

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELOS DE DECISÃO E SAÚDE

**RECONHECIMENTO DE GESTOS POR SINAIS ELETROMIOGRÁFICOS PARA
UM JOGO VOLTADO À REABILITAÇÃO DE MÃOS E PUNHO**

Thiago Vinícius Vieira Batista

João Pessoa

2017

THIAGO VINÍCIUS VIEIRA BATISTA

**RECONHECIMENTO DE GESTOS POR SINAIS ELETROMIOGRÁFICOS PARA
UM JOGO VOLTADO À REABILITAÇÃO DE MÃOS E PUNHO**

Dissertação apresentada como requisito para a
obtenção do título de Mestre pelo Programa de
Pós-Graduação em Modelos de Decisão e
Saúde

Linha de Pesquisa: Modelos de Decisão

Orientadores:

Prof^a Dr^a Liliane dos Santos Machado

Prof^a Dr^a Ana Maria Gondim Valença

João Pessoa

2017

B333r Batista, Thiago Vinícius Vieira.

Reconhecimento de gestos por sinais eletromiográficos para um jogo voltado à reabilitação de mãos e punho / Thiago Vinícius Vieira Batista.- João Pessoa, 2017.

86 f. : il.-

Orientadoras: Prof.^a Dr.^a. Liliane dos Santos Machado,
Prof.^a Dr.^a. Ana Maria Gondim Valença.

Dissertação (Mestrado) – UFPB/CCEN

1. Modelo de Decisão - Saúde. 2. Interação Natural. 3. *Serious Games*. 4. Reabilitação. 5. Eletromiografia. I Título.

UFPB/BC

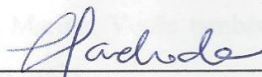
CDU – 614(043)

THIAGO VINÍCIUS VIEIRA BATISTA

RECONHECIMENTO DE GESTOS POR SINAIS ELETROMIOGRÁFICOS PARA UM
JOGO VOLTADO À REABILITAÇÃO DE MÃOS E PUNHO

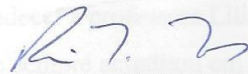
João Pessoa, 22 de fevereiro de 2017

BANCA EXAMINADORA



Profª. Dra. Liliane dos Santos Machado
Orientadora (Universidade Federal da Paraíba)

Profª. Dra. Ana Maria Gondim Valença
Orientadora (Universidade Federal da Paraíba)



Prof. Dr. Ronei Marcos de Moraes
Membro Interno (Universidade Federal da Paraíba)

Profª. Dra. Kátia Suely Queiroz Silva Ribeiro
Membro Interno (Universidade Federal da Paraíba)

Prof. Dr. Benjamín René Callejas Bedregal
Membro Externo (Universidade Federal do Rio Grande do Norte)

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos que me acompanharam nessa jornada de dois anos que se encerra. Vocês foram muito importantes neste processo e eu não teria conseguido chegar aqui sem o seu apoio.

A minha família agradeço por todo o suporte que sempre me deram, garantindo que eu pudesse estar aqui, hoje, escrevendo este documento. Agradeço principalmente a minha mãe e ao meu pai.

Aos meus amigos, obrigado por todos os momentos que passamos juntos. Marcelo, Elaine, Ives, Lauciano, Fábio, Marina. Vocês também fazem parte da minha família e os considero meus irmãos e minhas irmãs.

Aos meus colegas de laboratório, muito obrigado por toda a ajuda que me deram e dos muitos anos de companheirismo. Jamais esquecerei o tempo que passei no LabTEVE com todos vocês: Eline, Edviges, Thaíse, Paulo, Anny, Danielly e tantos outros que fizeram parte dessa jornada e que hoje tenho o prazer de chamar de amigos.

Gostaria de agradecer as minhas orientadoras: A professora Ana Maria, com quem tive o imenso prazer de conviver nesses últimos dois anos e a quem eu agradeço por cada momento. Também tenho muito a agradecer a professora Liliane, que durante estes 6 anos de convivência na graduação e no mestrado sempre acreditou em mim e sempre me incentivou a ser melhor e buscar mais. Você me fez o profissional que sou hoje. Muito obrigado.

Finalmente, agradeço a CAPES pelo apoio financeiro dado a este trabalho, fundamental para a sua realização.

RESUMO

Uma das estratégias que vem sendo utilizadas nos últimos anos para aumentar o comprometimento e a motivação de usuários em processo de reabilitação motora é o uso de sistemas computacionais como ambiente virtuais e *serious games*. Além de contribuírem para a motivação, estes sistemas podem simular atividades da vida real e prover meios para medir e avaliar a performance do usuário. O uso de dispositivos de interação natural originalmente desenvolvidos para o mercado de jogos permitiu o desenvolvimento de sistemas de reabilitação de baixo custo e pouco invasivos. Com o advento de dispositivos de interação natural baseados em eletromiografia, os sinais eletromiográficos do usuário também puderam ser utilizados para construção destes sistemas. Assim, o objetivo deste trabalho é a construção de um *serious game* de baixo custo para auxiliar no processo de reabilitação de pacientes com problemas motores nas mãos, permitindo que o sistema contribua para a motivação do paciente no decorrer do tratamento. O sistema utiliza um dispositivo de eletromiografia para realizar captura dos sinais eletromiográficos do usuário e realiza o reconhecimento dos gestos através da incorporação de um modelo de decisão baseado em redes neurais, responsável por realizar a interpretação dos sinais.

Palavras-chave: Interação Natural, *Serious Games*, Reabilitação, Eletromiografia

ABSTRACT

One of the strategies being used in recent years to increase the commitment and motivation of patients undergoing rehabilitation is the use of computer systems, such as virtual environments and serious games. In addition to contributing to the motivation, these systems can simulate real life activities and provide means to measure and assess user performance. The use of natural interaction devices originally conceived for the game market has allowed the development of low cost and minimally invasive rehabilitation systems. With the advent of natural interaction devices based on electromyography, the user's eletromyographic data could also be used to build these systems. Therefore, the goal of this work is to build a low-cost serious game to aid in the rehabilitation process of patients with hand motor problems, allowing that the system contribute to patient motivation during the treatment. The systems uses an electromyography device to recognize the gestures being performed by the user through the incorporation of an decision model based on neural networks, which is responsible for interpreting the signals.

Keywords: Natural Interaction, *Serious Games*, Rehabilitation, Electromyography

Lista de figuras

Figura 1 – A téttrade elemental de Schell.....	20
Figura 2 – Gráfico do fluxo	22
Figura 3 – Jogador utilizando o KINECT para jogar uma partida de Golfe	31
Figura 4 – Representação de unidades motoras no corpo humano	32
Figura 5 – Representação da organização de um neurônio	35
Figura 6 – Esquematização de uma rede neural	37
Figura 7 - O dispositivo e conjunto de sinais reconhecidos nativamente.....	41
Figura 8 – Movimentos de supinação (esq.) e pronação (dir.)	47
Figura 9 – Esquematização do jogo desenvolvido	52
Figura 10 – Rede neural utilizada neste trabalho	53
Figura 11 – Organização dos jogos	56
Figura 12 – Diagrama de atividade demonstrando um possível fluxo de ações no jogo	57
Figura 13 – Tela principal do jogo	59
Figura 14 – Tela de seleção de perfil.....	60
Figura 15 – Tela principal do jogo	61
Figura 16 – Jogo do milho.....	62
Figura 17 – Interação com o jogo do milho	62
Figura 18 – Interface do jogo das frutas	63
Figura 19 – Exemplificação da interação com o jogo das frutas.....	64
Figura 20 – Interface do jogo dos ovos	65
Figura 21 – Exemplificação da interação com o jogo dos ovos	65
Figura 22 – Informação da conclusão dos objetivos	66

Lista de tabelas

Tabela 1 – Matriz de confusão para a classificação utilizando o ANFIS.	49
Tabela 2 – Matriz de confusão para a classificação utilizando o JRip.	50
Tabela 3 – Matriz de confusão para a classificação utilizando o algoritmo Multilayer Perceptron.	50
Tabela 4 – Matriz de confusão para a classificação utilizando Redes Bayesianas.	50

Lista de Quadros

Quadro 1 – Fatores de risco para o AVE.....	24
Quadro 2 – Escala MRC para força muscular.....	28
Quadro 3 – Movimentação de mão e punho para reabilitação.....	45
Quadro 4 – Movimentos reconhecidos pelo jogo.....	48
Quadro 5 – Ações que causam o aumento ou diminuição da dificuldade.....	66

Lista de abreviaturas e siglas

AVE	Acidente Vascular Encefálico
sEMG	Eletromiografia de superfície
MRC	<i>Medical Research Council</i>
NUI	Interface Natural do Usuário
IA	Inteligência Artificial
MUAP	<i>Motor Unit Action Potential</i>
MFAP	<i>Muscle Fiber Action Potential</i>
UM	Unidade Motora
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
BVS	Biblioteca Virtual em Saúde

Sumário

1	Introdução.....	13
1.1	Motivação	14
1.2	Relevância.....	15
1.3	Objetivos.....	16
1.4	Contribuições esperadas.....	17
1.5	Estrutura do trabalho	17
2	Fundamentação Teórica	18
2.1	Jogos em saúde	18
2.1.1	<i>Serious Games</i> em Reabilitação Motora	19
2.2	Acidente Vascular Encefálico	23
2.2.1	Reabilitação após AVE.....	25
2.2.2	Escalas de AVE	27
2.3	Interação Natural.....	28
2.3.1	Interação através de Gestos.....	29
2.3.2	Eletromiografia.....	31
2.3.3	Reconhecimento de gestos	33
2.3.3.1	Redes Neurais	34
3	Materiais e métodos	39
3.1	Revisão Narrativa.....	39
3.2	Identificação de gestos para reabilitação em jogos	39
3.3	Estudo de adequação de modelos de decisão	40
3.3.1	<i>Hardware</i> para reconhecimento de gestos.....	40
3.3.2	Extração de características	41
3.4	Desenvolvimento do jogo	42
4	Desenvolvimento.....	43
4.1	Proposta do jogo	43
4.1.1	Público Alvo.....	44
4.1.2	Requisitos do jogo	44
4.1.3	Arquitetura do jogo.....	51
4.2	Reconhecimento de gestos	52
4.3	Enredo e Mecânica.....	54
4.4	Balanceamento dinâmico da dificuldade.....	57
5	Resultados	59
5.1	A Fazendinha	59
6	Conclusão	67

6.1	Considerações	69
6.2	Produções.....	70
	Referências	71
	Apêndice A - Design Bible.....	78

1 Introdução

O Acidente Vascular Encefálico (AVE) é um problema de saúde de ocorrência mundial (WHO, 2014). O AVE é causado pela interrupção do suprimento de oxigênio para o cérebro, normalmente resultante do rompimento de uma artéria ou entupimento da mesma por coágulos, resultando em danos ao tecido cerebral (BRASIL, 2014). Embora não seja uma doença necessariamente fatal, o AVE causa graves sequelas ao paciente e é uma das patologias que mais incapacitam para a realização de atividades cotidianas (BLANK, 2014).

Limitações aos membros superiores são umas das consequências mais comuns após o AVE (POLLOCK, 2014), afetando diretamente a qualidade de vida do paciente. Particularmente, destacam-se as restrições geradas aos movimentos das mãos, que comprometem a execução de tarefas comuns do dia-a-dia, como segurar um talher ou levantar uma xícara. De forma geral, várias sessões de fisioterapia são necessárias para recuperar os movimentos dos membros atingidos, requerendo do paciente a execução de séries de movimentos repetitivos. Devido a esta característica, manter o interesse do paciente no tratamento é uma tarefa difícil, o que pode levar à interrupção do tratamento ou a ausências nas sessões de fisioterapia, tornando o tratamento ineficiente e causando frustração ao paciente (BETKER, A., 2007).

Nos últimos anos, uma abordagem que vem sendo utilizada para aumentar o grau de comprometimento e motivação dos usuários é o uso de ambientes computacionais, como os *serious games* (HOCINE; GOUAICH; CERRI, 2014). Além de proporcionarem a motivação, estes sistemas simulam atividades da vida real e proveem meios de medir e avaliar automaticamente a performance do paciente. No entanto, para serem capazes de fornecer uma avaliação automática da performance do usuário e rastrear os movimentos sendo realizados por ele, o sistema precisa incorporar dispositivos de rastreamento de movimento, como rastreadores magnéticos, óticos ou exoesqueletos (LANGE et al., 2011). Tais equipamentos normalmente requerem o uso de sensores ou roupas especiais, inserindo aspectos relacionados ao conforto, à higiene e à segurança do usuário, que podem comprometer a sua experiência com o sistema ou onerar seus custos.

Com a introdução de dispositivos comerciais de interação natural no mercado, foi possível o desenvolvimento de sistemas de reabilitação com baixo custo e pouco invasivos. Os dispositivos de interação natural permitem a interação do usuário com sistemas computacionais através de formas mais naturais de interação, como gestos e voz. Possuindo, desta forma, mecanismos que facilitam o rastreamento dos gestos. O Kinect, por exemplo, que foi

desenvolvido inicialmente para ser um periférico para o console de jogos XBox, já foi utilizado para rastreamento de expressões faciais e reconhecimento de gestos em diferentes aplicações de saúde (YAO; XU; LI, 2014).

Dispositivos baseados em eletromiografia de superfície (sEMG) são uma alternativa aos dispositivos comumente utilizados em ambientes de reabilitação de mãos, como as luvas de dados e os baseados em sensores ópticos, por fornecerem uma maneira não invasiva, de baixo custo e segura para detecção de movimentos através da interpretação dos sinais elétricos que são gerados pelos músculos humanos (CRISWELL, 2010).

De acordo com Zhang et al (2011), as técnicas baseadas em eletromiografia são adequadas para capturar movimentos finos da mão, configurações sutis de dedos e movimentos de pulso, o que permite a sua incorporação em sistemas de reabilitação que tratem de membros superiores. Esta incorporação, no entanto, está condicionada a utilização de um modelo de decisão que seja capaz de interpretar os sinais eletromiográficos capturados pelos sensores e, posteriormente, classificar estes sinais em um gesto com uma boa precisão, visando fornecer *feedback* ao usuário e garantir a execução dos movimentos necessários no tratamento.

Deste modo, este trabalho propõe a criação de um *serious game* como ferramenta de apoio à reabilitação de pacientes que sofreram AVE e que estejam em processo de reabilitação de mão e punho, visando motivar e manter o interesse do paciente no tratamento através da introdução da natureza lúdica e competitiva dos jogos. Para realizar o reconhecimento dos gestos sendo executados pelo usuário, foi incorporado um dispositivo de eletromiografia de baixo custo capaz de fornecer os sinais eletromiográficos do usuário para que sejam posteriormente analisados por um modelo de decisão baseado em redes neurais.

1.1 Motivação

Na área de reabilitação motora, as pesquisas têm mostrado que *serious games* e ambientes de realidade virtual podem prover um grau significativo de motivação, e quanto maior a motivação, menores as chances de o paciente desistir do tratamento (FLORES et al., 2008). Além disso, de acordo com Maclean e Pound (2008), estudos na área da reabilitação concordam que a motivação do paciente é fundamental, e o aumento dessa motivação traz aspectos positivos ao tratamento. No entanto, boa parte dos jogos e ambientes virtuais voltados para reabilitação encontrados na literatura focam em aspectos relacionados à mecânica do jogo e à detecção de gestos, ignorando outros aspectos que são igualmente importantes na construção de um jogo, como a arte e o enredo, podendo comprometer a experiência do usuário ou tornar

a experiência tão repetitiva quanto o tratamento original. Além disso, por vezes estas aplicações não englobam todos os exercícios necessários à recuperação do grupo muscular para o qual foi criado.

Um outro aspecto envolvendo a construção destes jogos é o custo relacionado aos dispositivos. Estas ferramentas necessitam de um dispositivo que permita a captura dos gestos para rastrear os movimentos sendo executados pelo usuário, visando a avaliação ou a utilização desta como ferramenta de interação no jogo. Alguns destes dispositivos possuem alto custo e são de difícil obtenção, como os dispositivos robóticos, o que dificulta a difusão destes sistemas em clínicas e outros ambientes para reabilitação. Além disso, alguns destes dispositivos não foram concebidos com o intuito de serem usados em aplicações de reabilitação, portanto não reconhecem todos os gestos e movimentos necessários para este fim. Deste modo, a incorporação de um modelo de decisão que seja capaz de interpretar as informações coletadas pelo dispositivo em gestos ou movimentos executados pelo usuário pode ser necessária a um sistema desta natureza, visando fornecer *feedback* ao paciente.

Portanto, a motivação deste trabalho reside na construção de um jogo que incorpore todos os aspectos essenciais à construção de um jogo, visando o desenvolvimento de uma ferramenta que seja capaz de auxiliar na recuperação, envolvendo todos os gestos necessários, e motivar o paciente a continuar o tratamento, sendo, ao mesmo tempo, uma experiência engajadora. Uma outra motivação é a exploração de novas tecnologias de baixo custo para reconhecimento de gestos que tenham uma boa precisão e possam ser integradas a estes sistemas.

1.2 Relevância

Segundo Flores et al. (2008) existe um número considerável de sistemas desenvolvidos e testados utilizando braços robóticos para capturar e monitorar os movimentos do paciente em aplicações para reabilitação. Apesar de estudos mostrarem que estas aplicações melhoram os resultados da terapia do paciente, são sistemas caros, além de demandarem que o usuário compareça à clínica para que sejam utilizados.

A utilização de dispositivos de interação natural como forma de captura de movimento em aplicações de reabilitação vem sendo explorada nos últimos anos como uma opção aos dispositivos robóticos. Estes dispositivos são mais intuitivos, permitindo que o usuário interaja de uma maneira mais familiar com o ambiente, aprendendo mais rapidamente a interagir com a aplicação computacional (REGO; MOREIRA; REIS, 2011). Além disso, os dispositivos de interação natural disponíveis no mercado são consideravelmente mais baratos que os braços

robóticos, permitindo a introdução de sistemas de reabilitação de baixo custo ao paciente e abrindo a possibilidade de que parte do tratamento seja levado a sua residência. Uma das técnicas que tem sido recentemente explorada é a eletromiografia de superfície, uma técnica barata, não invasiva e que permite capturar sinais eletromiográficos de um indivíduo e interpretar estas informações em um gesto.

Conforme Zhang et al. (2010), um sistema de reabilitação efetivo deve ser capaz de prover treinamento repetitivo de custo acessível e fácil monitoramento do progresso da recuperação. Desta forma, a incorporação de um modelo de decisão capaz de fornecer *feedback* imediato e reconhecer os gestos sendo executados pelo usuário torna-se necessária, utilizando as pontuações e informações relacionadas ao desempenho na relacionada execução dos movimentos para realizar ajustes na dificuldade do jogo, adequando essa dificuldade às habilidades do jogador. Como se pode observar, a relevância desta pesquisa se encontra na exploração da área de reabilitação com *serious games* que utilizem dispositivos de baixo custo e na incorporação de um sistema de reconhecimento de gestos realizados utilizando dispositivos de interação natural em jogos, favorecendo a introdução de sistemas que se adequem as habilidades do jogador.

1.3 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é a elaboração e a construção de um *serious game* para auxiliar na reabilitação de pacientes acometidos por sequelas do AVE ou alguma outra condição que cause limitação de movimentos das mãos e punhos utilizando dispositivos baseados em eletromiografia de baixo custo, incorporando um modelo de decisão para interpretar os sinais eletromiográficos capturados pelo dispositivo e realizar o reconhecimento dos gestos. Nesta perspectiva, foram delineados os seguintes objetivos específicos:

- Identificar as necessidades da área de reabilitação com relação à utilização de *serious games* como ferramenta de apoio ao tratamento.
- Identificar os principais movimentos envolvidos na reabilitação das mãos em pacientes.
- Definir um modelo de reconhecimento de gestos a partir da interpretação de sinais eletromiográficos.

1.4 Contribuições esperadas

Este trabalho apresenta contribuições sociais, científicas e tecnológicas. No âmbito social, a disponibilização de um *serious game* que utiliza dispositivos de baixo custo pode ser destacada como sendo a principal, contribuindo para o processo de reabilitação de pacientes. No meio científico, as contribuições deste trabalho estão na discussão sobre uso de *serious games* em reabilitação, destacando aspectos relacionados a sua usabilidade e concepção, discutindo como esta ferramenta pode contribuir para recuperação dos movimentos. Finalmente, as contribuições tecnológicas deste trabalho encontram-se no reconhecimento de novos gestos a partir de sinais eletromiográficos, através da incorporação de um modelo de decisão.

1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em seis capítulos: Introdução, Fundamentação Teórica, Materiais e Métodos, Desenvolvimento, Resultados e Conclusão.

No capítulo da fundamentação teórica são discutidos conceitos necessários ao trabalho: serão discutidos *serious games*, suas aplicações em saúde e reabilitação, o processo de reabilitação e as técnicas de interação natural e reconhecimento de gestos.

No capítulo de materiais e métodos serão descritos os recursos utilizados neste trabalho e como foram empregados.

No capítulo de desenvolvimento, será mostrado como foi o processo de desenvolvimento do jogo, discutindo aspectos técnicos e do reconhecimento dos gestos.

O capítulo dos resultados mostrará o jogo e como o usuário pode interagir com o mesmo e no capítulo posterior serão feitas as conclusões

2 Fundamentação Teórica

Este capítulo apresenta os principais conceitos relacionados à construção de um *serious game* para pacientes que sofreram AVE, bem como a apresentação de conceitos como a reabilitação de pacientes em processo de recuperação pós-AVE, eletromiografia, interação natural e questões relacionadas ao modelo de decisão que serão utilizados neste trabalho.

2.1 Jogos em saúde

De acordo com Schuytema (2007), jogos de computador são uma atividade lúdica composta por uma série de ações e decisões, limitado por regras e pelo universo do jogo que resultam em uma condição final. Eles são compostos por uma série de tarefas e desafios que um jogador deve superar, e a forma como estes desafios estão integrados ao enredo e capturam a atenção do jogador são determinantes para o sucesso de um jogo.

Estes jogos, que foram inicialmente desenvolvidos com propósito único de serem uma forma de entretenimento, tiveram sua capacidade de capturar a atenção dos jogadores explorada nos últimos anos, sendo propostos para outras finalidades, como é o caso dos *serious games*.

Não existe uma definição única sobre o termo *serious game*. No entanto, geralmente esse termo refere-se a jogos em que o aspecto lúdico não é a principal preocupação, mas sim aspectos relacionados ao treinamento, educação, divulgação ou simulação. Utilizando as estratégias da indústria dos jogos para favorecer a construção de conceitos e a estimulação de funções psicomotoras, estes jogos são concebidos com um propósito específico, como treinamento, educação e conscientização (MACHADO et al., 2011). Assim, os *serious games* proveem uma maneira interativa para o usuário aprender sobre determinado assunto, uma vez que mudam o foco do aprendizado para o usuário, de forma que ele controla o aprendizado, explorando o jogo e lidando com as consequências de suas ações no ambiente, permitindo que o usuário aprenda através de uma abordagem ativa (DE PAOLIS, 2012).

Os *serious games* podem ser usados em um grande espectro de áreas de aplicação, como saúde, educação, militar, governamental, entre outras. Em treinamento médico, podem ser usados para procedimentos de intervenções cirúrgicas, treinando o profissional para que o mesmo realize o procedimento em uma situação real de uma maneira correta e segura. Podem simular, ainda, situações de risco ou situações de emergência para testar as habilidades de médicos e enfermeiros, entre outras aplicações (MORAES et al., 2012).

Na área da saúde, McCallum (2012) categorizou os *serious games* utilizados em três categorias:

- Jogos para Saúde Física: Criados para promover o condicionamento e a saúde física.
- Jogos para Saúde Cognitiva: Promovem o desenvolvimento cognitivo dos usuários.
- Jogos para Saúde Social e Emocional: Estimulam a interação social dos jogadores.

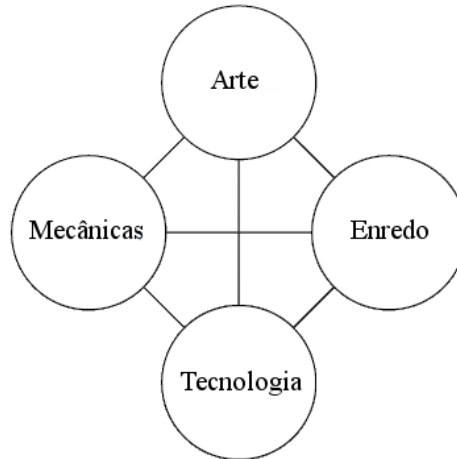
2.1.1 *Serious Games* em Reabilitação Motora

Em reabilitação, os jogos tem sido usados como uma forma de manter o interesse do paciente no tratamento, também permitindo que ele realize parte do tratamento em casa, estando esta última condicionada a existência de um modelo de avaliação capaz de fornecer *feedback* imediato ao paciente, de forma que ele seja capaz de verificar se está executando os movimentos de maneira correta. A utilização de jogos como ferramentas para reabilitação tem potencial para auxiliar os pacientes através da diminuição da monotonia de realizar vários movimentos repetitivos e pela introdução da natureza competitiva e lúdica dos jogos eletrônicos no tratamento. Além disso, a capacidade dos jogos de fornecerem *feedback* da performance do usuário melhora a qualidade do tratamento, assim como o motiva a dedicar um tempo maior a realização dos exercícios (ALANKUS et. al., 2010).

Um dos problemas encontrados com jogos para reabilitação é que alguns deles são tão repetitivos quanto o exercício original, pois focam em aspectos relacionados a mecânica e pouco se preocupando com o enredo e outros elementos essenciais de jogo. Schell (2014) definiu os quatro elementos que compõem um jogo, apresentados na chamada Tétrade Elemental de Schell, ilustrada na Figura 1. A tétrade é constituída de quatro elementos: Arte, Mecânica, Enredo e Tecnologia. A arte de um jogo são os elementos artísticos nele presentes: o som, os gráficos, os efeitos, etc. É um elemento importante pois tem um relacionamento direto com o jogador, sendo dos quatro o elemento mais visível. As mecânicas definem as regras, o objetivo, e como este pode ser alcançando, delineando as ações que o jogador pode ou não realizar dentro do jogo. O enredo é a sequência de eventos que acontecerão no jogo, podendo ser linear e fixa, ou seja, sempre inicia e se encerra da mesma forma, ou ramificada, com a história se desenrolando de formas diferentes e tendo diferentes finais, dependendo da ação do

jogador no ambiente (SCHELL, 2014). Finalmente, a tecnologia são os mecanismos que tornam o jogo possível, sobre o qual o jogador irá interagir e o jogo exibir informações.

Figura 1 – A téttrade elemental de Schell



Fonte: Adaptado de Schell (2014).

Em um jogo, seja ele um *serious game* ou não, todos os elementos devem ser levados em consideração e tem igual importância, pois contribuem igualmente para a experiência do jogador. Além disso, deve haver uma harmonia entre os elementos e as decisões sobre um dos elementos devem ser feitas levando em consideração os outros. Por exemplo, deve-se escolher uma tecnologia adequada para as mecânicas utilizadas, bem como uma arte que mostre o enredo da melhor forma possível. Segundo Schell (2014) o sucesso de um jogo pode depender desta harmonia. No caso específico dos jogos para reabilitação, não basta que a mecânica e a tecnologia sejam adequadas, deixando de lado o enredo e a arte. Caso isso aconteça, o paciente perderá o interesse no jogo tão rapidamente quanto se estivesse realizando os exercícios da maneira tradicional e o propósito de se utilizar um jogo se perde.

Além destes elementos, Burke et al. (2010) identificaram três aspectos do *design* de jogos que são relevantes para reabilitação: Jogabilidade com significado, o gerenciamento de erros e o desafio. De acordo com Salen e Zimmerman (2005), a jogabilidade com significado é um dos principais objetivos de um jogo de sucesso. Ela refere-se à interação entre o jogador e o ambiente, em que cada ação feita pelo jogador afeta o estado do ambiente e acarreta mudanças no desfecho do jogo, que deve responder através de algum meio de interação (audiovisual, háptico, dentre outros). As ações e seus resultados devem ser discerníveis e integradas ao contexto do jogo. Ser discernível significa que o usuário deve perceber claramente o resultado da sua ação no ambiente, enquanto ser integrado significa que as ações realizadas não tenham

consequências apenas imediatas, mas também afetem o jogo em uma etapa futura. Assim, a jogabilidade com significado é importante em jogos para reabilitação para que o paciente esteja ciente dos seus objetivos, quais movimentos deve realizar e se os movimentos estão sendo realizados de maneira correta (BURKE et al., 2010).

Lidar com erros é uma tarefa que deve ser analisada cuidadosamente em jogos para reabilitação. Visto que o grupo de risco para AVE é de pacientes com mais de 55 anos (BRASIL, 2012) e que uma grande parte destes nunca teve contato com jogos eletrônicos ou até computadores de forma geral, lidar com a falha de uma forma encorajante e que motive todos os esforços do paciente diminuirá a chance do paciente se frustrar e se desencorajar caso não tenha sucesso nas primeiras tentativas (BURKE et. al, 2009). Apesar desta recomendação para um tratamento sutil em relação aos erros que o paciente possa cometer, os resultados da avaliação devem ser mostrados ao usuário de forma que ele possa estar ciente da sua performance.

O desafio é um quesito importante tanto em jogos para entretenimento quanto para jogos criados para reabilitação. Normalmente, os jogos aumentam a dificuldade de acordo com o tempo. Uma das estratégias mais comumente utilizadas é o conceito de fase, com as fases iniciais possuindo desafios mais fáceis, quando o jogador está pouco familiarizado com o jogo, e gradativamente o nível de dificuldade é aumentado em fases posteriores. O problema com essa abordagem é que ela presume que todos jogadores ao jogarem um determinado jogo pela primeira vez terão o mesmo (ou um parecido) nível de familiaridade com os dispositivos utilizados para jogar e com o jogo em si. Dada a diversidade das lesões causadas pelo AVE, tal suposição pode não ser verdadeira para estes pacientes.

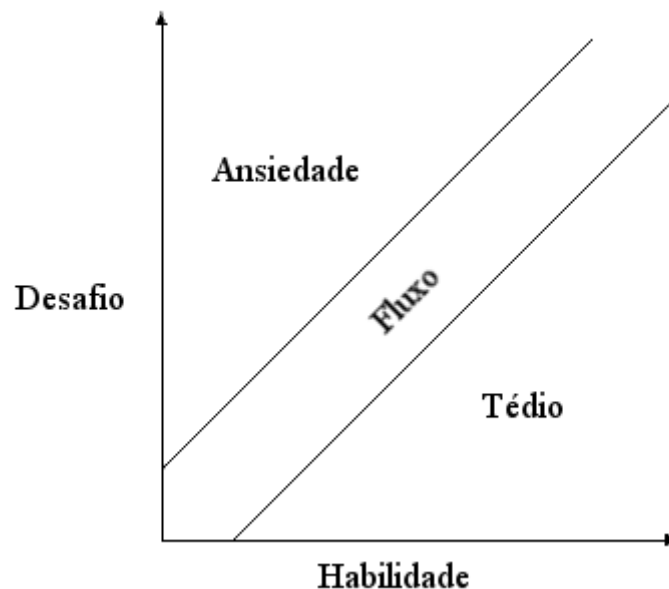
Visto que a reabilitação é um processo centrado no paciente, o jogo deve ser moldado ao redor do indivíduo, avaliando as necessidades do paciente e ajustando a dificuldade de acordo com o resultado da avaliação. Desta maneira, a ideia do desafio adaptável às capacidades do jogador torna-se importante nestes jogos. Para tal, é necessário possuir alguma forma de medir o nível de habilidade do jogador, o que nem sempre é uma tarefa fácil (SCHUYTEMA, 2007).

A ideia da importância do desafio para uma melhor experiência do usuário é corroborada pela Teoria do Fluxo (NAKAMURA; CSIKZENTMIHALYI, 2014). De acordo com esta teoria, fluxo é um estado de intenso foco e concentração que um indivíduo alcança ao realizar uma tarefa. Quando se está “no fluxo”, a experiência se torna intrinsecamente recompensadora e prazerosa, além disso, a noção temporal é distorcida e o tempo parece passar mais rápido do que o normal. Para se atingir o estado de fluxo, existem algumas condições:

- Desafios que estejam no nível apropriado relativo ao nível de habilidades do indivíduo;
- Objetivos claros e aparentes;
- *Feedback* imediato sobre o progresso;

O fluxo então, é uma experiência onde são realizados desafios adequados ao nível de habilidade do usuário, sendo este guiado por objetivos, continuamente recebendo feedback sobre o progresso e ajustando seu curso de ação baseado nesse feedback. O fluxo também é um estado de balanço, portanto, se o desafio começa a exceder o nível de habilidades do usuário, ele começa a ficar ansioso, e, se o contrário ocorre, ou seja, se as habilidades excedem os desafios, há um relaxamento e, então, o tédio. Este processo está ilustrado na figura 2.

Figura 2 – Gráfico do fluxo



Fonte: Adaptado de Nakamura e Csikzentmihalyi (2014).

Assim, o fluxo é um estado desejável em aplicações para reabilitação, pois deseja-se que o usuário perca a sensação que está realizando um tratamento. No fluxo, o estado de concentração e o sentimento de satisfação dão a sensação que o objetivo final é apenas uma desculpa para o processo (NAKAMURA; CSIKZENTMIHALYI, 2014).

2.2 Acidente Vascular Encefálico

Para compreender melhor o processo de reabilitação, primeiramente é necessário entender o Acidente Vascular Encefálico (AVE) e como e quais são as suas consequências. O AVE é causado pela interrupção do suprimento de sangue para o cérebro, resultando em danos ao tecido cerebral. Existem dois tipos de AVE, o isquêmico e o hemorrágico. O primeiro tipo, que ocorre em 80 a 90% dos casos, é causado pela obstrução de um vaso sanguíneo. O segundo tipo ocorre quando há uma ruptura em um vaso sanguíneo e tende a ser mais severo (MANT; WALKER, 2011).

O AVE é um problema de saúde de ocorrência mundial. Em 2012, 6,7 milhões de mortes por AVE foram relatadas no mundo inteiro (WHO, 2014). No Brasil, são registradas cerca de 68 mil mortes por AVE anualmente (BRASIL, 2012), sendo a primeira causa de morte e incapacidade no país (BRASIL, 2013). Embora não seja uma doença necessariamente fatal, o AVE causa graves sequelas ao paciente e compromete diretamente a sua qualidade de vida, dificultando a realização de tarefas até então corriqueiras do dia-a-dia. De acordo com Bhalla e Birns (2015), as seguintes complicações podem se manifestar após a ocorrência do AVE: problemas cardíacos, neurológicos, gastrointestinais, geniturinários, cognitivos, psicológicos, infecções, tromboembolismo, dores e problemas de locomoção.

Os problemas de locomoção após o AVE são comuns, e naturalmente é uma das situações que os pacientes desejam resolver com maior urgência, pois comprometem diretamente a sua qualidade de vida. A fraqueza muscular, estando ligada diretamente a estes problemas, é a complicação mais comum do AVE, encontrada em 80 a 90% dos casos. A hemiplegia (paralisia parcial de um dos lados do corpo) com fraqueza uniforme das mãos, pés, ombros e cintura é a forma mais frequente, estando presente em dois terços dos casos. Em aproximadamente 19% dos casos é observada a monoplegia (paralisia que acomete só um membro ou grupo muscular), e paraplegia em 1% dos casos (BOGOUSSLAVSKY; CAPLAN, 2001).

Existe um grande número de fatores que foram relatados como associados à ocorrência de um AVE. De acordo com Mant e Walker (2011), hipertensão, tabagismo e fibrilação atrial são os principais fatores de risco. No entanto, outros fatores são potenciais causadores, sendo eles ilustrados no quadro 1.

Quadro 1 – Fatores de risco para o AVE

Fatores de risco	
Sociodemográficos	Idade, Sexo, Etnia, Situação socioeconômica
Biológicos	Pressão sanguínea elevada, Colesterol alto, Níveis elevados de homocisteína
Estilo de vida	Tabagismo, Consumo excessivo de álcool, Sedentarismo, Dieta (obesidade, excesso de sal)
Outras condições fisiológicas	Diabetes mellitus, Fibrilação atrial, Doença isquêmica do coração, Fontes cardíacas de tromboembolismo, distúrbios hematológicos, estenose da artéria carótida, enxaqueca
Genéticos	Histórico positivo em pais, 2 polimorfismos de nucleotídeo único.
Outros Fatores	Anticoncepcionais orais, Terapia de reposição hormonal, Influenza e outras infecções intercorrentes

Fonte: Adaptado de Mant e Walker (2011)

Existem três estágios de cuidados terapêuticos para um paciente com AVE: Prevenção, tratamento na fase aguda e reabilitação. A prevenção consiste no controle dos fatores de risco do indivíduo (como hipertensão, diabetes, colesterol e tabagismo) ou na prevenção da formação de coágulos, objetivando a redução dos riscos de AVE em pacientes assintomáticos (CANCELA, 2008).

A etapa de tratamento na fase aguda consiste em tratar o paciente enquanto o AVE está ocorrendo, através da dissolução dos coágulos ou a interrupção da hemorragia. Assim como realizar a sua estabilização, controlando problemas que possam vir a atrapalhar o processo de recuperação. O tratamento inclui cuidados cardíacos e respiratórios, gerenciamento metabólico, controle da pressão sanguínea, e a prevenção e tratamento de condições como: convulsões,

tromboembolismos, disfagia e pneumonia (ESO, 2008). Por ser o foco do trabalho, a reabilitação motora será discutida em mais detalhes nas seções seguintes.

2.2.1 Reabilitação após AVE

A reabilitação é um processo dinâmico, o qual tem como objetivo reduzir as incapacidades ocasionadas pelas sequelas pós-AVE, que podem ser físicas, intelectuais e psicológicas. Esse processo se dá através de intervenções realizadas por profissionais, podendo ter participação de familiares e amigos (BREWER et al., 2013). A reabilitação é realizada em clínicas, podendo às vezes ser feita também em casa, e é acompanhada por uma equipe de profissionais cujo objetivo é auxiliar o paciente em todos os aspectos de sua vida afetados pelo AVE. Médicos, enfermeiros, fisioterapeutas, fonoaudiólogos, terapeutas ocupacionais, psicólogos e assistentes sociais normalmente compõem a equipe que auxilia estas pessoas.

O tempo ideal para início da reabilitação ainda é incerto. No entanto, existem evidências que indicam que quanto mais cedo for iniciada a reabilitação, maiores serão os ganhos e melhores os resultados (BERNHARDT; INDREDAVIK; LANGHORNE, 2013). Esta teoria é corroborada por diversos estudos, como o realizado por Salter et al. (2006) que comparou os resultados da reabilitação de dois grupos: um que iniciou a reabilitação em até 30 dias após o AVE e outro que iniciou entre 30 e 150 dias após o ocorrido. Verificou-se que o primeiro grupo obteve resultados melhores e seu programa de reabilitação teve menor duração do que o segundo grupo. Outros estudos obtiveram resultados semelhantes, a exemplo do executado por Paolucci et al. (2000) que observou as mesmas repercussões ao comparar três grupos que iniciaram o processo de reabilitação em diferentes épocas após a ocorrência do AVE. Estes e outros estudos foram citados por Lynch, Hillier e Cadilhac (2014). Isto posto, podemos afirmar que uma reabilitação adequada pode minimizar as incapacidades, evitar sequelas e proporcionar ao indivíduo o retorno mais breve possível às suas atividades (BRASIL, 2015).

Quanto à duração do tratamento, depende do grau da lesão e da recuperação do paciente, que deve ser estabilizado após o ocorrido. Apesar de alguns pacientes se recuperarem rapidamente, a maior parte precisa de reabilitação de longo prazo, possivelmente meses ou anos após o AVE (MAYO Clinic, 2014). A duração da sessão varia de acordo com o grau de recuperação e da severidade dos sintomas. No caso da reabilitação motora, a Stroke Association (2012) recomenda um tempo de sessão de aproximadamente 45 minutos. Algumas sessões podem ocorrer ainda no hospital, visando o tratamento intensivo. No entanto as sessões

posteriores podem ocorrer em clínicas especializadas onde o paciente tem a opção de retornar a sua residência após a sessão e também podem acontecer em sua residência.

Apesar de cruciais para o processo de recuperação do paciente, as sessões de reabilitação são frequentemente interrompidas por diversos motivos. Musicco et al. (2003) indicaram que as principais causas para interrupção são: morte, complicações do AVE (recorrência do AVE, quedas, doenças infecciosas) e a desistência por insatisfação com o método ou com os resultados. Além destas, outras possíveis causas poderiam estar relacionadas à dificuldade de locomoção a clínica, seja pelo custo da locomoção ou pela incompatibilidade de horário.

A reabilitação é um processo que pode englobar várias outras áreas, dependendo do grau de lesão apresentado pelo paciente. Podem ser empregadas, por exemplo, sessões de fisioterapia, terapia ocupacional, terapia de linguagem e discurso, sessões com psicólogos, entre outros. No caso da recuperação da força muscular e dos movimentos dos membros afetados, o uso de terapia orientada a tarefas tem apresentado os melhores resultados (ESO, 2008). De acordo com Langhorne, Bernhardt e Kwakkel (2011) os princípios para reabilitação são:

- **Definição de metas:** Definir metas e objetivos realistas para o paciente para guiar o processo de reabilitação.
- **Intensidade no tratamento:** É recomendado que o tratamento seja intensivo, para que os resultados sejam melhores.
- **Equipe multidisciplinar:** É importante o acompanhamento de uma equipe que trate do AVE por todos os ângulos: físicos, sociais e psicológicos.
- **Treinamento específico de tarefas:** Escolher abordagens de reabilitação que sejam tarefas funcionais específicas praticadas repetidamente.

O treinamento específico de tarefas envolve uma grande gama de exercícios, como treinamento em esteira, caminhadas, programas de ciclismo, exercícios de sentar e levantar e exercícios de equilíbrio. Além disso, no caso específico de exercícios de braço, podem ser usadas tarefas funcionais como segurar objetos e terapia de restrição e indução de movimentos. A reabilitação envolve a interação entre o profissional de saúde e o paciente, através definição de metas e objetivos que nortearão o processo de reabilitação.

Conforme afirmam Rensink et al. (2008), especificamente para exercícios de mãos e punho, a recomendação é a execução repetitiva de tarefas funcionais com significado (que sejam movimentos usados pelo paciente no dia-a-dia, como segurar um garfo) para estimular os membros afetados, o que melhora sua condição. Além disso, é recomendada a participação

em grupos de terapia de restrição e indução de movimentos, que consiste na imobilização do membro funcional e a execução de tarefas com o membro afetado.

Esta característica do tratamento de ser intenso e repetitivo é um dos principais problemas associados ao tratamento, pois com o passar do tempo, o paciente pode vir a perder o interesse e se frustrar. Ainda segundo Langhorne, Bernhardt e Kwakkel (2011) existem fortes evidências que suportam a teoria que esta terapia orientada a tarefas auxilia no processo de recuperação.

2.2.2 Escalas de AVE

Para auxiliar no processo de avaliação do paciente, o impacto do AVE pode ser quantificado utilizando as chamadas escalas de AVE. As escalas mais comumente utilizadas, que medem diferentes aspectos do problema são: a escala do *National Institute of Health* (NIHSS), a escala de Rankin modificada (mRS), o índice de Barthel (BI) e a escala de impacto de AVE (SIS) (KASNER, 2006), que serão explicadas a seguir.

A escala NIHSS é uma escala que avalia a condição neurológica do paciente. São 15 itens preenchidos por um profissional que quantificam aspectos como nível de consciência, funções sensoriais, linguagem, coordenação, conversação (KASNER, 2006). A escala de ranking modificada mede o nível de independência do paciente. Consiste de uma escala que varia de 0 a 6, variando de um paciente sem sintomas (grau 0) e que consegue realizar todas as tarefas diárias (grau 1) a um paciente com severas sequelas que requer cuidados constantes (grau 5) e morto (grau 6).

O índice de Barthel é uma medida que avalia o que o paciente é capaz de fazer, essencialmente também avaliando o grau de independência do paciente em relação a tarefas do dia-a-dia. Ele pontua o quão bem o paciente consegue realizar tarefas como: alimentar-se, tomar banho, se pentear, se vestir, subir escadas e mobilidade, com a pontuação final sendo um valor entre 0 e 100.

O SIS (*Stroke Impact Scale*) é uma medida que avalia diversas condições causadas pelo AVE: força, movimentos das mãos, atividades do dia-a-dia, mobilidade, comunicação, entre outros. Diferentemente das outras escalas, esta é um questionário que é preenchido pelo próprio paciente, que avalia a sua condição nestes diferentes quesitos. Apesar de serem escalas muito utilizadas, nenhuma delas envolve todos os aspectos e dimensões do AVE (KASNER, 2006) e para este trabalho, foi necessária a utilização de uma escala que medisse a força muscular dos pacientes.

Uma escala amplamente aceita e utilizada para avaliar especificamente a força muscular do paciente é a escala MRC, proposta pelo Medical Research Council, do Reino Unido (PATERNOSTRO-SLUGA et al., 2008). Esta escala quantifica a força muscular dos pacientes em cinco níveis, conforme mostrado no quadro 2. Proposta em 1943, esta escala tem sido usada desde então como referência na medição da força muscular. Sua utilização permite melhor categorizar os pacientes neste aspecto. Esta escala será adotada neste trabalho para melhor delinear o público-alvo do jogo, que deverá possuir um certo grau de força muscular para ser capaz de utilizar a aplicação.

Quadro 2 – Escala MRC para força muscular

Tipo	Descrição
0	Nenhum movimento
1	Só um traço de movimento
2	Movimento ativo, com a eliminação da gravidade
3	Movimento ativo contra a gravidade
4	Movimento ativo contra a gravidade e resistência
5	Força normal

Fonte: Adaptado de Medical Criteria, 2014¹.

2.3 Interação Natural

Desde a popularização dos computadores, a interação com usuário é realizada em grande parte dos computadores e sistemas computacionais através do mouse e do teclado. A interação natural (IN) tem sido explorada como uma forma mais simples e intuitiva de interação. O termo “natural” refere-se a permitir que o usuário interaja com o sistema computacional de uma forma não muito diferente da que ele interage com o mundo real.

Nesse contexto, a interação natural pode ser definida como uma forma mais natural de interação que, diferentemente daquela realizada por meio mouse e teclado, permite a comunicação do usuário com o sistema computacional através de gestos, expressões e

¹ <http://www.medicalcriteria.com/site/home/64-neurology/238-neuomrc.html>

movimentos, entre outros (VALLI, 2007). A interação natural permite a abertura de um canal de comunicação direto entre o usuário e o mundo digital.

As interfaces baseadas no princípio da interação natural são conhecidas como NUIs (*Natural User Interfaces* ou Interfaces Naturais para o Usuário, em português). A ideia das NUIs é libertar o usuário da necessidade de segurar um mouse ou qualquer outro dispositivo de interação. Ao invés disso, expressões do usuário como voz, gestos e movimentos corporais são reconhecidas e interpretadas no sistema (BOEHM, 2012). De acordo com Wigdor e Wixon (2011) uma NUI deve prover experiência que seja tão natural para um usuário novato quanto para um usuário experiente, de forma que eles possam sentir que a própria interface seja uma extensão do seu corpo.

Kaushik e Jain (2014) destacaram as três principais tecnologias de NUI que estão sendo utilizadas atualmente: Interfaces multitoque, Interação com Voz e Através de Gestos.

As superfícies multitoque são interfaces capazes de detectar mais de um ponto de contato (geralmente um dedo) simultaneamente. Normalmente consistem de uma superfície sensível ao toque que detecta o movimento dos dedos do usuário em contato e interpreta os gestos realizado por ele. É conhecida principalmente pela sua presença em boa parte dos *smartphones* atuais, no entanto possui outras aplicações como neuroreabilitação, treinamento, colaboração e visualização de informações (BUCHANAN; BOTT; LAVIOLA, 2015).

Interfaces para interação por voz (VUIs, *voice user interface*) realizam a interpretação da voz humana em comandos. Muitas das aplicações utilizam sistemas de ASR (*Automatic Speech Recognition*) que atuam sobre os sons que estão sendo emitidos pelo usuário. Um ASR tem dois principais elementos: um dispositivo que realiza a captura do sinal de voz e um sistema que utiliza um classificador para decidir o que foi falado, podendo então interpretar o comando de voz em uma ação (FLYNN; JONES, 2008).

Devido a proposta deste trabalho de utilizar interfaces de interação natural através de gestos, será realizado um melhor detalhamento deste tipo de interação na seção seguinte, na qual serão discutidos aspectos relacionados a natureza dos gestos, como eles podem ser capturados e alguns dispositivos envolvidos neste processo.

2.3.1 Interação através de Gestos

Segundo Kaushik e Jain (2014), gestos são expressões corporais que expressam significados através de partes do corpo como os dedos, mãos, braços, cabeça ou face, usados para transmitir informações ou interagir com o ambiente. As interfaces deste tipo realizam o

reconhecimento destes gestos e a interpretação do significado de cada um deles. O reconhecimento de gestos possui aplicações como o reconhecimento de linguagem de sinais (VOGLER; METAXAS, 2001), reabilitação de pacientes (CHANG; CHEN; HUANG, 2011), monitoramento de pacientes, navegação e manipulação de objetos em ambientes virtuais e ensino a distância (LISSETTI; SCHIANO, 2000).

Mitra e Acharya (2007) classificaram os gestos quanto a sua temporalidade, seu tipo e seu significado. Quanto a sua temporalidade, o gesto pode ser:

- **Estático:** O gesto é reconhecido quando o usuário assume uma determinada posição. Por exemplo, sinal de positivo.
- **Dinâmico:** Quando a movimentação é importante para o reconhecimento do gesto. Por exemplo, o gesto de “dar tchau”.

Quanto ao seu tipo, os gestos podem ser:

- **De mão e braço;**
- **De cabeça e face;**
- **De corpo inteiro.**

Em relação ao significado, vários fatores são levados em consideração na interpretação de um gesto. Estes fatores são:

- **Informação espacial:** Onde o gesto ocorre;
- **Informação de caminho:** A sequência de movimentos que o indivíduo realizou para este gesto;
- **Informação simbólica:** Os sinais que o gesto fez;
- **Informação afetiva:** Sua qualidade emocional.

Para interpretar um gesto, primeiro é necessário um dispositivo que realize a captura das regiões de interesse para serem analisadas pelo sistema computacional (*hardware*). Este processo é denominado captura de movimento. Existem diferentes dispositivos que realizam a captura de movimento, como o Kinect, Nintendo Wii, Câmeras RGB, dentre outros. Um dos dispositivos mais conhecidos que utilizam este tipo de interface é o Kinect (Figura 3), desenvolvido pela Microsoft, que revolucionou a indústria de jogos na época de seu lançamento

por permitir ao jogador controlar o jogo sem o uso de controles, fazendo isto apenas através de gestos e movimentos.

Figura 3 – Jogador utilizando o KINECT para jogar uma partida de Golfe



Fonte: International Business Times, 2011².

Das três formas de interação natural apresentadas, a interação através de gestos é, possivelmente, a que possui mais aplicações na área de reabilitação física, pois é capaz de realizar a captura dos movimentos dos usuários executando determinada série de exercícios, sendo capaz de fornecer *feedback* ao usuário e a criação de ambientes virtuais que motivem os usuários.

2.3.2 Eletromiografia

Uma das áreas importantes no que concerne à interação natural e à detecção de gestos é a captura de movimento (MoCap), que consiste em rastrear os movimentos do usuário através de dispositivos de rastreamento. Em ambientes para reabilitação, são importantes o monitoramento e a avaliação dos movimentos realizados pelo usuário. Portanto, a captura de movimento se torna parte integrante destes sistemas (ZHOU; HU, 2008).

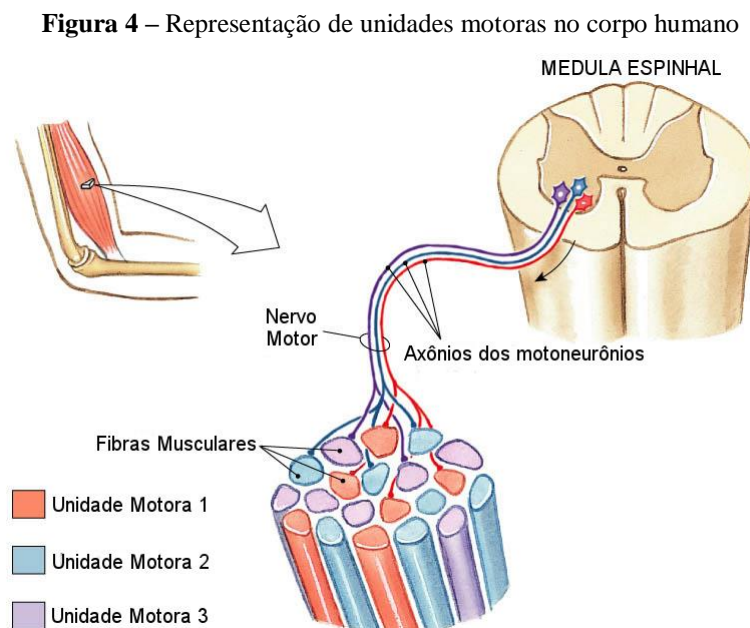
Uma grande parte dos trabalhos recentemente desenvolvidos tem optado por técnicas de rastreamento visual, que são técnicas que utilizam câmeras e sensores ópticos para realizar o rastreamento dos movimentos. No entanto avanços no sensoriamento fisiológico permitiram o

² <http://www.ibtimes.co.uk/microsoft-launch-commercial-sdk-kinect-windows-8-240589>

acesso a técnicas como a eletromiografia para reconhecimento de gestos corporais (SAMADANI; CULI, 2014).

A eletromiografia é uma técnica que consiste na medição do sinal elétrico produzido pelos músculos quando há estimulação das unidades motoras (UM). As unidades motoras consistem de motoneurônios (presentes na medula espinhal) ligados às fibras musculares do corpo humano, onde uma unidade motora é composta exatamente por um motoneurônio ligado a uma ou mais fibras musculares (MERLETTI; PARKER, 2004), estrutura representada na figura 4.

Quando são estimuladas, as fibras musculares produzem um potencial de ação, denominado MFAP (*Muscle Fiber Action Potential*), e a soma dos potenciais de todas as fibras musculares pertencentes a uma unidade motora é denominado MUAP (*Motor Unit Action Potential*), e é este potencial que compõe o sinal eletromiográfico. A fisiologia das fibras musculares determina a amplitude, formato e a duração de cada MFAP, definindo a característica do sinal eletromiográfico (KAMEN; GABRIEL, 2010).



Fonte: Medical Library Online, 2016³.

As duas principais técnicas para quantificação do sinal eletromiográfico são as eletromiografias intramuscular e de superfície. A primeira é uma técnica na qual o sensor é

³ <http://www.medicallibraryonline.com/Muscle>

inserido no corpo do usuário. Apesar de mais precisa, tem a desvantagem de ser uma técnica invasiva e potencialmente dolorosa. A eletromiografia de superfície é um método seguro, fácil e não-invasivo para captura dos sinais elétricos dos músculos (CRISWELL, 2010), pois realiza a captura dos sinais elétricos gerados na UM através de sensores posicionados na pele do usuário. Ainda de acordo com Samadani e Kulic (2014), o reconhecimento de gestos baseados na eletromiografia de superfície é uma abordagem promissora em aplicações de reabilitação.

2.3.3 Reconhecimento de gestos

Sistemas para captura e reconhecimento de gestos funcionam em duas etapas: primeiro é realizada a captura dos sinais, sejam eles provenientes de dispositivos ópticos, musculares ou magnéticos. Posteriormente, o sinal é processado e analisado por um *software*, que é responsável por classificar o gesto. Normalmente este reconhecimento é realizado utilizando um modelo de decisão que interpreta os sinais, processa-os e fornece uma decisão sobre qual gesto está sendo executado. No entanto, não existe um modelo de decisão padrão que seja capaz de reconhecer todos os tipos de sinais com alto grau de precisão. Portanto, a escolha por entre um dos muitos modelos presentes na literatura deve ser feita com base em testes que verificarão a adequação dos dados capturados ao modelo de decisão utilizado no processo de reconhecimento.

Além disso, ainda que muito tenha se avançado na área de computação naquilo que concerne ao processamento dos dados, alguns dos modelos possuem uma alta complexidade. Portanto, uma seleção cuidadosa do método é necessária, pois ele não deve ser complexo a ponto de comprometer a performance da simulação, nem ter uma baixa precisão, o que comprometeria o reconhecimento (MORAES; MACHADO, 2012).

Diferentes métodos têm sido usados para o reconhecimento de gestos, como por exemplo, as redes bayesianas (SUK; SIN; LEE, 2010), as redes neurais artificiais (ARTAMEEYANANT, 2011) e classificadores baseados em lógica *fuzzy* (CHOWDHURY, 2013).

Uma Rede Bayesiana é uma estrutura capaz de representar as dependências entre variáveis. É um modelo probabilista, onde pode-se representar um conjunto de distribuições a partir das variáveis do contexto e estabelecer relações entre elas. A topologia da rede é um conjunto de nós e arcos, onde os nós representam as variáveis e os arcos representam as probabilidades condicionais entre eles (RUSSEL; NORVIG, 2005). As redes Bayesianas são

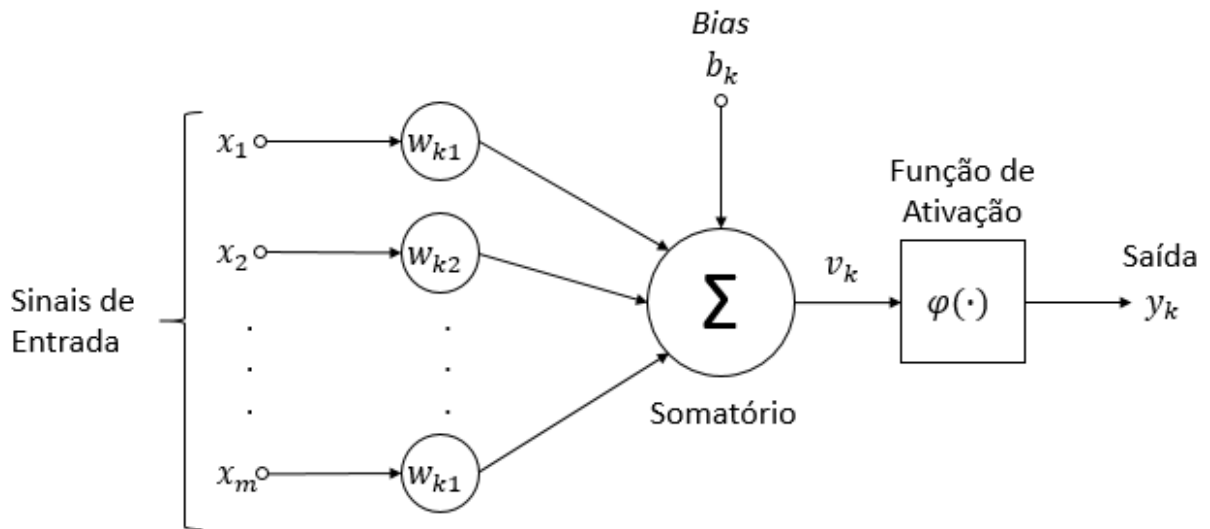
utilizadas para modelar problemas complexos e com incerteza, e possuem vantagens como a possibilidade de combinar dados com conhecimento do domínio, facilitar o aprendizado sobre relacionamentos causais entre variáveis e ter bom desempenho mesmo com um conjunto de dados pequeno (UUSITALO, 2007).

A lógica *fuzzy* foi desenvolvida para trabalhar com problemas que tratam com dados incertos ou imprecisos, pois em um conjunto *fuzzy*, um elemento pode pertencer parcialmente a um conjunto, diferentemente do que preconiza a lógica clássica. Um sistema de inferência *fuzzy* é, portanto, uma arquitetura que processa um conjunto de variáveis de entrada para uma variável de saída utilizando lógica *fuzzy* através de um conjunto de regras definidas pelos dados do sistema ou modelada pelo conhecimento de um especialista (KAZEMINEZHAD; ETEMAD-SHAHIDI; MOUSAVI, 2005). No entanto, um dos problemas com a lógica *fuzzy* é que não existe um procedimento sistemático para a modelagem das regras utilizadas no sistema de inferência. Um dos métodos que se utilizam da lógica *fuzzy* é o *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS). O ANFIS é um modelo de integração *fuzzy* baseado na arquitetura de Takagi-Sungeno onde o sistema de inferência *fuzzy* é otimizado através do treinamento com redes neurais artificiais (JANG, 1993). O ANFIS possui uma boa capacidade de aprendizado, construção e classificação, além de ser capaz de melhorar a complicada conversão do conhecimento especialista aos sistemas *fuzzy* (LEI et al., 2007).

2.3.3.1 Redes Neurais

As redes neurais são estruturas inspiradas na organização do cérebro humano, composta por uma rede de neurônios que se comunicam e são capazes de aprender, analisando padrões de atividades, com a informação aprendida armazenada como pesos nas conexões entre os neurônios (MEDSKER, 2012). Uma rede neural é composta por um conjunto de nós (representando os neurônios), que são conectados por arcos (representando as sinapses), onde a cada arco é associado um peso, que é utilizado para armazenar o conhecimento da rede. Esta esquematização está representada na figura 5. O conhecimento é adquirido através de um processo de aprendizagem, utilizando diferentes algoritmos, que nada mais são que funções responsáveis por modificar os pesos dos arcos a fim de modelar a rede conforme especificado.

Figura 5 – Representação da organização de um neurônio



Fonte: Adaptado de Haykin (2001).

Na figura 4 identificam-se quatro estruturas principais que compõem o neurônio, a principal unidade de informação em uma rede neural:

- **Sinapses:** Consistem de arcos que conectam os neurônios e possuem pesos associados. Um sinal x_j que passa por uma sinapse j para um neurônio k é multiplicado pelo peso w_{kj} .
- **Somatório:** Este somatório realizará a soma de todos os sinais que estão passando pelas sinapses conectadas a este neurônio, os sinais que chegam ao somatório já foram processados pelas sinapses.
- **Bias:** O *bias* é um valor externo aplicado para realizar ajustes na rede conforme necessário.
- **Função de Ativação:** É responsável pelo processamento do sinal resultante do somatório (v_k) no sinal de saída (y_k) que será propagado pela sinapse que conecta este neurônio ao próximo. Este processamento é necessário para limitar a amplitude do sinal, normalmente entre 0 e 1 ou entre -1 e 1.

Matematicamente, podemos descrever um neurônio k através do seguinte par de equações (HAYKIN, 2001):

$$v_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} x_j$$

e

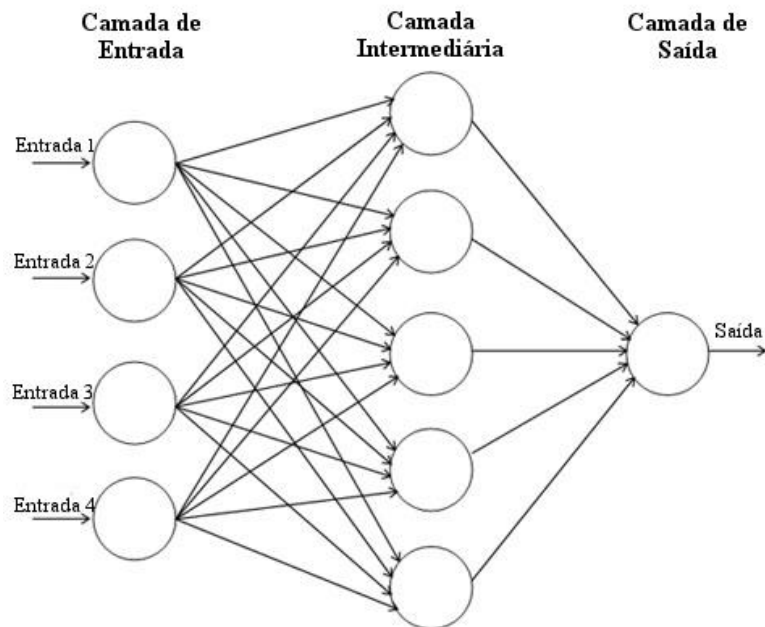
$$y_k = \varphi (v_k + b_k)$$

onde x_1, x_2, \dots, x_m são os sinais de entrada, $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{km}$ são os pesos associados as sinapses, v_k é o somatório dos sinais de entrada, b_k é o *bias*, φ é a função de ativação e y_k é o sinal resultante para o neurônio.

De acordo com Russel e Norvig (2005), as redes neurais são uma das mais populares e mais efetivas formas de aprendizagem, devido a algumas de suas características, como a capacidade de tolerar entradas com ruído (sinal com presença *outliers*) e sua boa capacidade de aprendizagem. As Redes Neurais têm encontrado aplicações em áreas como reconhecimento de imagens (KRIZHEVSKY; SUTSKEVER; HINTON, 2012), reconhecimento de voz e escrita (SAK; SENIOR; BEAUFAYS, 2014) e diagnóstico médico (AMATO et al., 2013).

Um dos algoritmos de aprendizagem utilizado em redes neurais é o *Multilayer Perceptron*, que utiliza uma rede com um conjunto de camadas: uma camada de entrada, uma ou mais camadas intermediárias e uma camada de saída, conforme exemplo ilustrado pela figura 6. Cada neurônio processa o sinal proveniente da camada anterior utilizando uma função de ativação e propaga o sinal para a próxima camada, conforme mostrado anteriormente.

Figura 6 – Esquematização de uma rede neural



Fonte: Elaborado pelo autor

As redes deste tipo têm sido usadas com sucesso para resolver problemas difíceis e diversos utilizando o algoritmo de aprendizagem supervisionada denominado algoritmo de *backpropagation*. A aprendizagem nesta rede é realizada através de um treinamento que é realizado em etapas (HAYKIN, 2001):

1. Um banco de dados com dados que descrevem uma entidade é introduzido na rede pela camada de entrada. Para cada elemento do banco, também é fornecida a saída desejada. Ou seja, como ele deve ser classificado.
2. Os sinais são propagados na rede camada por camada até chegar na camada de saída onde finalmente um resultado é gerado. Esta etapa é conhecida como *forward pass*.
3. É gerada uma correção, que consiste na diferença entre o que foi gerado pela rede e a classificação correta presente no banco de dados. Este sinal é então propagado na direção contrária dos arcos, ajustando o peso destes. Fazendo com que a resposta da rede seja mais próxima da desejada. Esta etapa é conhecida como *backward pass*.

Este processo é repetido diversas vezes até que o erro da rede (a diferença entre o que está no banco de dados e o que a rede está gerando) seja um valor pequeno aceitável. Após este processo, o treinamento da rede é encerrado e ela pode ser utilizada para classificar novos dados do mesmo tipo dos utilizados no treinamento. Matematicamente, o que está sendo feito é a minimização de uma função de erro. Considerando uma rede com n entradas e m saídas, podendo consistir de um número qualquer de camadas intermediárias e um conjunto de treinamento $\{(x_1, t_1), (x_2, t_2), \dots, (x_p, t_p)\}$ consistindo de p pares ordenados de vetores de dimensões n e m , onde o vetor x_p descreve as características do elemento p e o vetor t_p fornece a classificação correta deste elemento. Os pesos iniciais das sinapses (ou arestas) são valores aleatórios. Quando um vetor x_i do conjunto de treinamento é apresentado a rede, ele produz uma saída o_i , que irá diferir do resultado desejado t_i (ROJAS, 2013). O que se deseja, então, é que o_i e t_i sejam iguais para todos os elementos do banco de treinamento, portanto, deseja-se minimizar a função erro da rede, definida como:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^p \|o_i - t_i\|^2$$

Após a minimização da função, a rede será capaz de receber amostras semelhantes e realizar a classificação de novas amostras.

Neste capítulo, os conceitos fundamentais necessários para a construção de um *serious game* para reabilitação foram explorados. Jogos para reabilitação são importantes ferramentas no apoio a reabilitação de pacientes. Estas ferramentas geralmente envolvem a utilização de dispositivos de interação natural para realizar a captura de movimento, visando reconhecer os gestos sendo realizados e possivelmente avalia-los de uma maneira segura e não invasiva. No próximo capítulo, será mostrado o delineamento da pesquisa e os passos para sua realização.

3 Materiais e métodos

Neste capítulo serão apresentados os métodos, os materiais e os passos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho. Primeiramente, foi realizada uma revisão narrativa na área de jogos para reabilitação, visando a um melhor conhecimento das necessidades e particularidades da área e um outro estudo para verificar os movimentos de mão e punho que são aplicados em reabilitação. Além disso, foi realizado um estudo de adequação de vários modelos de decisão a dados eletromiográficos. Finalmente, serão descritas as etapas do processo de construção de um jogo voltado à reabilitação de mãos e punho.

3.1 Revisão Narrativa

Para um melhor entendimento da área e verificar o direcionamento da mesma, foi realizada uma revisão narrativa sobre *serious games* em reabilitação. A escolha pelo método da revisão narrativa se deu pela flexibilidade deste tipo de revisão, que permite a exploração livre de diferentes plataformas. De acordo com Green (2006), consiste de uma síntese narrativa de informações previamente publicadas e são úteis para dar uma ampla perspectiva em um tópico, descrevendo a história ou desenvolvimento de um problema.

O objetivo desta revisão foi verificar as características de jogos para reabilitação, como esses jogos abordam a diversão, a repetição dos movimentos, quais dispositivos são utilizados e quais doenças são especificamente tratadas em cada um deles. A revisão foi realizada no mês de maio de 2016 nas bases abrangidas pela plataforma “Periódicos CAPES” e Google Acadêmico, como Elsevier, IEEE, Springer, BVS, entre outras. Os termos utilizados para busca foram: *serious games*, reabilitação, *rehabilitation*, *virtual environments*, *hand*, *wrist*.

3.2 Identificação de gestos para reabilitação em jogos

Visando a verificação dos principais exercícios utilizados em reabilitação, foi realizado um estudo para delinear todos os exercícios relevantes aos punhos e a mão, de forma a oferecer uma ferramenta que englobe todos estes. Como bibliografia, foram utilizados livros de referência na área de fisioterapia, recomendados por professores e especialistas da área.

3.3 Estudo de adequação de modelos de decisão

Para compor a parte do *software* que foi responsável por realizar a identificação dos gestos baseado nos sinais eletromiográficos, foi necessária a escolha por um modelo de decisão. Para tal, foram realizados testes de adequação com diferentes modelos, apresentados no capítulo anterior.

Para realização destes testes, foi gerado um banco de dados tomando como base quatro exercícios de pulso: a flexão, extensão e os desvios ulnar e radial, alguns dos movimentos de pulso descritos por Lippert (2011). As medições foram obtidas sobre um mesmo indivíduo, vestindo o mesmo dispositivo sem retirá-lo para ressincronização ou outra tarefa qualquer. Os dados eletromiográficos foram coletados a partir de um indivíduo do sexo masculino de 23 anos sem qualquer deficiência motora ou mental. A coleta foi realizada na Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

3.3.1 *Hardware* para reconhecimento de gestos

Para realizar a captura dos sinais eletromiográficos, foi utilizado o Myo, um dispositivo de captura de sinais eletromiográficos de superfície desenvolvido e lançado pela Thalmic Labs em 2014 que realiza a captura dos sinais musculares a partir da superfície da pele e traduz estas informações em um gesto (XU et al., 2015) cuja aplicabilidade em ambientes de reabilitação foi discutida por Batista, Machado e Valença (2016).

O dispositivo, que pode ser visualizado na figura 7, consiste de um bracelete que deve ser vestido no antebraço, acima do cotovelo, e que possui oito módulos para captura de sinais. Além destes sensores, o Myo possui um giroscópio, um acelerômetro e um magnetômetro para medir a rotação e a movimentação do braço do usuário. O Myo é capaz de reconhecer um pequeno conjunto de gestos, que estão ilustrados na figura 7. O bracelete se comunica com as aplicações através de uma interface Bluetooth, que tolera uma distância entre 10 e 15 metros entre o receptor do sinal e o dispositivo. O Myo é de fácil controle, não sofre de limitações de espaço e movimento e demanda pouco esforço físico (MCCULLOUGH, 2015). Além disso, o Myo é uma alternativa mais acessível comparado a outras técnicas de captura de movimento, pois é comercializado atualmente ao preço de 150 dólares.

Figura 7 - O dispositivo e conjunto de sinais reconhecidos nativamente



Fonte: Thalmic Labs, 2016⁴

Apesar de reconhecer um conjunto limitado de gestos, que é suficiente para aplicações do cotidiano, o potencial do Myo como ferramenta para auxiliar na reabilitação está na capacidade de prover os dados eletromiográficos capturados pelos oito sensores. Estes dados podem ser processados e avaliados por um modelo de decisão para então serem incorporados em um ambiente de reabilitação.

3.3.2 Extração de características

A extração de características é o processo de transformar os dados originais em variáveis chamadas de características que são utilizadas para treinar o modelo de decisão (PENTREATH, 2015), neste caso, os dados capturados pelo dispositivo de eletromiografia. É importante pois permite trabalhar com dados de menor dimensão, facilitando o processo de classificação. Neste trabalho foi utilizado um método de extração de dados em que, para cada sensor i , apenas os maiores e os menores valores registrados em uma medição são utilizados, resultando na criação de duas características para cada sensor.

⁴ <https://www.myo.com/techspecs>

Considerando um sinal x de tamanho t , temos que para um sensor i , as características são dadas por:

$$\hat{x}_{min}(i) = \min(x(i)_{1:t}) \quad (1)$$

$$\hat{x}_{max}(i) = \max(x(i)_{1:t}) \quad (2)$$

Como o Myo possui 8 sensores e para cada sensor são criadas duas características, foram geradas 16 características que são utilizadas para descrever um determinado movimento. Estas características descrevem um movimento e foram analisadas por um modelo de decisão.

3.4 Desenvolvimento do jogo

A primeira etapa no desenvolvimento de um jogo (seja ele um *serious game* ou não) é a criação da chamada *design bible*. É um documento que descreve todos os elementos essenciais que compõem o jogo e é responsável por nortear os desenvolvedores na construção do jogo. Os quatro principais elementos que devem estar presentes na *design bible* são: o roteiro, que descreve a sequência de eventos do jogo, define regras e formas de interação, o *design*, a jogabilidade e a descrição da interface (MACHADO et al., 2011).

A *design bible* foi escrita para ser um guia, organizando o processo do desenvolvimento e permitindo a verificação do progresso em relação aquele planejado anteriormente. A *design bible* deste documento está disponível no Apêndice A.

Para o desenvolvimento da aplicação, foi utilizada uma *game engine*, que é uma coleção de módulos de códigos de simulação que não especificam diretamente o comportamento do jogo (lógica do jogo) ou o ambiente de jogo (fases do jogo). Uma *engine* é composta de módulos para tratar da entrada e saída (*rendering* 3D, desenhos 2D, som), implementação de modelos físicos genéricos para o jogo (TRENHOLME; SMITH, 2008), sonorização e sincronização de tarefas, além de outras funcionalidades, que facilitam o desenvolvimento, permitindo que o desenvolvedor se preocupe apenas com as características específicas do jogo sendo desenvolvido, já que aspectos que são comuns aos jogos como algoritmos de física, movimentação e exibição já estão prontos para serem utilizados.

Para este trabalho, foi utilizada a *game engine* Unity3D. A escolha por esta se deu pelo fato que ela é capaz de exportar aplicações para diferentes plataformas, como Windows, Linux, Mac, Android, iOS. Além disso, o Unity3D possui uma documentação robusta e possui versões gratuitas.

4 Desenvolvimento

Neste capítulo será apresentado o processo de desenvolvimento do jogo. Serão descritos aspectos como os requisitos do jogo, a arquitetura e todos os módulos que compõem o jogo e são responsáveis pelo seu funcionamento: o módulo de classificação, responsável pelo reconhecimento dos gestos, e o módulo de avaliação, que realiza o ajuste automático da dificuldade do jogo.

4.1 Proposta do jogo

Jogos para reabilitação visam auxiliar a recuperação de pacientes através da introdução da ludicidade e aspectos de jogos no tratamento. Através destes aspectos, estas ferramentas visam manter o interesse do paciente no tratamento. Este incentivo torna-se relevante pela natureza do tratamento, que consiste na repetição de uma série de movimentos, o que pode causar ao paciente a sensação de tédio e eventualmente levar ao abandono do tratamento.

Com a utilização dos jogos, o tratamento torna-se mais interessante ao paciente, pois os jogos engajam o paciente na tarefa sendo realizada e seu uso pode ocasionar com que o paciente esqueça momentaneamente que está realizando um tratamento e concentre-se no jogo como uma experiência divertida e recompensadora.

No entanto, em grande parte dos jogos encontrados na literatura a partir da revisão realizada, há um desbalanceamento em relação aos quatro elementos da tétrede elementar de Schell: Arte, Enredo, Mecânica e Tecnologia. Portanto, há uma tendência destes jogos em focar em dois elementos: mecânica e tecnologia. De acordo com Schell (2014), quando há um desbalanceamento entre estes elementos, a experiência do jogador pode ser prejudicada. Isto é especialmente relevante em aplicações para reabilitação, que por envolver a execução de exercícios e movimentos de maneira repetitiva, precisam tornar a experiência do usuário a melhor possível, de forma a manter o interesse do paciente no jogo, e conseqüentemente, no tratamento.

Neste trabalho, desejou-se explorar os elementos dessa tétrede de forma que haja um balanço entre estes elementos, focando igualmente em todos os aspectos do jogo, visando a fornecer a melhor experiência possível ao usuário e contribuindo ainda mais para a motivação do usuário. Além disso, baseado na teoria do fluxo de Csikszentmihalyi (NAKAMURA; CSIKZENTMIHALYI, 2014) deseja-se a criação de um jogo que se adeque ao nível de

habilidades do usuário, objetivando que o mesmo consiga alcançar o estado de “fluxo”, permitindo assim um grau ainda maior de concentração no jogo. De acordo com Borghese et al. (2014) jogos para reabilitação, além de serem motivadores devem: (1) adaptar a dificuldade do jogo ao nível de habilidade do paciente, (2) realizar monitoramento das ações e posturas e (3) fornecer feedback adequado ao paciente.

Finalmente, a proposta do jogo é a criação de um jogo para auxiliar na reabilitação de mãos e punho em pacientes que sofreram AVE, harmonizando os elementos da tétrede elemental de Schell e utilizando as idéias da teoria do fluxo para balanceamento de dificuldade, visando a prover a melhor experiência possível ao usuário, utilizando um dispositivo de eletromiografia de superfície de baixo custo para reconhecer os gestos do usuário, através da incorporação de um modelo de decisão que analisará os dados provenientes do dispositivo, monitorando as ações do usuário e sendo capaz de fornecer *feedback* e realizando o reconhecimento dos gestos.

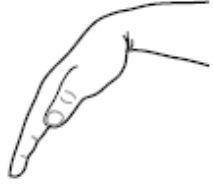





4.1.1 Público Alvo







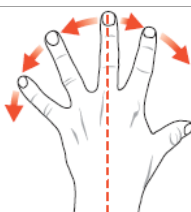
O público alvo do jogo são pacientes em processo de reabilitação de mão e punho, com força muscular 3 ou 4 na escala MRC. Esta restrição se dá pelo fato de que pacientes na escala 1 e 2 são incapazes de realizar movimentos contra a gravidade e, portanto, ficariam impossibilitados de utilizar o jogo. Além disso, algumas tarefas do jogo exigem movimentos que não podem ser executados por pacientes na escala 2.

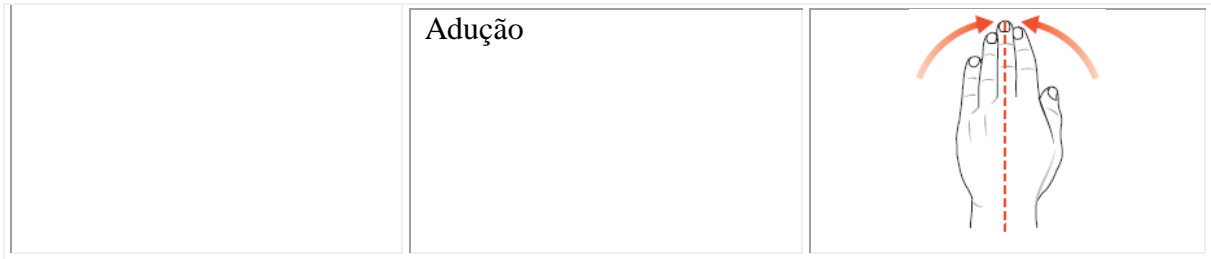
4.1.2 Requisitos do jogo

O primeiro passo no desenvolvimento de um jogo para reabilitação foi a definição de quais gestos seriam abordados no jogo como parte integrante do programa de exercícios. Idealmente, todos os exercícios de mão e punho seriam abordados, portanto recorreu-se a literatura para verificar quais seriam estes movimentos. O resultado desta verificação está no quadro 3.

Quadro 3 – Movimentos de mão e punho para reabilitação

Região	Nome do Exercício	Ilustração
Punho	Flexão	
	Extensão	
	Desvio Ulnar	
	Desvio Radial	
Polegar	Extensão	
	Flexão	

	Abdução	 A line drawing of a right hand with the thumb extended away from the index finger. A red curved arrow points from the thumb towards the index finger, indicating the direction of adduction.
	Adução	 A line drawing of a right hand with the thumb extended away from the index finger. A red curved arrow points from the thumb towards the index finger, indicating the direction of adduction.
	Oposição	 A line drawing of a right hand with the thumb extended away from the index finger. A red curved arrow points from the thumb towards the index finger, indicating the direction of opposition.
	Reposição	 A line drawing of a right hand with the thumb extended away from the index finger. A red curved arrow points from the thumb towards the index finger, indicating the direction of repositioning.
Dedos	Flexão	 A line drawing of a right hand with the fingers curled towards the palm. A red arrow points downwards from the fingers, indicating the direction of flexion.
	Extensão	 A line drawing of a right hand with the fingers extended away from the palm. A red arrow points upwards from the fingers, indicating the direction of extension.
	Abdução	 A line drawing of a right hand with the fingers extended away from the palm. A vertical dashed red line is drawn through the middle finger. Red arrows point outwards from the middle finger towards the thumb and pinky, indicating the direction of abduction.

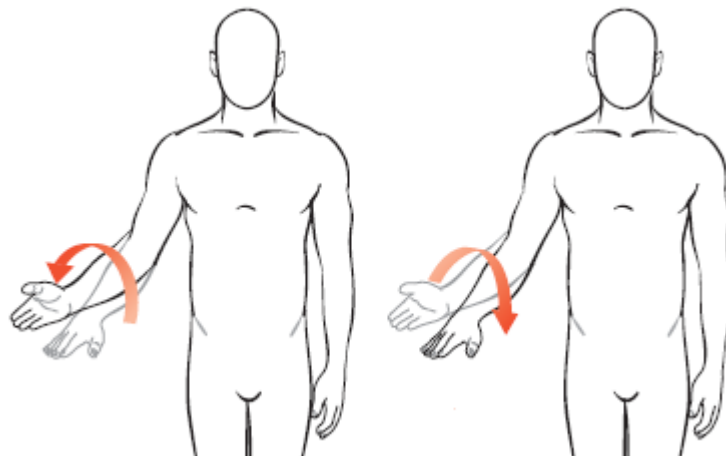


Fonte: Adaptado de Lippert (2011)

No entanto, por limitações do dispositivo utilizado neste trabalho, alguns exercícios tiveram de ser eliminados. Os exercícios que trabalham especificamente com o polegar: Extensão, Flexão, Abdução, Adução, Oposição e Reposição precisaram ser eliminados pois, após a realização de testes iniciais, verificou-se que taxa de acerto foi relativamente baixa (inferior a 50%), portanto o nível de sensibilidade dos sensores foi insuficiente para capturar adequadamente os sinais eletromiográficos relacionados a este dedo.

Foram então definidos os exercícios que serão abordados no jogo, estando estes dispostos no quadro 4. Além dos exercícios anteriormente citados, foram incluídos dois exercícios de cotovelo: a supinação e a pronação, que estão ilustrados na figura 8. Esta inclusão aconteceu devido ao *feedback* de um especialista da área, que recomendou a inclusão destes pois são dois importantes exercícios que estão relacionados a recuperação dos movimentos do pulso e dos dedos.

Figura 8 – Movimentos de supinação (esq.) e pronação (dir.)



Fonte: Lippert, 2011

Como o sistema de reconhecimento de gestos próprio do dispositivo já é capaz de reconhecer uma parte dos gestos, especificamente os relacionados a dedos e o cotovelo, ele será

responsável por realizar o reconhecimento destes e, portanto, não será necessário a utilização de um modelo de decisão para reconhecer estes gestos. No entanto, ele será necessário para reconhecer os gestos relacionados ao punho, que não são suportados pelo sistema do dispositivo. Estas informações relacionadas ao reconhecimento de gestos estão organizadas no quadro 4, que delimita os gestos reconhecidos pela aplicação.

Quadro 4 – Movimentos reconhecido pelo jogo

Região	Nome do Exercício	Forma de Reconhecimento
Punho	Flexão	Modelo de Decisão
	Extensão	Modelo de Decisão
	Desvio Ulnar	Modelo de Decisão
	Desvio Radial	Modelo de Decisão
Dedos	Flexão/Extensão	Dispositivo
	Abdução/Adução	Dispositivo
Cotovelo	Supinação/Pronação	Dispositivo

Fonte: Elaborado pelo autor

Um outro requisito para realização deste trabalho foi a escolha por um entre vários modelos de decisão. Esta escolha determinará o modelo que será responsável por realizar o reconhecimento dos gestos que não são suportados pelo sistema do dispositivo. Para jogos, a utilização de um modelo que seja o mais preciso possível é necessária, pois um reconhecimento incorreto pode ocasionar perda de pontos ao jogador e causar frustração.

Portanto, inicialmente foram escolhidos 4 exercícios de punho diferentes para serem classificados: a flexão, extensão e os desvios ulnar e radial, que compõem os exercícios de punho. Foram geradas então, para o conjunto de teste, 360 amostras (90 para cada exercício) e para o conjunto de treinamento foram geradas 120 amostras (30 para cada exercício). As medições foram obtidas sobre um mesmo indivíduo, vestindo o mesmo dispositivo sem retirá-lo para ressincronização ou outra tarefa qualquer.

Como ponto de partida para os testes, os seguintes modelos de avaliação foram escolhidos: O ANFIS (Algoritmo baseado na lógica *fuzzy* e em Redes Neurais Artificiais), cujos resultados já foram apresentados (BATISTA et al., 2016), o JRip (algoritmo baseado em

regras), o Multilayer Perceptron (algoritmo baseado em redes neurais) e Redes Bayesianas. Os resultados foram apresentados na forma de uma matriz de confusão, que expressa a quantidade de casos de teste que foram classificados corretamente, além do coeficiente Kappa.

O Kappa é uma medida robusta, comumente utilizada em trabalhos científicos como uma medida de associação para descrever e avaliar o grau de concordância entre as classificações (COHEN, 1960). O coeficiente Kappa varia entre 0 e 1, onde 0 significa discordância total, e o 1 significa a total concordância. É um valor padronizado e, portanto, interpretado da mesma forma em vários estudos. Para Cohen, um valor de Kappa superior a .81 pode ser considerado como quase perfeito (MCHUGH, 2012).

O coeficiente Kappa é comumente calculado sobre as matrizes de confusão (também chamadas de matrizes de concordância). Cada célula (i, j) dessa matriz indica a quantidade de elementos da classe i que foram classificados como elementos da classe j pelo modelo de decisão. Desta forma, os valores na diagonal principal representam as classificações corretas realizadas pelo modelo, todos os outros valores são classificações incorretas. Os resultados da classificação com os modelos de avaliação podem ser vistos nas tabelas 1 a 4.

Tabela 1 – Matriz de confusão para a classificação utilizando o ANFIS.

	Extensão	Flexão	D. Radial	D. Ulnar
Extensão	90	0	0	0
Flexão	1	88	1	0
D. Radial	0	2	87	1
D. Ulnar	1	2	8	79
	Taxa de Acerto: 95,56% Coefficiente Kappa: 0,940			

Fonte: Batista et al. (2016)

Tabela 2 – Matriz de confusão para a classificação utilizando o JRip.

	Extensão	Flexão	D. Radial	D. Ulnar
Extensão	87	0	3	0
Flexão	0	67	19	4
D. Radial	1	5	82	2
D. Ulnar	0	0	3	87
Taxa de Acerto: 89,73% Coefficiente Kappa: 0,863				

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 3 – Matriz de confusão para a classificação utilizando o algoritmo Multilayer Perceptron.

	Extensão	Flexão	D. Radial	D. Ulnar
Extensão	90	0	0	0
Flexão	0	85	5	0
D. Radial	0	0	90	0
D. Ulnar	1	0	3	86
Taxa de Acerto: 97,50% Coefficiente Kappa: 0,966				

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4 – Matriz de confusão para a classificação utilizando Redes Bayesianas.

	Extensão	Flexão	D. Radial	D. Ulnar
Extensão	90	0	0	0
Flexão	0	86	4	0
D. Radial	0	0	90	0
D. Ulnar	0	0	2	88
Taxa de Acerto: 98,34% Coefficiente Kappa: 0,977				

Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser visto analisando as tabelas 1, 2, 3 e 4, todos os modelos obtiveram um bom desempenho na classificação dos dados eletromiográficos. O que apresentou o melhor desempenho foi o algoritmo de Redes Bayesianas, com um coeficiente Kappa de 0,977, no entanto a possível utilização de Redes Bayesianas não foi viável, visto que elas só podem ser aplicadas a conjuntos de dados que sigam a distribuição normal. Enquanto isso, o algoritmo que obteve o pior desempenho foi o JRip, com um coeficiente Kappa de 0,863, o que ainda pode ser considerado aceitável. Portanto, foi feita a escolha pelo algoritmo *Multilayer Perceptron*. Como este modelo teve um excelente desempenho (coeficiente Kappa de 0,966), não foram realizados testes com outros modelos.

4.1.3 Arquitetura do jogo

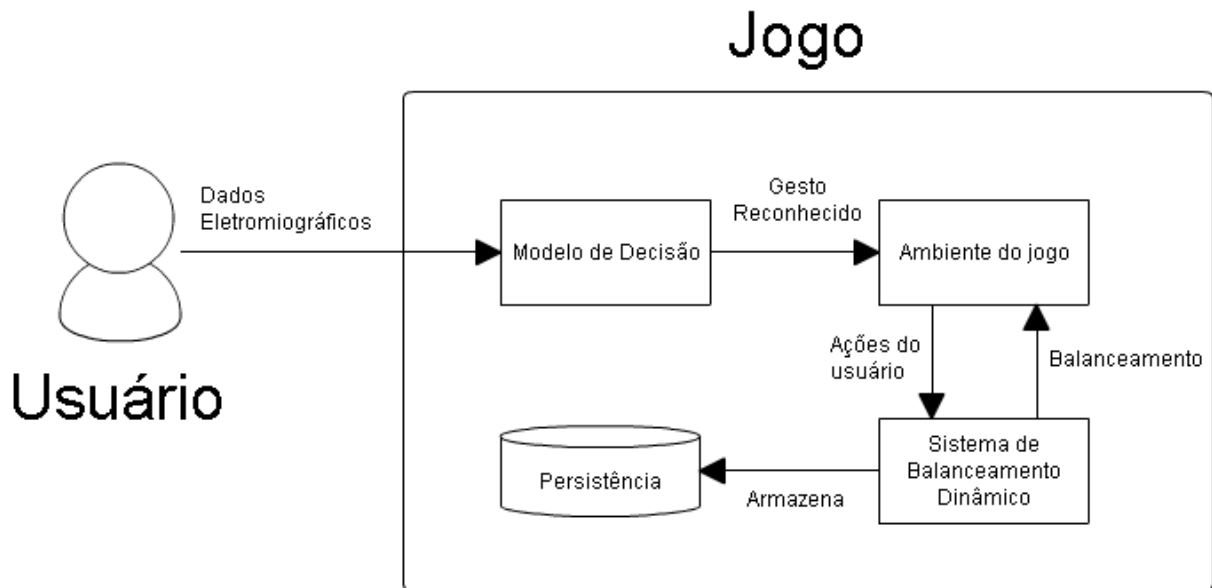
A arquitetura do sistema consiste em como os componentes estão organizados estruturalmente e como estes se relacionam entre si. Existem quatro componentes principais: o modelo de decisão, o ambiente do jogo (o cenário com o qual o usuário interage e recebe *feedback*), o sistema de balanceamento dinâmico e a persistência.

A arquitetura do jogo está ilustrada na figura 9. Inicialmente, o usuário interage com o jogo através do dispositivo, que transmite os dados eletromiográficos para o modelo de decisão, que será responsável por realizar o reconhecimento e transmitir esta informação ao ambiente do jogo, que por sua vez decide como será utilizada, seja para mover um personagem ou abrir uma caixa, por exemplo.

O ambiente de jogo também se comunica com um sistema de balanceamento dinâmico, onde o jogo transmite ao sistema informações sobre as ações do jogador e o sistema de balanceamento automaticamente ajusta a dificuldade do jogo para acomodar o nível de habilidades do usuário que está jogando.

No jogo também há um sistema de perfis onde as informações do jogador e os níveis de dificuldade são salvos em um banco de dados, representados na figura 9 pela persistência, para que na próxima vez que o jogador executar o jogo, estas informações possam ser carregadas e o jogo já se inicie no nível de dificuldade que estava ao término da última sessão.

Figura 9 – Esquemática do jogo desenvolvido



Fonte: Elaborado pelo autor

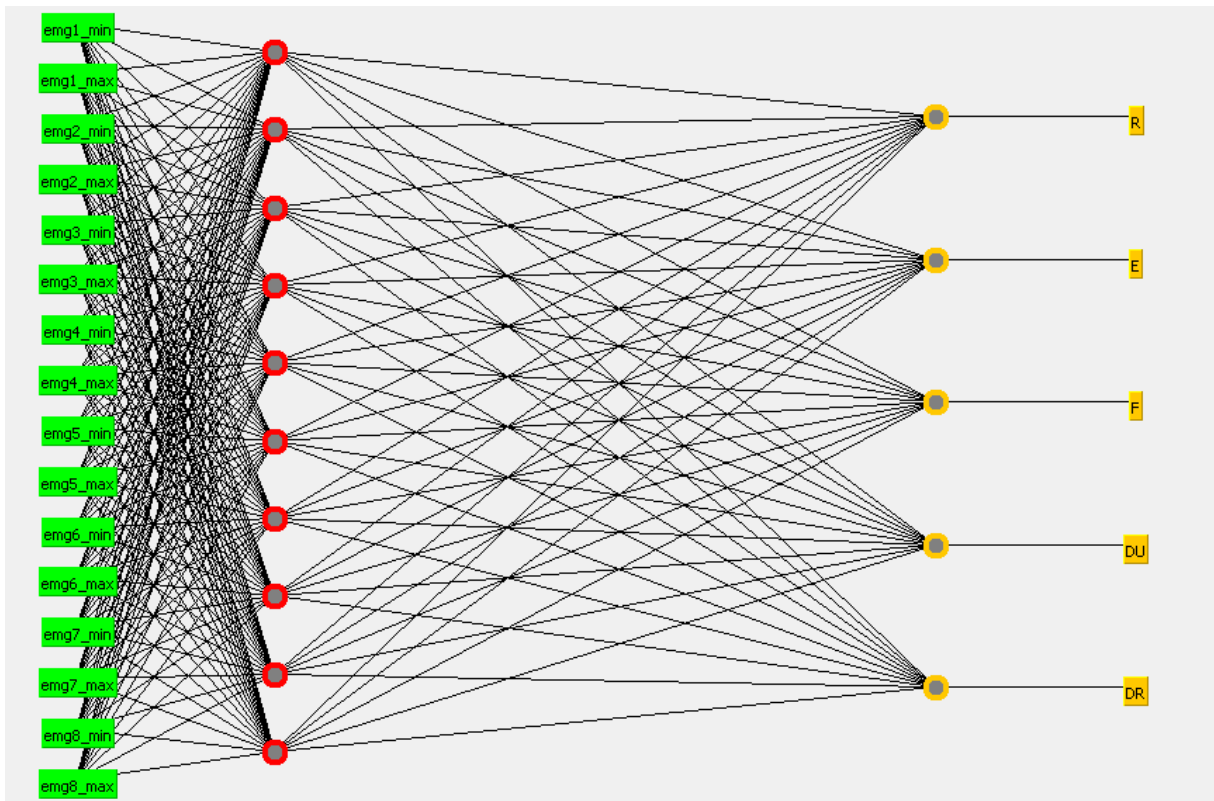
4.2 Reconhecimento de gestos

O reconhecimento de gestos é uma importante parte deste trabalho. O módulo que realiza este reconhecimento foi criado com a finalidade de reconhecer novos gestos, que não são suportados nativamente pelo sistema do dispositivo utilizado neste trabalho, de forma a englobar todos os gestos anteriormente definidos para mão e punho.

O reconhecimento será feito utilizando um modelo de decisão conhecido como redes neurais, especificamente, foi utilizado o algoritmo *Multilayer Perceptron* para realizar o reconhecimento. Este método se mostrou preciso nos testes iniciais com dados eletromiográficos, e, portanto, foi incorporado no sistema.

O banco de treinamento foi gerado para possibilitar o reconhecimento de quatro gestos: flexão, extensão, desvio radial e ulnar: todos exercícios de punho. Além destes, mais um “gesto” foi incluído para o reconhecimento: o repouso, para verificar quando o usuário não está executando nenhum movimento. Para cada um destes gestos, foram geradas 100 amostras, que compuseram um banco de dados de 500 linhas. As medições, que foram geradas da mesma forma que as utilizadas no banco de dados usado nos testes iniciais, forneceram um banco de dados que permitiu que as redes neurais pudessem inferir novos gestos executados pelo usuário. A rede neural definida para realizar o reconhecimento está ilustrada na figura 10.

Figura 10 – Rede neural utilizada neste trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor

A etapa em que o modelo analisa os dados é chamada de treinamento. As redes neurais utilizam um algoritmo chamado *Backpropagation* para realizar esta etapa de treinamento, como mostrado anteriormente. A etapa de treinamento é uma etapa que demanda muito tempo, portanto, no jogo desenvolvido, ela é realizada antes uma única vez antes do jogo ser carregado, utilizando o banco de dados anteriormente descrito para realizar o treinamento e deixar a rede neural apta a realizar o reconhecimento do gestos a partir das amostras coletadas em tempo real, com o jogo em funcionamento.

Um desafio deste projeto foi como gerar as novas amostras para serem reconhecidas. Em um ambiente controlado de testes, é fácil definir onde começa e onde termina a medição de uma amostra, pois nesse ambiente, a medição é iniciada, o gesto é executado e após isso a medição é encerrada, compondo uma amostra. Em tempo real, não há como delimitar com precisão onde começa e onde termina o gesto, o usuário executará os movimentos e não é sua responsabilidade informar ao sistema quando ele realizará um gesto, portanto cabe ao desenvolvedor definir uma forma de realizar a separação e o processamento do sinal, visando uma posterior análise pelo modelo de decisão.

Neste projeto, utilizou-se uma estratégia simples para contornar este problema: fatiou-se o sinal em relação ao tempo de forma que a duração de cada sinal tenha duração de 0,5 s., portanto, a cada meio segundo, uma medição é realizada, o sinal é processado e enviado ao modelo de decisão para que seja realizado o reconhecimento, que por sua vez repassa a informação ao jogo.

4.3 Enredo e Mecânica

Após a definição dos aspectos técnicos, a partir de agora serão mostrados aspectos relevantes ao enredo e mecânica do jogo, e como estes estão integrados entre si e a tecnologia do jogo, objetivando prover uma experiência completa ao usuário. O enredo, e principalmente, as mecânicas do jogo foram projetadas visando a conseguir inserir os exercícios de uma forma que a repetição fosse uma parte integrante da atividade sendo realizada, visando ao máximo “disfarçar” a sua presença, tornando-a algo natural no contexto do jogo e da aplicação.

O enredo do jogo envolve a história de Carmita, que é dona de uma fazenda no sertão da Paraíba. Para conseguir dinheiro e conseguir alimentos para os seus filhos, ela produz vários produtos em sua fazenda: Milho, Frutas e Ovos. Ela retira o necessário para a sobrevivência da sua família e vende o resto. A partir deste enredo, foram construídas três tarefas, para representar cada uma das atividades de coleta da personagem, ilustrado no esquema apresentado na figura 10. Cada jogo englobará um subconjunto dos gestos, integrando estes a mecânica do jogo como forma de interação, de modo que o usuário realiza as tarefas do jogo através da execução de exercícios de forma repetitiva.

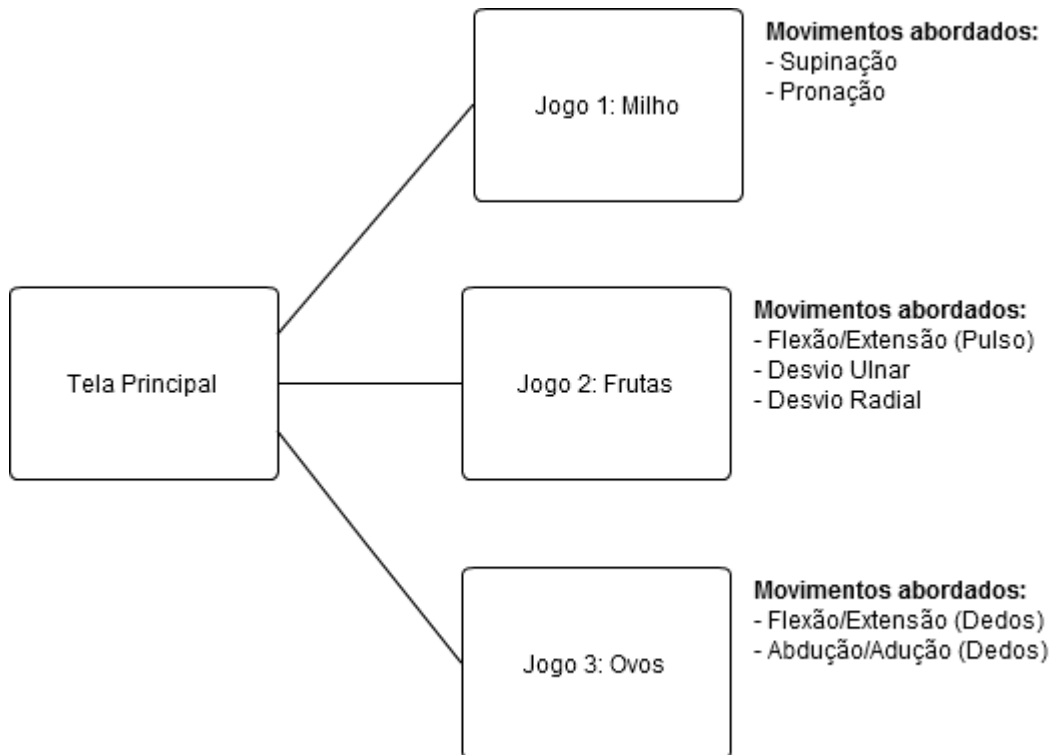
Desta forma, o jogador deve alcançar um objetivo diário, realizando a coleta de uma cota de produtos. Esta cota corresponde ao tempo necessário para uma sessão, que é de aproximadamente 45 minutos de acordo com a Stroke Association (2012). Assim, foram desenvolvidas três tarefas, que nada mais são que minijogos que estarão dentro do jogo principal, que abordam separadamente os exercícios propostos, e estes podem ser executados em qualquer ordem que o jogador desejar, conforme esquematizado na figura 11. Os jogos abordarão os seguintes exercícios:

- **Jogo 01 – Milho:** Este jogo abordará os movimentos de supinação e pronação, que apesar de não serem exercícios de mão e punho, são importantes no seu processo de recuperação. A forma de detecção dos gestos neste jogo é feita pelo

próprio sistema do dispositivo, que possui um giroscópio que é capaz de medir a rotação do braço do usuário, desta forma permitindo que se saiba se o jogador está sendo capaz de executar os movimentos.

- **Jogo 02 – Ovos:** Este jogo abordará os movimentos de Flexão, Extensão, Abdução e Adução de dedos, que são importantes exercícios envolvidos no processo de reabilitação. Como o sistema dispositivo consiste de um modelo de decisão próprio para o reconhecimento destes gestos, não foi necessária a criação de um modelo para reconhecê-los.
- **Jogo 03 – Frutas:** Este jogo abordará os movimentos de Flexão, Extensão e Desvios Ulnar e Radial, que são exercícios de pulso. Este jogo utilizará o modelo de decisão baseado em redes neurais para realizar o reconhecimento dos gestos desenvolvido neste trabalho. O sistema será carregado antes da aplicação ser iniciada, portanto não haverá demora por algum tipo de treinamento da rede neural.

Portanto, o objetivo principal do jogo é completar a cota diária de alimentos. Estes alimentos são coletados jogando os três jogos descritos anteriormente, que podem ser jogados em qualquer ordem, até que o objetivo seja cumprido. Ao jogar, o paciente estará executando os movimentos para reabilitação através de uma atividade lúdica que tem o potencial para motivá-lo a continuar participando das sessões. Os movimentos e tarefas serão integrados ao enredo e serão explicados em maiores detalhes no capítulo 5, onde também será mostrada a arte do jogo.

Figura 11 – Organização dos jogos

Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 12 mostra um diagrama de atividades que representa um possível fluxo de execução do jogo por um paciente. Inicialmente, o jogador deve selecionar um perfil, caso não possua, deve cria-lo. O sistema de perfis é utilizado para armazenar parâmetros e informações de identificação do jogador. Após a seleção do perfil, o jogador é levado a tela principal, onde ele pode verificar os objetivos da sessão diária e pode escolher entre os jogos disponíveis. Após a escolha por um dos jogos, o jogador pode continuar jogando por quanto tempo achar necessário. Cada jogo fornecerá um dos produtos necessários para cumprir a cota diária, então o jogador deve continuar até que tenha cumprido os objetivos. Quando estes forem cumpridos, o jogador pode encerrar a aplicação.

Figura 12 – Diagrama de atividade demonstrando um possível fluxo de ações no jogo



Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 Balanceamento dinâmico da dificuldade

Visando manter o interesse do jogador nas tarefas, e baseado na teoria do fluxo e outros aspectos discutidos anteriormente, foi implementado um segundo modelo de decisão para ajuste dinâmico da dificuldade do jogo, objetivando mantê-la em uma dificuldade adequada para o

paciente que está jogando. O ajuste é realizado por meio de um sistema baseado em regras (HAYES-ROTH, 1985) utilizando a lógica clássica. Um sistema baseado em regras consiste de uma base de conhecimento onde o conhecimento é representado por um sistema de regras do tipo:

Se <condição> então <conclusão>

Um sistema baseado em regras incorpora regras que descrevem situações relevantes e ações correspondentes (HAYES-ROTH, 1985). No caso do jogo desenvolvido, as regras correspondem à verificação de situações de falha ou acerto durante o jogo pelo jogador e as ações são a diminuição ou o aumento da dificuldade do jogo em valores fixos. Por exemplo, se o jogador falhou em coletar algum produto, é feita uma pequena diminuição da dificuldade. O mesmo acontece se o jogador conseguir coletar um produto, porém neste caso, a dificuldade é aumentada. A dificuldade é aumentada a partir do incremento ou decremento gradual de algum parâmetro do jogo à medida que as ações são executadas. Por exemplo, a velocidade de algum objeto pode ser gradualmente ajustada, dependendo das ações do usuário, tornando o jogo mais fácil ou mais difícil.

Com o tempo, o jogo se ajustará a habilidade do jogador. Se estas habilidades estiverem em um patamar superior a dificuldade do jogo, sucessivos sucessos aumentarão gradativamente a dificuldade até que chegue no limite da sua habilidade e, a partir deste momento, haverá um equilíbrio entre sucessos e insucessos e a dificuldade permanecerá estável. Ao final da sessão, os parâmetros das variáveis serão armazenados para que na próxima sessão, o jogador possa continuar no mesmo nível de dificuldade que encerrou a última sessão.

Desta forma, o jogo se ajustará ao nível de habilidade do jogador e permitirá que o jogador sempre encontre um nível de dificuldade adequado não só na sessão atual como em futuras sessões, contribuindo para mantê-lo interessado na aplicação e conseqüentemente na continuação do tratamento, que poderia se tornar tão entediante quanto a atividade original caso o jogo fosse muito fácil, ou frustrante caso o jogo tivesse um nível de dificuldade muito elevado.

Neste capítulo, foi discutido o processo de concepção do jogo e todos os aspectos envolvidos no seu desenvolvimento. No próximo capítulo, o jogo será apresentado em maior detalhe, elencando os seus objetivos, jogabilidade e formas de interação. Da mesma forma será discutida como incorporação dos exercícios foi realizada. A arte do jogo também será mostrada e como ela se integra ao enredo.

5 Resultados

Neste capítulo será apresentado o resultado do desenvolvimento descrito no capítulo anterior, o jogo “A Fazendinha”. Serão mostradas a interface do jogo, suas funcionalidades e principais características. As tarefas serão explicadas em maiores detalhes e como é feita a interação com o usuário.

5.1 A Fazendinha

Após a definição de aspectos de arquitetura, o modelo de decisão e as ferramentas que seriam utilizadas, foi iniciado o desenvolvimento do jogo denominado “A Fazendinha” utilizando a *game engine* Unity3D. Nesta sessão, serão mostrados: o jogo, a arte, jogabilidade, fluxo de interação e funcionalidades.

Ao iniciar a aplicação, é apresentado o menu principal (Figura 13). Nela, existem cinco opções: Iniciar o jogo, opções, selecionar perfil e sair. Ao selecionar o menu opção, o jogador será apresentado as opções do jogo. Ao iniciar o jogo, o jogador deve escolher o seu perfil, ou criá-lo caso ainda não o possua. Isto pode ser feito escolhendo a opção “selecionar perfil”, que leva a tela de seleção de perfil ilustrada pela figura 14. O sistema de perfis foi criado com o objetivo de salvar as informações do paciente ao término da sessão de fisioterapia, armazenando parâmetros de dificuldade para que em uma próxima sessão a dificuldade permaneça em um nível adequado para o jogador.

Figura 13 – Tela principal do jogo



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 14 – Tela de seleção de perfil



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao iniciar o jogo, será apresentada uma caixa de texto que contém a história do jogo. Este pequeno texto visa ambientar o jogador ao enredo do jogo, contando a história da Carmita, uma fazendeira que coleta produtos para subsistência e vende o excedente em uma fazenda no interior da Paraíba. A arte do jogo remete a uma pequena fazenda, e para tal foram incorporados modelos e texturas que fazem o jogador se sentir neste ambiente. No ambiente do jogo, que pode ser visualizado na figura 15, existem três estruturas que representam os 3 minijogos disponíveis, que podem ser acessados ao clicar em alguma delas:

- **O celeiro:** ilustrado pela estrutura vermelha no canto inferior esquerdo da imagem, representa o Jogo 01, de coleta de milho.
- **A horta:** ilustrada pela estrutura com traços marrons no canto inferior direito da imagem, representa o Jogo 02, de coleta de frutas.
- **O galinheiro:** ilustrado pela estrutura de cor bege no canto superior esquerdo da imagem, representa o Jogo 03, de coleta de ovos.

Além disso, no canto inferior da tela, estão os objetivos do jogo. Os objetivos são definidos levando em conta o tempo ideal de sessão que é de no mínimo 45 minutos (STROKE ASSOCIATION, 2012).

Figura 15 – Tela principal do jogo

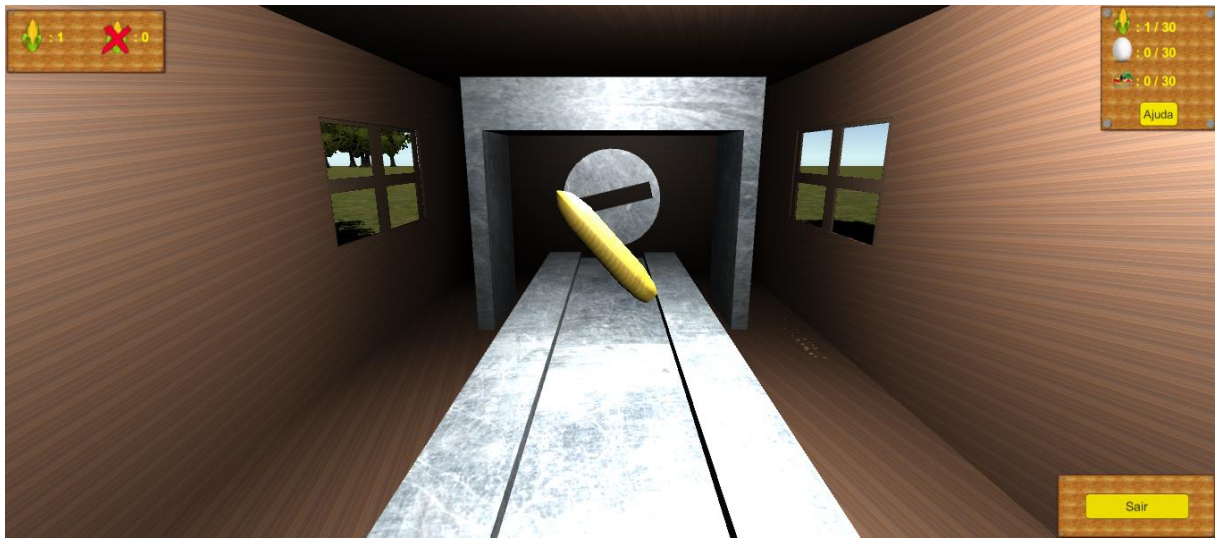


Fonte: Elaborado pelo autor

Ao clicar em uma das estruturas, o jogador inicia o minijogo correspondente. O Jogo 01, que está representado nas figuras 16 e 17, está ambientado no celeiro da fazenda onde são processados os milhos coletados da plantação em uma máquina comprada pela personagem. O jogo consiste em uma esteira e um milho que percorre esta esteira, onde ao final da esteira é possível observar um molde que visa representar um “descascador de milho”. O jogador deve passar o milho pelo molde sem que este toque nas bordas, e ao girar o braço para direita ou para esquerda, o jogador perceberá que o milho acompanhará esta rotação. Quando um milho passa pelo molde, ele muda a sua rotação para que quando um novo milho aparecer, o jogador deva novamente girar o milho para que este passe pelo molde.

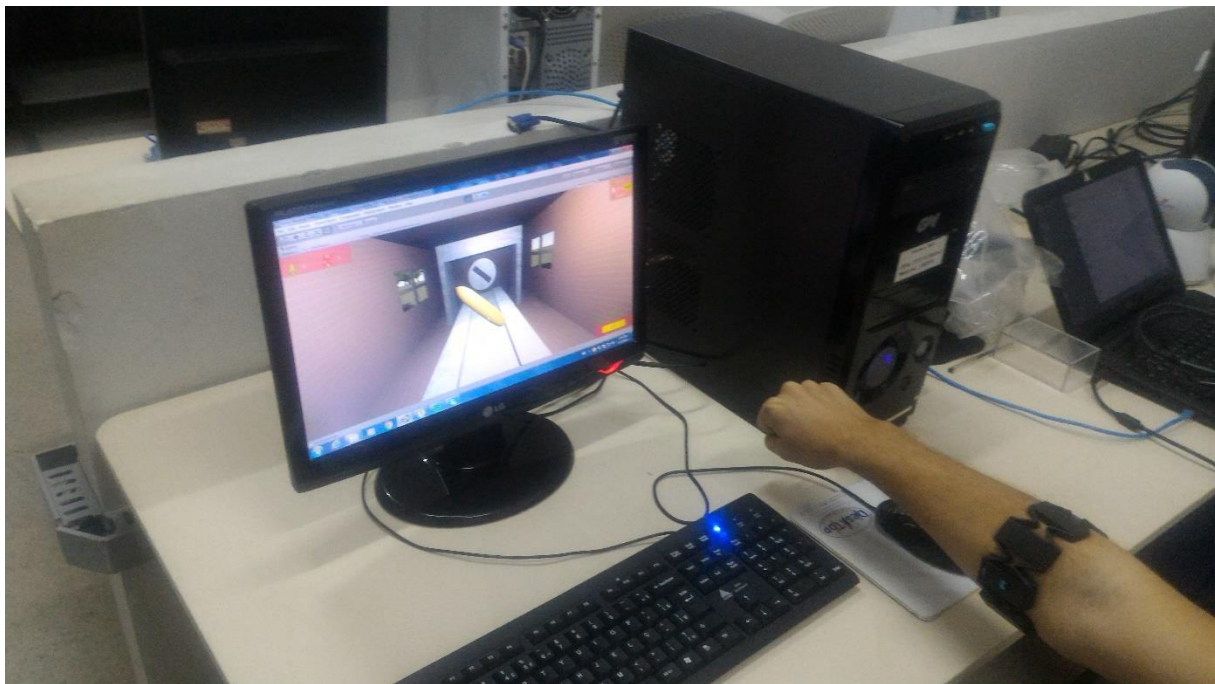
Para reabilitação, este jogo utiliza dois movimentos: pronação e a supinação. Estes movimentos permitem girar o milho para esquerda ou para a direita, sendo assim capaz de ajustar o milho ao molde e realizar a coleta.

Figura 16 – Jogo do milho



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 17 – Interação com o jogo do milho



Fonte: Elaborado pelo autor

As figuras 18 e 19 ilustram o jogo 02, que representa a horta da fazenda, que consiste de um ambiente com trilhas e algumas pedras que aparecem aleatoriamente, se movimentando da esquerda para a direita. Do outro lado do campo, encontram-se as frutas que devem ser

coletadas. O objetivo do jogador é pegar as frutas que estão do outro lado da horta e voltar para o lado inicial sem encostar nas pedras que estão se movendo pelo ambiente. O jogador controla um avatar, sendo responsável pela sua movimentação.

Para reabilitação, este jogo utiliza quatro movimentos de pulso: a extensão, a flexão, e os desvios ulnar e radial. Estes movimentos permitem que o jogador movimente o personagem no jogo para frente, para trás, para esquerda e para a direita, respectivamente. Desta forma, o jogador pode ser mover no cenário, coletar as frutas e desviar das pedras que apareçam no caminho.

Figura 18 – Interface do jogo das frutas



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 19 – Exemplificação da interação com o jogo das frutas

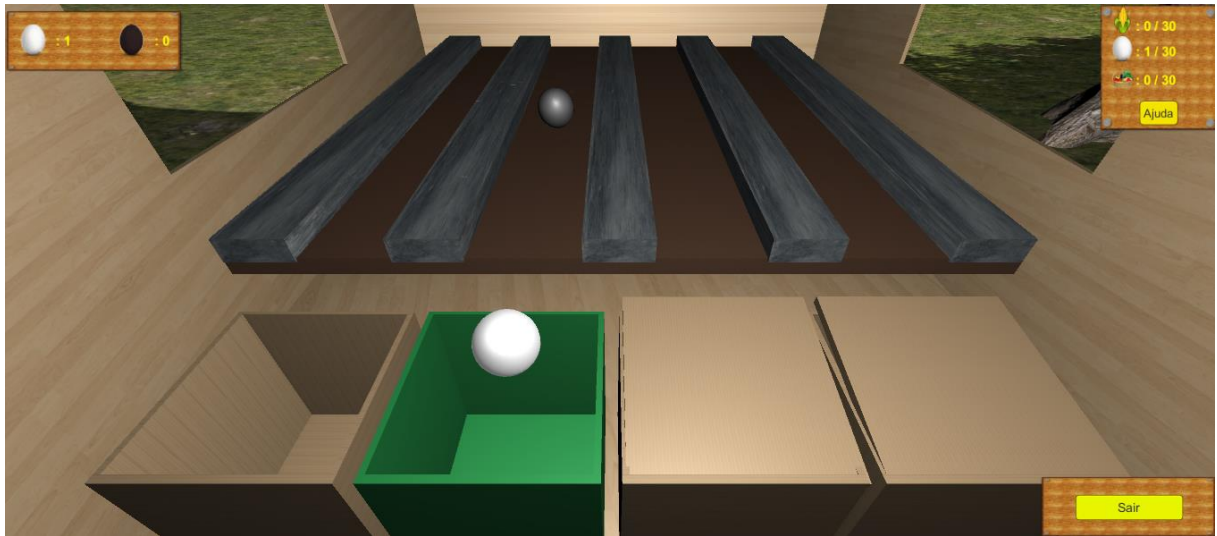


Fonte: Elaborado pelo autor

Nas figuras 20 e 21, pode-se observar o jogo 03. Nele, o jogador deve visitar o galinheiro da personagem e coletar ovos para a fazenda. O jogo consiste de quatro esteiras, dispostas lado a lado por onde os ovos descem. Existem dois tipos de ovos: ovos bons e ruins (indicados pelas cores branco e cinza) e ao final das esteiras, existem caixas onde os ovos são depositados e estas podem ser fechadas ou abertas pelo jogador executado um movimento. O objetivo do jogo, portanto, é coletar a maior quantidade possível de ovos bons e impedir que os ovos brancos caiam dentro das caixas.

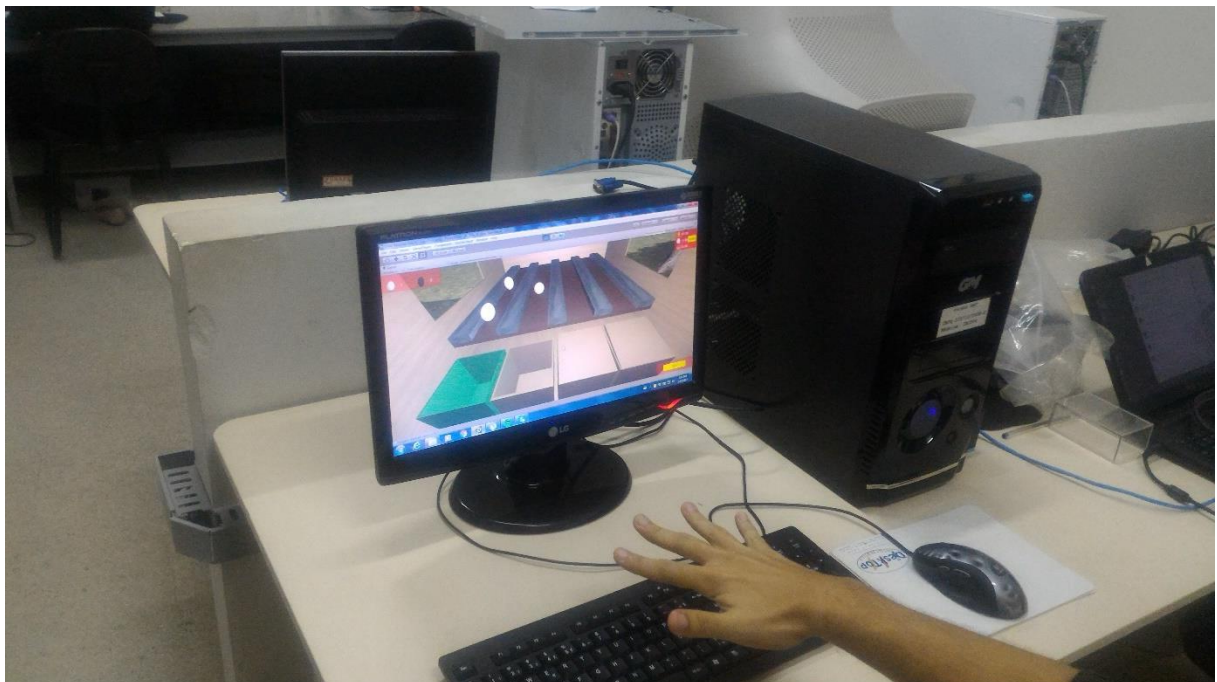
Para reabilitação, este jogo utiliza dois conjuntos de movimento de dedos: flexão/extensão, usado para fechar a caixa, e a adução/abdução, para abrir a caixa. O jogo não tem uma duração limitada, então o jogador pode continuar jogando até as caixas estarem cheias ou ter colocado o número desejado de ovos.

Figura 20 – Interface do jogo dos ovos



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 21 – Exemplificação da interação com o jogo dos ovos



Fonte: Elaborado pelo autor

Nestes jogos, é realizado o ajuste dinâmico da dificuldade do jogo conforme o desempenho do jogador. O quadro 5 mostra quais ações causam o aumento ou a diminuição da dificuldade do jogo quando se está utilizando o jogo. Ao realizar alguma dessas ações, o jogo

automaticamente ajusta a dificuldade, tornando o jogo gradualmente mais fácil ou mais difícil, dependendo da ação executada, conforme exposto nas seções anteriores. Ao final da sessão, estes parâmetros são armazenados no perfil do jogador para que em uma sessão posterior possam ser utilizados.

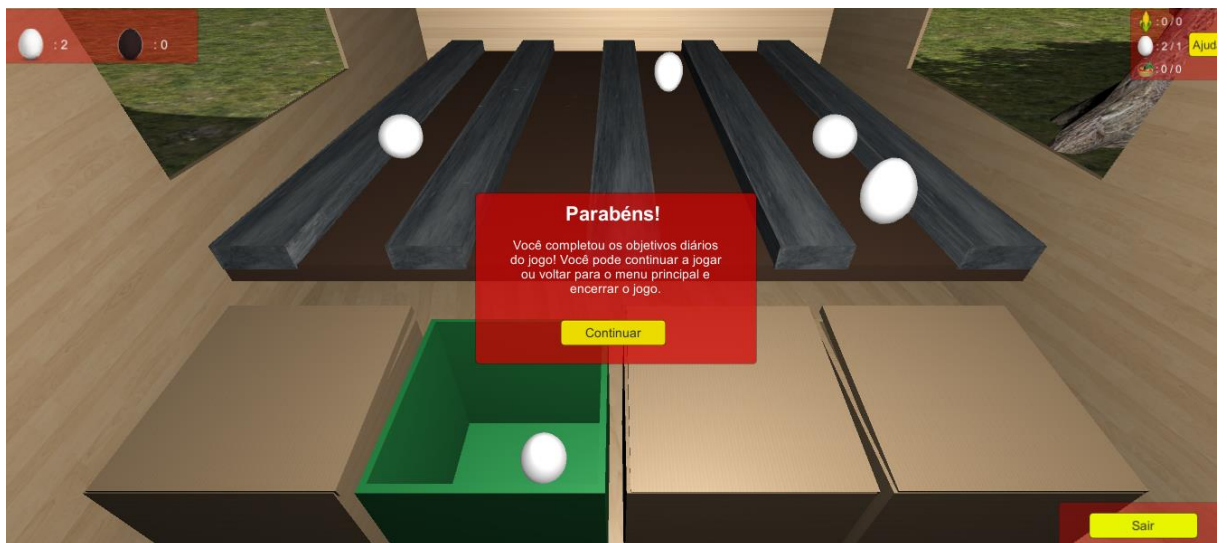
Quadro 5 – Ações que causam diminuição ou aumento da dificuldade

Parâmetro	Ações que causam a diminuição da dificuldade	Ações que causam aumento da dificuldade
Velocidade da esteira (Jogo 01)	- Falhar em passar o milho pelo molde	- Passar milho pelo molde com sucesso
Velocidade da pedra (Jogo 02)	- Encostar na pedra	- Coletar uma fruta
Velocidade dos ovos (Jogo 03)	- Coletar um ovo bom - Não coletar um ovo ruim	- Coletar um ovo ruim - Não coletar um ovo bom

Fonte: Elaborado pelo autor

Quando o usuário completar a sessão, uma mensagem será exibida parabenizando o jogador por ter completado a sessão e será exibido quanto tempo a sessão durou, processo ilustrado na figura 22.

Figura 22 – Informação da conclusão dos objetivos



Fonte: Elaborado pelo autor

6 Conclusão

Neste documento, foi apresentado o desenvolvimento de um *serious game* para auxílio de pacientes em processo de reabilitação de mão e punho que utilizou um dispositivo de eletromiografia de superfície de baixo custo para realizar a captura de movimentos do usuário, utilizando um modelo de decisão para realizar a interpretação de novos gestos que não eram reconhecidos nativamente pelo sistema do dispositivo.

A utilização de jogos como ferramentas de apoio a reabilitação de pacientes tem se tornado importante nos últimos anos por permitir a criação de ambientes que motivam o paciente e favorecem o comprometimento com o tratamento. Após a revisão bibliográfica, verificou-se que embora estes ambientes estejam muito presentes na literatura, sofrem de alguns problemas. Alguns deles utilizam dispositivos de rastreamento de alto custo ou que estão confinados a clínicas, o que dificulta a sua utilização. Além disso, a maior parte sistemas se mostraram pouco preocupados com outros aspectos que são importantes no contexto de jogos como enredo e arte, focando apenas em aspectos mecânicos e fornecendo jogos que pouco diferem em sua essência de executar os exercícios da forma tradicional. Como se sabe, o processo de reabilitação é intenso e repetitivo, podendo se tornar pouco atrativo aos pacientes em recuperação, portanto manter o interesse e motivar o paciente introduzindo aspectos motivadores e que mantenham o interesse no tratamento é importante.

Neste trabalho, procurou-se encontrar um equilíbrio entre os elementos que compõem o jogo, baseando-se no modelo da tétrede de Schell (SCHELL, 2014), conforme exposto no capítulo 2. Desta forma, o jogo foi desenvolvido visando integrar os quatro elementos que compõem a tétrede: enredo, mecânica, arte e tecnologia, objetivando a criação de uma experiência de jogo atrativa ao paciente. A tecnologia escolhida foi um dispositivo de eletromiografia de superfície, visando a incorporação de um mecanismo de captura de movimento pouco invasivo e de simples controle, que permite ao usuário focar em aspectos do próprio jogo e a possibilidade de adoção de mecânicas simples utilizando os movimentos propostos na reabilitação. O enredo por sua vez se adaptou para incorporar estes movimentos, de forma que cada um deles tivesse alguma relação com a tarefa sendo executada, visando a colocação da reabilitação como uma consequência da ação que estava sendo executada, e não como a principal motivação para a realização do exercício. O paciente deve se sentir como um jogador, focado em se divertir enquanto joga.

Considera-se que as características apontadas por Borghese et al. (2014) como sendo essenciais para jogos de reabilitação de: (1) adaptar a dificuldade do jogo ao nível de habilidade

do paciente, (2) monitoramento das ações e posturas e (3) fornecer feedback adequado ao paciente foram cumpridas. Em relação ao quesito (1), amparado pela teoria do fluxo, foi construído um sistema de ajuste automático da dificuldade do jogo, que permite que o desafio sempre esteja à altura do paciente. O monitoramento das ações e da postura do paciente é feita pelo dispositivo de eletromiografia, que captura os sinais eletromiográficos e identifica alguns dos gestos que podem ser executados no processo de reabilitação, sendo o restante avaliado pelo modelo de decisão, que no caso deste trabalho foram as redes neurais. Finalmente, o feedback do jogo são as próprias ações do usuário no ambiente, as quais ele pode observar as consequências imediatas, como abrir uma caixa ou mover o usuário, tendo consequências imediatas (ação realizada no ambiente) e duradouras (mudança na pontuação e na dificuldade) no percurso da atividade sendo realizada no jogo.

A incorporação de um dispositivo de baixo custo também permitirá a ampliação do alcance da aplicação, permitindo uma maior possibilidade de incorporação tanto em clínicas como em residências. A reabilitação em casa diminui os custos e permite que o paciente realize parte do tratamento em sua residência, o que pode motivar ainda mais a realização dos exercícios. Visto que o sistema do dispositivo escolhido não era capaz de reconhecer todos os gestos definidos no processo de reabilitação de mão e punho, foi necessária a incorporação de um modelo de decisão para o reconhecimento de novos gestos para englobar todos os gestos envolvidos no processo de reabilitação. No entanto, vale ressaltar que o jogo não tem como objetivo substituir o trabalho do profissional. Pelo contrário, ele visa a auxiliar e complementar o tratamento através da manutenção da atenção do usuário. Além disso, todas as etapas do tratamento devem ter o acompanhamento de um profissional que irá instruir o paciente quanto à execução correta dos exercícios.

Finalmente, considera-se que os objetivos deste trabalho foram cumpridos, e o jogo desenvolvido pode ser utilizado para auxiliar o processo de reabilitação de mãos e punho de pacientes vítimas de AVE. Entretanto, observa-se que o jogo aqui apresentado poderia ser incorporado no tratamento de outras condições, como por exemplo, na reabilitação de fraturas. No entanto, tal uso demanda uma verificação do tempo e níveis de intensidade dos exercícios, determinando a melhor maneira de integrar o jogo ao tratamento.

Considera-se, também, que o reconhecimento de novos gestos para reabilitação utilizando sinais eletromiográficos é uma das principais contribuições deste trabalho, sendo a outra importante contribuição o jogo em si.

6.1 Considerações

Este trabalho possui algumas limitações conhecidas. Considera-se que a principal dela é a não inclusão de um sistema de recompensas, que é sabidamente um elemento que estimula a motivação de usuário em jogos. Existem diversas formas de fornecer recompensas: placares, pontos de experiência, itens, recursos, conquistas, mensagens de instantâneas, animações e figuras. Um sistema de recompensas bem projetado, levando em conta os diferentes perfis de jogador pode auxiliar na manutenção da experiência positiva do jogo, mantendo os jogadores excitados durante o curso do jogo. A incorporação deste elemento em uma maior profundidade não foi possível devido a limitações de tempo, pois envolveria modificações em todos os elementos da tétrede: as mecânicas teriam de ser alteradas para incorporação deste sistema, o enredo também deveria ser alterado, pois seriam necessários ajustes na história do jogo e como ela é contada para encaixar uma nova forma de recompensa, e desta forma ajustes também deveriam ser feitos na arte e na tecnologia. No entanto, considera-se que a incorporação de um sistema de recompensas a um jogo para reabilitação é importante para manutenção do interesse do paciente no jogo fornecendo além de motivação, objetivos claros a serem alcançados.

Uma outra limitação do trabalho é a ausência de testes com pacientes reais. Embora a interação com um paciente tenha ocorrido em um momento inicial do trabalho, onde verificou-se que o sistema de reconhecimento de gestos do dispositivo era capaz de captar sinais eletromiográficos de pacientes com problemas motores, é notório que testes com um grupo maior de pacientes seriam essenciais para verificar a aceitação do jogo, verificar a sua eficácia e se é capaz de cumprir o seu objetivo.

Como trabalho futuro, primeiramente deseja-se incorporar um sistema de recompensas no jogo, que permita ao jogador acompanhar seu progresso, receber incentivos e premiações pela regularidade na execução dos exercícios. Desta forma, espera-se impactar positivamente na experiência do usuário, através da introdução de uma estratégia que já provê motivação em jogos convencionais.

Também deseja-se realizar a validação do jogo com o público-alvo, visando a verificação da eficiência do jogo como ferramenta de motivação para pacientes em processo de reabilitação, realizando todos os procedimentos necessários para tal, esta validação pode ser executada com pacientes do tipo 3 e 4 na escala MRV.

Além disso, deseja-se realizar a expansão do trabalho, incorporando novos jogos e novos gestos, incorporando mais regiões afetadas como os membros inferiores e os braços. Para tal,

será necessária a incorporação de novos dispositivos e a ampliação do modelo de decisão para o reconhecimento de novos gestos.

6.2 Produções

Até a data de escrita deste documento, foram publicados trabalhos em um periódico e dois congressos, resultantes do progresso realizado neste trabalho. O artigo intitulado “*Evaluating User Gestures in Rehabilitation from Electromyographic Signals*” referente aos resultados obtidos nos testes iniciais para detecção de gestos, foi publicado na revista IEEE América Latina (DOI: 10.1109/TLA.2016.7459625).

Além disso, trabalhos foram aceitos para publicação e posterior apresentação no XVIII *Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, que teve sede em Gramado/RS um artigo intitulado “*Surface Electromyography for Game-Based Hand Motor Rehabilitation*”, relativo aos testes iniciais com o dispositivo Myo como ferramenta de interação para jogos em reabilitação. Também neste simpósio, a proposta de dissertação foi aceita para apresentação Workshop de Teses e Dissertações onde alunos, professores e pesquisadores puderam discutir e opinar sobre os trabalhos escolhidos, tirando dúvidas e oferecendo sugestões.

No Quarto Congresso Brasileiro de Sistemas *Fuzzy* (CBSF), foi aceito um trabalho para publicação e apresentação na modalidade pôster intitulado “*Modeling Based on Computational Intelligence for Physiotherapeutic Rehabilitation Games*”, que trata da concepção inicial do sistema de inteligência do jogo.

Referências

- ALANKUS, G. et al. Towards customizable games for stroke rehabilitation. In: **Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. ACM. p. 2113-2122, 2010.
- AMATO, F. et al. Artificial neural networks in medical diagnosis. **Journal of applied biomedicine**, v. 11, n. 2, p. 47-58, 2013.
- ARTAMEEYANANT, P.; SULTORNSANEE, S.; CHAMNONGTHAI, K. Classification of electromyogram using weight visibility algorithm with multilayer perceptron neural network. In: **Knowledge and Smart Technology (KST), 2015 7th International Conference on. IEEE**. p. 190-194, 2015.
- BATISTA, T. V. V. et al. Evaluating User Gestures in Rehabilitation from Electromyographic Signals. **IEEE Latin America Transactions**, v. 14, n. 3, p. 1387-1392, 2016.
- BATISTA, T. V. V.; MACHADO, L. S.; VALENÇA, A. M. G. Surface Electromyography for Game-Based Hand Motor Rehabilitation. In: **Virtual and Augmented Reality (SVR), 2016 XVIII Symposium on. IEEE**, p. 140-144, 2016.
- BERNHARDT, J.; INDREDAVIK, B.; LANGHORNE, P. When should rehabilitation begin after stroke ?. **International Journal of Stroke**, v. 8, n. 1, p. 5–7, 2013.
- BETKER, A. L. et al. Game-based exercises for dynamic short-sitting balance rehabilitation of people with chronic spinal cord and traumatic brain injuries. **Physical therapy**, v. 87, n. 10, p. 1389–1398, 2007.
- BHALLA, A.; BIRNS, J. **Management of post-stroke complications**. Suíça: Springer, 2015.
- BLANK, A. et al. Current trends in robot-assisted upper-limb stroke rehabilitation: promoting patient engagement in therapy. **Current physical medicine and rehabilitation reports**, v. 2, n. 3, p. 184-195, 2014.
- BOEHM, J. Natural User Interface Sensors for Human Body Measurement. **ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 39, p. 531–536, 2012.
- BOIAN, R. et al. Virtual reality-based post-stroke hand rehabilitation. **Studies in Health Technology and Informatics**, v. 85, p. 64–70, 2002.
- BOGOUSLAVSKY, J.; CAPLAN, L. R. **Stroke Syndromes**. Reino Unido: Cambridge University Press, 2001.
- BORGHESE, N. A. et al. Computational intelligence and game design for effective at-home stroke rehabilitation. **Games for Health: Research, Development, and Clinical Applications**, v. 2, n. 2, p. 81–88, 2013.

BREWER, L. et al. Stroke rehabilitation: Recent advances and future therapies. **QJM**, v. 106, n. 1, p. 11–25, 2013.

BRASIL. **Acidente vascular cerebral (AVC)**. Brasil, 2012. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/saude/2012/04/acidente-vascular-cerebral-avc>>. Acesso em: 27 jan. 2016.

BRASIL. **Diretrizes de atenção à pessoa com lesão medular**. Brasília; Ministério da Saúde; 2 ed, 2015.

BRASIL. **Acidente vascular cerebral (AVC)**. Brasil, 2006. Disponível em: <<http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/dicas/105avc.html>>. Acesso em: 16 mar. 2016.

BUCHANAN, S.; BOTT, J.; LAVIOLA, J. J. The Influence of Multi-Touch Interaction on Procedural Training. **Proceedings of the 2015 International Conference on Interactive Tabletops & Surfaces - ITS '15**, p. 5–14, 2015.

BURKE, J. W. et al. Augmented Reality Games for Upper-Limb Stroke Rehabilitation. **2010 Second International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications**, p. 75–78, 2010.

BURKE, J. W. et al. Serious Games for Upper Limb Rehabilitation Following Stroke. **Games and Virtual Worlds for Serious Applications, 2009. VS-GAMES '09**. Conference in, p. 103–110, 2009.

CANCELA, D. M. G. **O acidente vascular cerebral—classificação, principais consequências e reabilitação**. O portal do Psicólogo, Portugal, 2008.

CHANG, Y.-J.; CHEN, S.-F.; HUANG, J.-D. A Kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities. **Research in Developmental Disabilities**, v. 32, n. 6, p. 2566–2570, 2011.

CHOWDHURY, R. H. et al. Surface electromyography signal processing and classification techniques. **Sensors**, v. 13, n. 9, p. 12431–12466, 2013.

COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and psychological measurement**, v. 20, n. 1, p. 37–46, 1960.

CRISWELL, E. **Cram's introduction to surface electromyography**. Jones & Bartlett Publishers, 2010.

DE PAOLIS, L. T. Serious game for laparoscopic suturing training. **Proceedings - 2012 6th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems, CISIS 2012**, p. 481–485, 2012.

ESO - EUROPEAN STROKE ORGANISATION EXECUTIVE COMMITTEE et al. **Guidelines for management of ischaemic stroke and transient ischaemic attack 2008**. *Cerebrovascular diseases*, v. 25, n. 5, p. 457–507, 2008.

FLORES, E. et al. Improving patient motivation in game development for motor deficit rehabilitation. **Proceedings of the 2008 International Conference in Advances on Computer Entertainment Technology - ACE '08**, v. 7, n. 8, p. 381, 2008.

FLYNN, R.; JONES, E. Robust distributed speech recognition using speech enhancement. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, v. 54, n. 3, p. 1267–1273, 2008.

GREEN, B.; JOHNSON, C.; ADAMS, A. Writing narrative literature reviews for peer-reviewed journals: secrets of the trade. **Journal of chiropractic medicine**, v. 5, n. 3, p. 101-117, 2006.

HAYES-ROTH, Frederick. Rule-based systems. **Communications of the ACM**, v. 28, n. 9, p. 921-932, 1985.

HAYKIN, S. **Neural networks: a comprehensive foundation**. Tsinghua University Press, 2001.

HOCINE, N.; GOUAICH, A.; CERRI, S. Dynamic difficulty adaptation in serious games for motor rehabilitation. **In: International Conference on Serious Games**. Springer International Publishing. p. 115-128, 2014.

JANG, J.-SR. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics**, v. 23, n. 3, p. 665-685, 1993.

KAMEN, G.; GABRIEL D. **Essentials of electromyography**. Human kinetics, 2010.

KASNER, S. E. **Clinical interpretation and use of stroke scales**. *Lancet Neurology*, v. 5, n. 7, p. 603–612, 2006.

KAUSHIK, D. M.; JAIN, R. Natural User Interfaces: Trend in Virtual Interaction. **International journal Of Latest technology in Engineering, Management & Applied Science**, v. 3, n. 4, p. 141–143, 2014.

KAZEMINEZHAD, M. H.; ETEMAD-SHAHIDI, A.; MOUSAVI, S. J. Application of fuzzy inference system in the prediction of wave parameters. **Ocean Engineering**, v. 32, n. 14, p. 1709-1725, 2005.

KRIZHEVSKY, A.; SUTSKEVER, I.; HINTON, G. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. **Advances in neural information processing systems**, p. 1097-1105, 2012.

LANGE, B. et al. Development and evaluation of low cost game-based balance rehabilitation tool using the microsoft kinect sensor. **Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS**, v. 2011, p. 1831–1834, 2011.

LANGHORNE, P.; BERNHARDT, J.; KWAKKEL, G. Stroke rehabilitation. **The Lancet**, v. 377, n. 9778, p. 1693–1702, 2011.

LEI, Y. et al. Fault diagnosis of rotating machinery based on multiple ANFIS combination with GAs. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 21, n. 5, p. 2280-2294, 2007.

LYNCH, E.; HILLIER, S.; CADILHAC, D. When should physical rehabilitation commence after stroke: a systematic review. **International Journal of Stroke**, v. 9, n. 4, p. 468-478, 2014.

MEDSKER, L. R. **Hybrid neural network and expert systems**. Springer Science & Business Media, 2012.

LIPPERT, L. S. **Clinical kinesiology and anatomy**. FA Davis, 2011.

LISETTI, C. L.; SCHIANO, D. J. Automatic facial expression interpretation: Where human-computer interaction, artificial intelligence and cognitive science intersect. **Pragmatics & Cognition**, v. 8, n. 1, p. 185-235, 2000.

MACLEAN, N.; POUND, P. A critical review of the concept of patient motivation in the literature on physical rehabilitation. **Social Science and Medicine**, v. 50, n. 4, p. 495-506, 2000.

MANT, J.; WALKER, M. F. **ABC of Stroke**. Reino Unido: Blackwell Publishing Ltd, 2011.

MAYO CLINIC, **Stroke rehabilitation: What to expect as you recover**. Disponível em: <<http://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/stroke/in-depth/stroke-rehabilitation/art-20045172?pg=1>> Acesso em: 13 de dezembro de 2016.

MCCALLUM, S. Gamification and serious games for personalized health. **Studies in Health Technology and Informatics**, v. 177, p. 85-96, 2012.

MEDICAL RESEARCH COUNCIL. **Aids to the examination of the peripheral nervous system**. HM Stationery Office, 1976.

MERLETTI, R.; PARKER, P. **Electromyography: physiology, engineering, and non-invasive applications**. John Wiley & Sons, 2004.

MITRA, S.; ACHARYA, T. Gesture recognition: A survey. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews**, v. 37, n. 3, p. 311-324, 2007.

MACHADO, L.; MORAES, R.; NUNES, Fátima. Serious games para saúde e treinamento imersivo. **Abordagens Práticas de Realidade Virtual e Aumentada**, v. 1, p. 31-60, 2009.

MACHADO, L. D. S. et al. Serious games baseados em realidade virtual para educação médica. **Revista Brasileira de Educação Médica**, v. 35, n. 2, p. 254-262, 2011.

MCCULLOUGH, M., et al. "Myo arm: swinging to explore a VE." **Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Applied Perception**. ACM, 2015.

MCHUGH, M. Interrater reliability: the kappa statistic. **Biochemia medica**, v. 22, n. 3, p. 276-282, 2012.

MOARES, R. et al. Serious games and virtual reality for education, training and health. In: **Handbook of Research on Serious Games as Educational, Business and Research Tools**. IGI Global. p. 315-336, 2012.

MORAES, R. M.; MACHADO, L. S. Psychomotor skills assessment in medical training based on virtual reality using a Weighted Possibilistic approach. **Knowledge-Based Systems**, v. 70, p. 97–102, 2014.

MORAES, R. M.; MACHADO, L. S. Assessment systems for training based on virtual reality: A comparison study. **SBC Journal on 3D Interactive Systems**, v. 3, n. 1, p. 9-16, 2012.

MUSICCO, M. Early and long-term outcome of rehabilitation in stroke patients: the role of patient characteristics, time of initiation, and duration of interventions. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 84, n. 4, p. 551–558, 2003.

NAKAMURA, J.; CSIKSZENTMIHALYI, M. The concept of flow. In: **Flow and the foundations of positive psychology**. Springer Netherlands, 2014. p. 239-263..

PAOLUCCI, S. et al. Early versus delayed inpatient stroke rehabilitation: a matched comparison conducted in Italy. **Archives of physical medicine and rehabilitation**, v. 81, n. 6, p. 695-700, 2000.

PATERNOSTRO-SLUGA, T. et al. Reliability and validity of the Medical Research Council (MRC) scale and a modified scale for testing muscle strength in patients with radial palsy. **Journal of Rehabilitation Medicine**, v. 40, n. 8, p. 665–671, 2008.

PENTREATH, N. **Machine Learning with Spark**. Packt Publishing Ltd, 2015.

POLLOCK, Alex et al. Interventions for improving upper limb function after stroke. **The Cochrane Library**, 2014.

REGO, P. A.; MOREIRA, P. M.; REIS, L. P. Natural user interfaces in serious games for rehabilitation. **6th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI 2011)**, p. 1–4, 2011.

RENSINK, M. et al. Task-oriented training in rehabilitation after stroke: systematic review. **Journal of Advanced Nursing**, v. 65, n. 4, p. 737–754, 2009.

ROJAS, R. **Neural networks: a systematic introduction**. Springer Science & Business Media, 2013.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. Learning, v. 2, n. 3, 2005.

SALEN, K.; ZIMMERMAN, E. **Game Design and Meaningful Play**. Handbook of Computer Game Studies, 2005.

SALTER, K. et al. Impact of early vs delayed admission to rehabilitation on functional outcomes in persons with stroke. **J Rehabil Med**, v. 38, p. 113–117, 2006.

SAMADANI, A.; KULI, D. Hand Gesture Recognition Based on Surface Electromyography. **36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society**, p. 4196–4199, 2014.

SAK, Haşim; SENIOR, Andrew; BEAUFAYS, Françoise. Long short-term memory based recurrent neural network architectures for large vocabulary speech recognition. **arXiv preprint arXiv:1402.1128**, 2014.

SCHELL, J. **The Art of Game Design**, Second Edition. CRC Press, 2014.

STROKE ASSOCIATION. **Physiotherapy after stroke**, 2012. Disponível em: <https://www.stroke.org.uk/resources/physiotherapy-after-stroke>

SUK, H.; SIN, B.; LEE, S. Hand gesture recognition based on dynamic Bayesian network framework . **Pattern Recognition**, v. 43, n. 9, p. 3059–3072, 2010.

THALMIC LABS. **Myo Tech Specs**. Disponível em: < <https://www.myo.com/techspecs> >. Acesso em: 01 mar. 2016.

TRENHOLME, D.; SMITH, P. Computer game engines for developing first-person virtual environments. **Virtual reality**, v. 12, n. 3, p. 181-187, 2008.

UUSITALO, L. Advantages and challenges of Bayesian networks in environmental modelling. **Ecological Modelling**, v. 203, n. 3-4, p. 312–318, 2007.

VALLI, A. The design of natural interaction. **Multimedia Tools and Applications**, v. 38, n. 3, p. 295–305, 2008.

VOGLER, C.; METAXAS, D. A Framework for Recognizing the Simultaneous Aspects of American Sign Language. **Computer Vision and Image Understanding**, v. 81, n. 3, p. 358–384, 2001.

WHO. **Global status report on noncommunicable diseases 2014**. World Health, p. 176, 2014.

WIGDOR, D.; WIXON, D. **Brave NUI world: designing natural user interfaces for touch and gesture**. Elsevier, 2011.

YAO, L.; XU, H.; LI, A. Kinect-based rehabilitation exercises system: therapist involved approach. **Bio-medical materials and engineering**, v. 24, n. 6, p. 2611–2618, 2014.

XU, K. et al. Surface electromyography of wrist flexors and extensors in children with hemiplegic cerebral palsy. **PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation**, v. 7, n. 3, p. 270–275, 2015.

ZHANG, D. et al. An affordable augmented reality based rehabilitation system for hand motions. In: **Cyberworlds (CW), 2010 International Conference on**. IEEE. p. 346-353, 2010.

ZHANG, X. et al. A framework for hand gesture recognition based on accelerometer and EMG sensors. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A:Systems and Humans**, v. 41, n. 6, p. 1064–1076, 2011.

ZHOU, H.; HU, H. Human motion tracking for rehabilitation-A survey. **Biomedical Signal Processing and Control**, v. 3, n. 1, p. 1–18, 2008.

Apêndice A - Design Bible

1- Histórico do Projeto

Início do desenvolvimento: 03/02/2016

Versão 0.1: 26/01/2017

2 - Resumo do Projeto

2.1 – Conceito do Jogo

O jogo consiste em uma fazenda que possui diversas construções (Galinheiro, Celeiro, Horta, etc...), cada uma representando um minijogo que pode ser jogado pelo usuário onde ele pode coletar recursos (Ovos, Leite, Milho, Frutas, ...) O jogador deve coletar uma cota de suprimentos para serem vendidos. Para tal, o jogador deve jogar os diferentes minijogos presentes no jogo, visitando as diferentes construções presentes.

2.2 – Gênero

Gênero do jogo: Arcade

2.3 – Público-alvo

Pacientes com problemas motores nas mãos com força muscular 3 ou 4 na escala MRC.

2.4 – Resumo do Fluxo do Jogo

O jogo inicia com o jogo fornecendo ao jogador a informação sobre a cota que ele deve cumprir. As cotas são calculadas para que a sessão dure em média 45 minutos. No entanto, se o jogador conseguir completar em um tempo inferior, a medida que novas sessões sejam realizadas a cota pode ser aumentada para que o tempo da sessão seja ajustado ao jogador. A ordem de coleta dos suprimentos pode ser realizada na ordem que o jogador desejar. Também não é necessário que o jogador colete todos os suprimentos de uma construção específica antes de avançar para a próxima, ele pode voltar para uma atividade incompleta quando desejar. O jogo se encerra quando todos os produtos forem coletados.

3 – Jogabilidade e Mecânica

3.1 – Jogabilidade

A seguir serão descritos, para cada um dos minijogos, aspectos da sua jogabilidade

A. Jogo 01 - Ovos

Resumo do jogo

Este jogo está ambientado em uma estrutura que representa um galinheiro onde o jogador deve coletar ovos para a fazenda. O jogo consiste de quatro trilhas por onde correm ovos, com caixas posicionadas ao final das trilhas onde o jogador deve depositar os ovos. Existem dois tipos de ovos: brancos (bons) e cinzas (ruins).

Objetivos

O objetivo do jogo é coletar o maior número possível de ovos, fechando e abrindo as caixas presentes no final da esteira, de forma que os ovos brancos caiam nas caixas, e os cinzas não.

Fluxo do Jogo

O jogo se inicia com todas as caixas fechadas. Quando um jogador realiza o comando para uma caixa abrir, ela fica aberta até que seja fornecido um comando para fechá-la. A medida que o jogo avança a velocidade dos os ovos aumenta. Os ovos surgem aleatoriamente na extremidade mais distante da esteira e correm na direção das caixas.

B. Jogo 02 - Frutas

Resumo do jogo

Neste jogo o jogador e frutas estão posicionados em pontos opostos do cenário. Entre eles existem trilhas por onde pedras correm da esquerda para a direita. O jogador deve atravessar a horta e coletar as frutas do outro lado sem deixar que as pedras o toquem. Caso isto aconteça, ele retorna a posição inicial.

Objetivos

Coletar a maior quantidade possível de frutas sem tocar nas pedras.

Fluxo do Jogo

O jogador inicia no lado inferior da horta, deve passar pelas pedras e coletar uma fruta. Só é possível coletar uma fruta por vez. Após coletar a fruta do jogador deve voltar para o lado inicial

C. Jogo 03 - Milho

Resumo do jogo

O jogo consiste de uma esteira e um molde ao final da esteira. Este molde serve para passar um milho, que aparecerá no começo da trilha. O jogador deve passar este milho pelo molde sem encostar nas bordas do mesmo.

Objetivos

Conseguir passar os milhos pelo molde sem encostar nas bordas.

Fluxo do Jogo

O jogo inicia com um milho em um extremo da mesa e um molde no outro extremo. O milho se deslocará na direção do molde e o jogador deve girá-lo para que passe por ele.

3.2 – Mecânicas

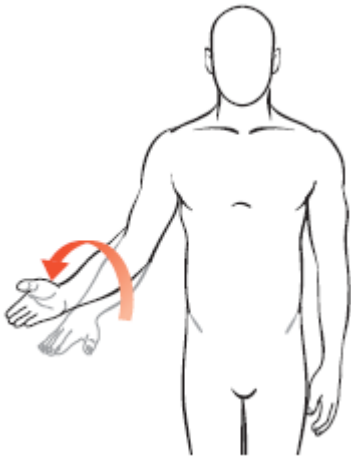
3.2.1 – Movimentos

Cada minijogo possuirá diferentes formas de interação com o ambiente para realizar ações e movimentação.

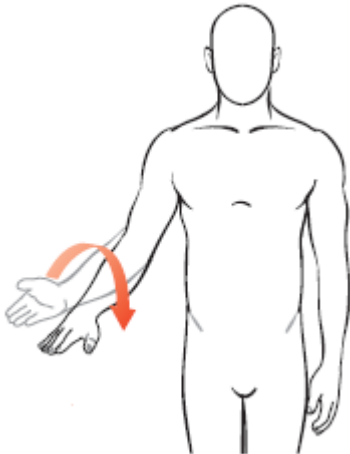
A. Jogo 01 - Milho

O seguintes movimentos são utilizados para girar o milho no jogo:

Girar para esquerda:



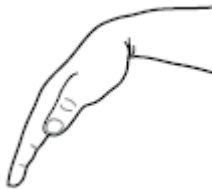
Girar para direita:



B. Jogo 02 - Frutas

O seguintes movimentos são utilizados para movimentar o personagem:

Para baixo:



Para cima:



Para a esquerda:

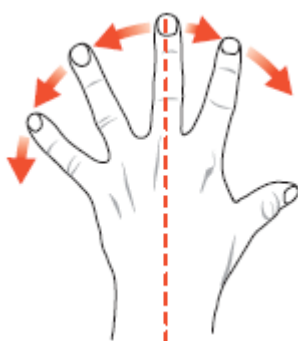


Para a direita:



C. Jogo 03 - Ovos

O seguinte movimento é utilizado para abrir as caixas:



O seguinte movimento é utilizado para fechar as caixas:

4.1.1 – Prelúdio

Carmita é dona de uma fazenda no sertão da paraíba. Para conseguir dinheiro e dar comida ao seus filhos, ela produz vários produtos em sua fazenda: Milho, Leite e Ovos. Ela retira o necessário para a sobrevivência da sua família e vende o resto. O esposo de Carmita, Ferreira, é responsável por levar o excedente a cidade para vender.

4.1.2 – Elementos do enredo

O ambiente do jogo consiste de uma fazenda, e o jogador deve coletar mantimentos nas três construções existentes no ambiente: o galinheiro, a horta e o celeiro.

4.1.3 – Progressão do Jogo

O jogo inicia com o ambiente do jogo com um objetivo diário (ou por sessão). Onde o jogador deve coletar um determinado número de mantimentos para serem revendidos pelo marido de Carmita. Quando todos os mantimentos tiverem sido coletados, a cota se encerra e o marido de Carmita levará o excedente para ser vendido.

4.2 – Universo do Jogo

4.2.1 – Impressões gerais do universo do jogo

O universo do jogo consistirá de uma fazenda que possui três ambientes diferentes: o galinheiro, a horta e o celeiro. O jogador pode caminhar por estes ambientes livremente, realizando as atividades presentes em cada um deles. O cenário será de um sítio bucólico, com cores vivas e com características de *cartoon*.

4.2.2 – Área 1 – Celeiro

O celeiro é o lugar onde está presente a máquina de debulhar milho que foi comprada pela Carmita. Essa máquina precisa ser operada manualmente, em alguns casos, pois o milho precisa ser posicionado corretamente.

4.2.3 – Área 2 – Horta

A horta é um ambiente confuso onde as plantas cresceram tanto que se formou um labirinto formado pelas paredes das plantas, que muda de forma constantemente. Além disso, é habitado por vespas que podem ser agressivas caso alguerñ entre lá.

4.2.4 – Área 3 – Galinheiro

Consiste de uma cabana de madeira com uma trilha onde no topo as galinhas põem ovos, e ao final dessa trilha existem caixas onde os ovos são depositados. Nem todos os ovos são bons, e não devem ser colocados dentro das caixas, além disso, existem ovos “animados” que podem trocar de trilha sem aviso.

4.3 – Personagens

4.3.1 – Personagem 1 – Carmita

4.3.1.1 – Personalidade

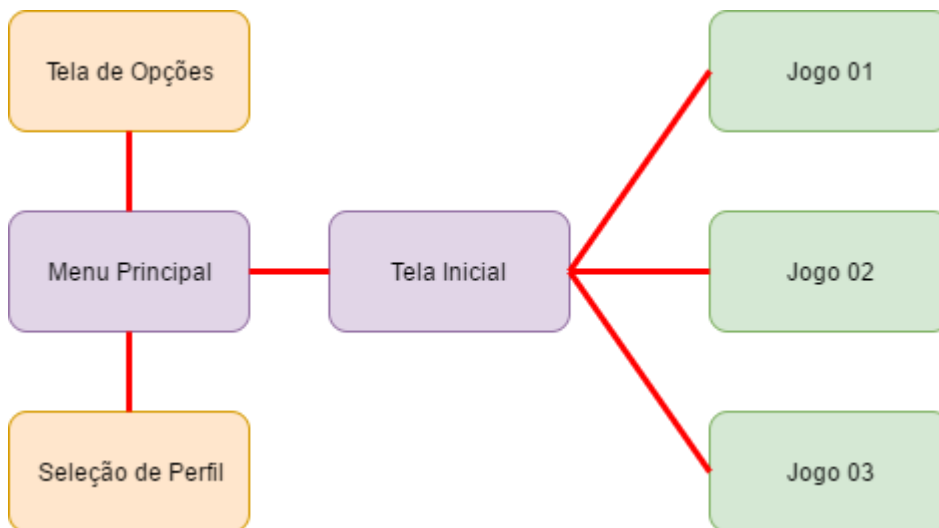
Carmita possui uma personalidade única, determinada e independente, pode ser difícil de lidar às vezes. Porém, todas as suas ações tem como o objetivo o bem estar e a felicidade daqueles que ela ama.

4.3.1.2 – Aparência

Possui cabelos castanhos cacheados e escuros, estando sempre acompanhada pelo seu chapéu de palha que foi herdado da sua avó.



3.2.7 – Planilha de Fluxo de Telas



3.2.8 – Descrição de Telas

3.2.8.1 – Menu Principal

Nesta tela o jogador pode iniciar o jogo ou entrar nas telas de seleção de perfil e opções do jogo.

3.2.8.2 – Tela Inicial

Consiste do ambiente onde o jogador pode verificar sua pontuação atual, e escolher por entre os minijogos.

3.2.8.3 – Seleção de perfil

Tela onde o jogador pode selecionar um perfil ou criar um caso ainda não tenha

3.2.8.4 – Tela de opções

Tela onde o jogador pode selecionar um perfil ou criar um caso ainda não tenha

5 – Interface

5.1 – Sistema Visual

5.1.1 – HUD(Head-Up Display)

Interface simples na tela para mostrar todo o tempo quais os objetivos diários e a situação atual.

5.1.2 – Menus

Menus simples para que o jogador consiga navegar entre as telas.

5.1.3 – Câmera

Sistema de câmera fixa.

5.2 – Sistema de Controle

O controle do jogo é realizado com o mouse e teclado para a interação com os menus.

Para jogar, o usuário deve utilizar o Myo, um dispositivo de eletromiografia de superfície, através dos movimentos descritos na seção 3.2.

5.3 – Sistema de Ajuda

Um sistema de ajuda estará disponível que ensine o jogador como interagir com o ambiente em todas as telas.

6 – Inteligência Artificial

6.1 – IA de Oponentes

Não há oponentes no jogo

6.2 – Ajuste automático da dificuldade do jogo

O jogo possuirá uma inteligência artificial que realizará o ajuste automático da dificuldade do jogo para manter o nível de dificuldade compatível com as habilidades do jogador. As ações que causarão esta mudança estão descritas no quadro a seguir.

Parâmetro	Ações que causam a diminuição da dificuldade	Ações que causam aumento da dificuldade
Velocidade da esteira (Jogo 01)	- Falhar em passar o milho pelo molde	- Passar milho pelo molde com sucesso
Velocidade da pedra (Jogo 02)	- Encostar na pedra	- Coletar uma fruta
Velocidade dos ovos	- Coletar um ovo bom	- Coletar um ovo ruim

(Jogo 03)	- Não coletar um ovo ruim	- Não coletar um ovo bom
------------------	---------------------------	--------------------------

7 – Projeto Técnico

7.1 – Equipamento-alvo

Plataforma adotada: Windows / Mac

Modo de visualização: 3D

Física: Intermediária

Número de jogadores: 1 jogador

Requer conexão à internet: Não

Requisitos mínimos do sistema:

CPU: Pentium 4 ou equivalente

RAM: 1GB de memória RAM

Sistema Operacional: Windows 7/8/10

Espaço em disco: 500MB

Equipamento Necessário: Myo Armband

7.2 – Ambiente desenvolvido (Hardware e Software)

CPU: Intel Core i7

RAM: 8GB de memória RAM

Sistema Operacional: Windows 7 (x64)

7.3 – Motor do Jogo (Engine)

Game Engine: Unity 5.4.1f1

7.4 – Linguagem de programação

Linguagem de Programação: C#

8 – Softwares Secundários

Edição de Imagens: GIMP

Modelagem de objetos: Blender