign language recognition. Em *Signal and Information Processing (ChinaSIP), 2015 IEEE China Summit and International Conference on*, páginas 534–538. doi: 10.1109/ChinaSIP.2015.7230460. Citado na pág. 18

Índice Remissivo

Mapeamento entre Recomendações para NUIs e para o Desenvolvimento de Aplicações para Idosos, 29

NUI, 6
características, 7

Quedas, 3
exposição aos riscos, 5
fatores extrínsecos, 5
fatores intrínsecos, 3
fatores que influenciam, 3

Recomendações para Desenvolvimento de NUIs, 26

Recomendações para limitações físicas e cognitivas relacionadas ao envelhecimento, 28

Recomendações Relacionadas a Hesitação, Desencorajamento e Falta de Motivação, 28

Revisão da Literatura, 14
Análise dos Resultados, 17
Detecção de Quedas em Idosos, 21
Metodologia, 14
Prevenção de Quedas em Idosos, 19
Reabilitação de Quedas em Idosos, 23
Resultados, 15
Resultados para o sensor Xtion, 15
Síntese e Análise, 24
Sensores em Aplicações para Idosos, 18

Sensores de Profundidade de Baixo Custo, 8
Creative Labs Senz3D, 12
LeapMotion, 11
Microsoft Kinect, 10
Microsoft Kinect 2.0, 10
Sensores Asus, 9
Sensores PrimeSense, 8

Validação, 32
Jogo de Memória *Simon*, 39
Teste de Corsi, 44
Detecção de Posturas, 36
Detecção de Quedas, 38
Visualização de Escadas, 32