

PROCESSAMENTO DE SINAIS BIOLÓGICOS E PARÂMETROS CINEMÁTICOS PARA ANÁLISE EM JOGOS SÉRIOS DE REABILITAÇÃO

NICOLÁS VALENCIA*, VIVIANNE CARDOSO**, JANAÍNA LYRA**, BERTHIL LONGO**, GUSTAVO GLASGIO***, ANSELMO FRIZERA*, TEODIANO FREIRE-BASTOS*

** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, CEP 29075-910, Av. Fernando Ferrari, 514 – Goiabeiras, Vitória, ES – Brasil
e-mail: nicolasvalenciajimenez@gmail.com, anselmo@ele.ufes.br, teodiano.bastos@ufes.com.br*

*** Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Brasil
e-mail: viviannefc@gmail.com, janaina.ohl@gmail.com, berthilbl@gmail.com*

**** Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Espírito Santo, Brasil
e-mail: gglasgio@gmail.com*

Abstract— This work aims at the development of serious games for upper and lower limbs training in stroke persons, which is composed of a camera RGB-D (Kinect v2) combined with sEMG. We propose an integrated approach that includes: fully immersive virtual environment with virtual body representation; interaction with virtual objects; and a biofeedback of movements of the patient through sEMG. The importance of this system is the easiness to observe in detail, during therapy, the patient's movements and their kinematic parameters, allowing obtaining a better diagnosis by providing to the health professional a medical analysis tool. The results show that the virtual reality environment here proposed is able to promote muscle activation in elbow flexion-extension movements, and in the sit down to stand up transition (ST-DP).

Keywords— sEMG, Computer Vision, Stroke, Serious game; Virtual reality

Resumo— O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um conjunto de jogos sérios para a reabilitação dos membros superiores e inferiores em pessoas pós-AVC. Esta tecnologia assistiva é composta por uma câmera RGB-D (Kinect v2) e um sensor de sinais mioelétricos de superfície (sEMG). É apresentada uma abordagem integrada que inclui: ambiente virtual totalmente imersivo com a representação do corpo virtual; interação com objetos virtuais; e biofeedback de movimentos do paciente por meio de sEMG. A importância deste sistema reside na facilidade de observar detalhadamente, durante a terapia, os movimentos do paciente e seus parâmetros cinemáticos, permitindo obter um melhor diagnóstico ao disponibilizar ao profissional de saúde uma ferramenta de análise médica. Os resultados mostram que os ambientes de realidade virtual aqui propostos são capazes de promover a ativação muscular em movimentos de flexão-extensão de cotovelo e na transição da postura sentada para de pé (ST-DP).

Palavras-chave— sEMG, Visão Computacional, AVC, Jogos sérios, Realidade Virtual.

1 Introdução

Recentemente, exercícios e jogos em ambientes de Realidade Virtual (RV) têm sido usados na área de reabilitação, os quais podem proporcionar um variado e agradável ambiente para motivar a prática de movimentos necessários na reabilitação. Adicionalmente, podem promover altos níveis de envolvimento e prender a atenção do paciente por longos períodos de tempo (KRAKAUER, 2006), podendo servir como um fator de motivação em termos de diversão, desafio e realimentação. Nos últimos anos, jogos interativos em ambientes de RV têm sido amplamente aceitos, uma vez que a motivação do paciente mostra ser altamente importante no resultado terapêutico (LANGE et al., 2012). Neste sentido, alguns estudos têm se dedicado ao desenvolvimento de dispositivos que integrem a RV no processo de reabilitação de pacientes pós-AVC (LANGE et al., 2012; BARANYI et al., 2013; ERAZO et al., 2014), mostrando que a RV pode ser

uma potencial ferramenta para auxiliar pacientes e profissionais de reabilitação durante o processo de recuperação após a ocorrência do AVC.

Outra técnica utilizada para reabilitação de membros superiores de pacientes pós-AVC é o biofeedback eletromiográfico (BF-EMG). Através do BF-EMG, os sinais mioelétricos de superfície (sEMG) do músculo são convertidos em informações visuais e/ou sonoras que permitem ao paciente controlar e coordenar a atividade muscular (GIGGINS; PERSSON; CAULFIELD, 2013). Estudos realizados com pacientes pós-AVC demonstraram que o BF-EMG associado a técnicas de reabilitação convencional pode apresentar resultados positivos na melhora da função motora dos membros superiores desses pacientes (DOGAN-ASLAN et al., 2012).

Para obter melhores resultados nas terapias de pacientes pós-AVC, as técnicas de reabilitação devem ser orientadas para os déficits motores específicos (O'SULLIVAN; SCHMITZ; FULK, 2014). Com isto em mente, são necessárias

ferramentas assistivas que permitam a supervisão automatizada de exercícios físicos, ajudando na reabilitação física dos movimentos das extremidades do corpo.

Neste trabalho, utiliza-se um sistema baseado em imagens e sinais superficiais de eletromiografia (sEMG) aplicados a uma interface de realidade virtual, possibilitando ao paciente efetuar a sua recuperação motora através de jogos. Além de ajudar ao paciente, o sistema desenvolvido é uma ferramenta eficaz para terapeutas, fornecendo parâmetros de amplitude angular na articulação de cotovelo e joelho, e mostrando a ativação muscular nos movimentos requeridos pelo sistema em tempo real.

2 Materiais e Métodos

O sistema desenvolvido neste trabalho foi baseado em paradigmas de aprendizagem motora e concebidos a partir das necessidades dos fisioterapeutas em ter uma ferramenta de análise dos movimentos durante a recuperação motora em pessoas com hemiparesia (KRAKAUER, 2006). Com base nas características da câmera *Kinect*, o sistema foi construído com a finalidade de detectar movimentos corporais envolvidos na extensão e flexão dos membros superiores e inferiores.

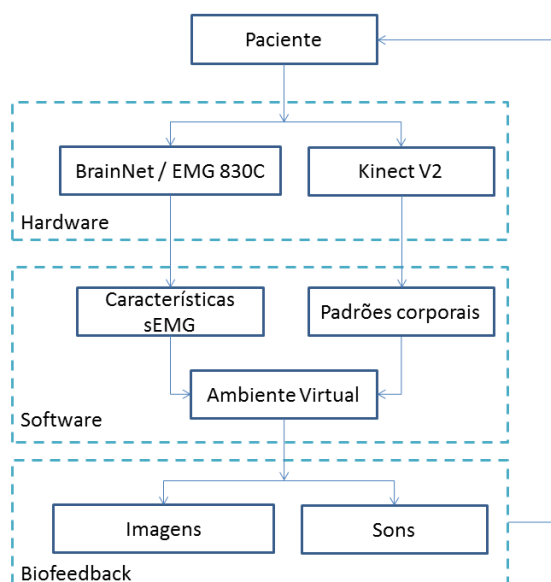


Figura 1. Diagrama geral do sistema desenvolvido.

Na Figura 1, apresenta-se um diagrama geral, onde cada um dos sensores utilizados adquire os sinais (imagens e sEMG, respectivamente), sendo feito um processamento para exibir os movimentos e a atividade muscular, tanto para o usuário quanto para o terapeuta. Primeiramente, o paciente deve estar posicionado na frente do sensor Kinect, com os eletrodos de sEMG nos braços ou nas pernas. As informações são capturadas simultaneamente, as quais são processadas para obter as características

dos sinais sEMG e os padrões corporais necessários para gerar a informação necessária para o ambiente virtual. Com essas informações também é gerado o biofeedback para o paciente.

2.1 Processamento de imagens

O sistema foi construído com a capacidade de detectar movimentos corporais envolvidos na extensão e flexão do cotovelo e do joelho do usuário. Para obter os dados da câmera, foi utilizado o software Microsoft SDK (*Software Development Kit*) para o Kinect V2, o qual fornece um fluxo, em 30 FPS (quadros por segundo), das imagens coloridas e de profundidade capturadas, e até 6 segmentações de esqueletos de 25 articulações por usuário. A Figura 2 mostra cada uma das articulações capturadas pela câmera Kinect. O sistema consegue estimar a posição e a orientação de cada articulação do corpo do paciente, sendo que a transformação espacial implementada é usada para inserir cada movimento no ambiente virtual, em tempo real.

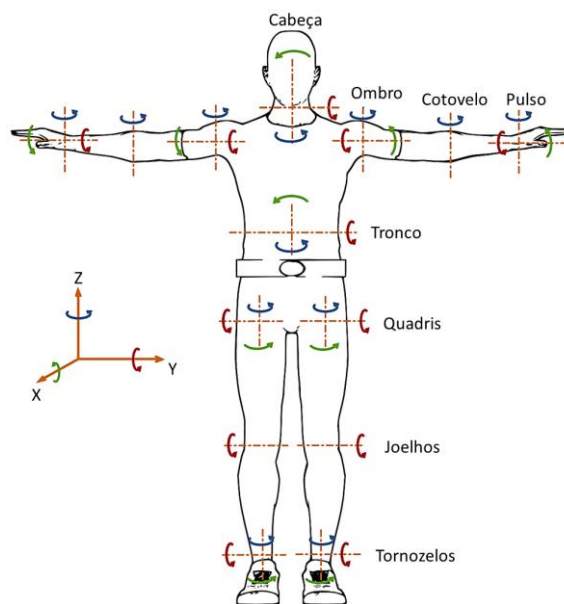


Figura 2. Articulações e eixos detectados pela câmera RGB-D (Kinect V2).

A Figura 3 apresenta um diagrama de blocos que descreve as diferentes partes identificáveis do sistema; o qual foi implementado em linguagem C#, onde FSM implica em uma Máquina de Estados Finitos (*Finite State Machine*). O Kinect utiliza as funções desenvolvidas pelo fabricante, agrupadas no SDK 2.0, e então as imagens são processadas para transformar os movimentos feitos pelo paciente em um sistema de coordenadas 3D.

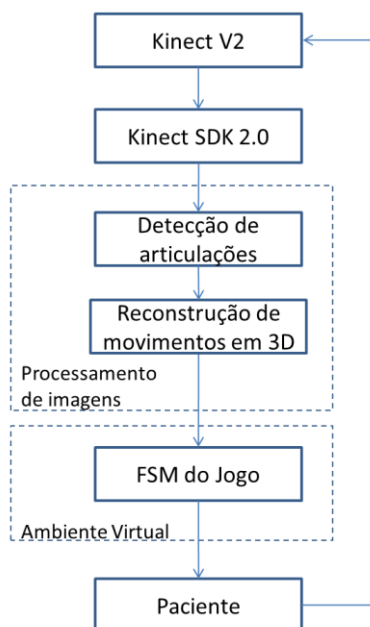


Figura 3. Diagrama do processamento de imagens do Kinect.

O sistema é capaz de estimar a posição e a orientação de cada articulação do corpo do paciente, sendo que a transformação espacial implementada é usada para inserir cada movimento do paciente no ambiente virtual, em tempo real, gerando uma *realimentação* para ele. O movimento é captado pela câmera para realizar o ciclo repetidamente até alcançar todos os alvos do jogo.

A inferência de posição do corpo pelo sistema embarcado do Kinect funciona em um processo de duas etapas: 1) calcula um mapa de profundidade por meio do sensor infravermelho; 2) infere a posição do corpo usando uma máquina de aprendizagem. Com a informação do corpo no ambiente virtual, é feita uma filtragem para definir uma zona ativa onde o paciente vai desenvolver sua terapia de reabilitação (Figura 4). O paciente que utiliza o sistema deve estar na frente do sensor Kinect a uma distância maior que 1,5 m e menor que 3,5 m para aumentar a precisão da câmera.

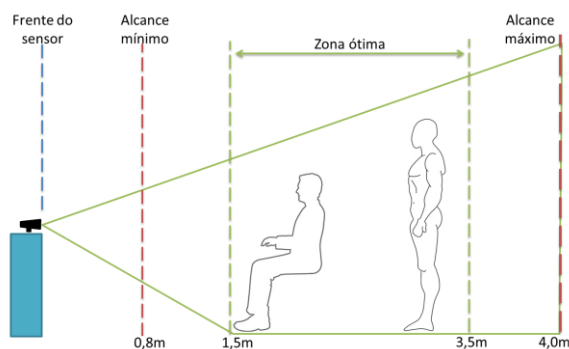


Figura 4. Parâmetros de distância do Kinect V2

Uma das funções principais do sistema é mostrar o ângulo da articulação do cotovelo nos dois braços do paciente enquanto realiza a terapia e alcança cada alvo do jogo. Na Figura 5 pode-se observar cada um dos parâmetros associados ao braço, os quais são

determinados com o Kinect. Por meio da Lei dos cossenos é possível determinar o ângulo das articulações, como mostrado na Equação 1. O ângulo é calculado em tempo real com a finalidade de determinar o movimento desenvolvido pelo paciente e gerar os dados da terapia para o fisioterapeuta, onde d_1 , d_2 , e d_3 são as distâncias entre as articulações mostradas.

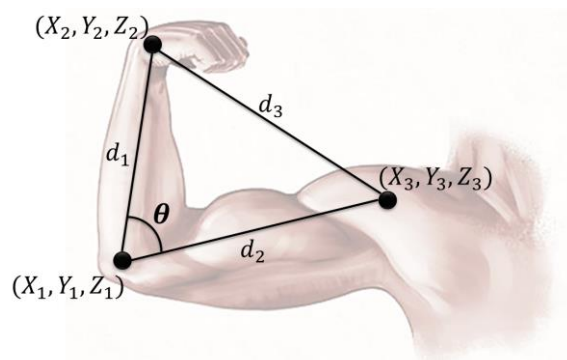


Figura 5. Parâmetros para calcular o ângulo da articulação de cotovelo do usuário.

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{-d_3 + d_1 + d_2}{2 \cdot d_1 \cdot d_2} \right) \quad (1)$$

2.2 Processamento dos sinais sEMG

O equipamento de aquisição de sinais mioelétricas (BrainNet BNT 36) é utilizado, sendo que é feito o processamento desses sinais mioelétricos no sistema desenvolvido, no qual o terapeuta pode analisar os movimentos feitos pelo usuário e ter uma medida específica da atuação de cada grupo muscular no movimento realizado. O sistema mostra diferentes níveis de ativação muscular e a tarefa do músculo (flexão ou extensão). Além de mostrar os sinais sEMG no instante específico da terapia por meio do ambiente virtual, o sistema também armazena os sinais para posterior análise. Na Figura 6 é mostrado um diagrama de blocos que descreve o processamento dos sinais sEMG.

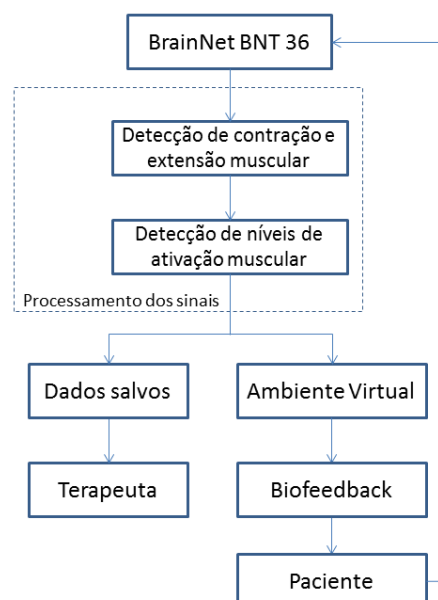


Figura 6. Diagrama do processamento dos sinais sEMG.

Os dados são processados para mostrar, em tempo real, a contração muscular, de acordo com o movimento solicitado para alcançar o objetivo do jogo. Com isso, é mostrado o nível de ativação muscular online, sendo que o terapeuta pode verificar o grau de esforço feito pelo usuário. Na Figura 7 é mostrado como o sinal passa pelo filtro de média móvel para atenuar ruídos do ambiente (Equação 2), onde “M” é o tamanho do filtro (10 amostras foram utilizadas neste trabalho) e “n” a amostra atual. Em seguida o sinal é retificado e analisado para detectar a máxima contração voluntária do paciente. Para determinar cada um dos níveis de atividade muscular, é feito um cálculo das porcentagens de esforço em relação ao valor máximo (n).

$$y[n] = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} x[n-k] \quad (2)$$

As informações são mostradas graficamente ao paciente, com a finalidade de gerar um biofeedback (Figura 7). O sistema apresenta cinco diferentes níveis de atividade muscular: o nível mais fraco é mostrado em vermelho, aumentando para a cor laranja, amarelo e verde, até chegar ao nível máximo de atividade, mostrado em cor azul.

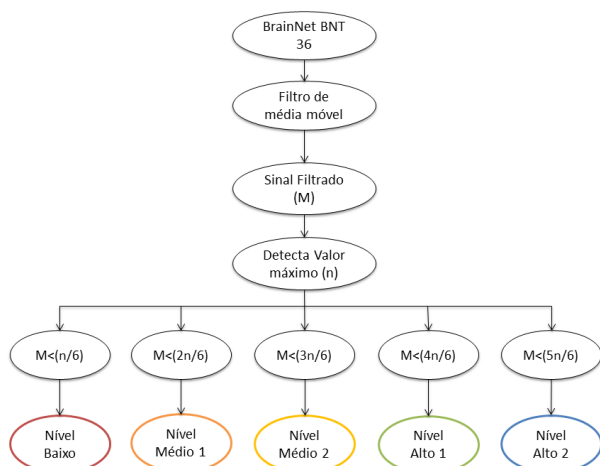


Figura 7. Processamento implementado durante a terapia de reabilitação.

2.3 Jogos Sérios

Foram desenvolvidos dois Ambientes Virtuais (AVs) no software Unity 5.3.5 que permitem mostrar ao paciente os movimentos realizados e a atividade muscular atingida, oferecendo-lhe uma ferramenta terapêutica de motivação para realizar tarefas específicas de movimento. Para obter as sinais obtidas pelos sensores Kinect e BrainNet foram desenvolvidas duas bibliotecas permitem a comunicação em tempo real com os jogos. O sistema desenvolvido também permite ao fisioterapeuta ter uma ferramenta para análise dos movimentos do paciente e sua ativação muscular, enquanto o paciente realiza as tarefas de reabilitação usando os jogos virtuais.

O AV desenvolvido para a reabilitação dos movimentos de articulação do cotovelo possui um avatar que imita os movimentos do paciente. O avatar consiste em um personagem no estilo homem espacial (Figura 8), cujo propósito é destruir todos os asteroides apresentados no ambiente, no menor tempo possível, a partir do movimento do braço afetado pelo AVC.



Figura 8. Ambiente virtual mostrado ao usuário durante a terapia de reabilitação do braço.

Por outro lado, o AV desenvolvido para a reabilitação da transição da postura sentada para de pé (ST-DP) possui um esquiador saltando obstáculos. O ambiente virtual detecta o movimento de transição ST-DP do paciente, o que faz o esquiador saltar em tempo real. De acordo com o momento de salto, o avatar pode ganhar moedas ou esbarrar no obstáculo, gerando um resultado do desempenho do paciente. O sistema também detecta a atividade muscular na perna afetada pelo AVC, mostrando os níveis de atividade.



Figura 9. Ambiente virtual mostrado ao paciente durante a terapia de reabilitação de membros inferiores.

3 Resultados

Nove indivíduos saudáveis, sendo cinco do sexo masculino e quatro do sexo feminino, participaram dos experimentos apresentados neste trabalho. O sinal sEMG utilizado para gerar o biofeedback para o paciente, fornece informações sobre a contribuição dos músculos superficiais durante o movimento. Esses dados podem ser utilizados pelo profissional de saúde para realizar uma avaliação referente ao tempo de ativação muscular durante o exercício.

A Figura 10 (b e c) descreve este processamento, onde o sinal sEMG filtrado e retificado é mostrado em azul; a envoltória do sinal é representada pelo traço preto; e finalmente o agrupamento de cada amostra é representado mediante um gráfico de barras cinza, o qual representa os cinco diferentes níveis

de atividade mioelétrica de cada amostra. A Figura 10.a resume os dados do processamento mostrado nos gráficos 10.b e 10.c com as diferentes cores com as quais é configurado o biofeedback do ambiente virtual desenvolvido.

Os cinco grupos de dados gerados a partir do processamento dos sinais sEMG são usados para fornecer um biofeedback visual do sinal, onde cada grupo corresponde a um nível, e cada nível a uma porcentagem de ativação muscular atingida durante o movimento realizado.

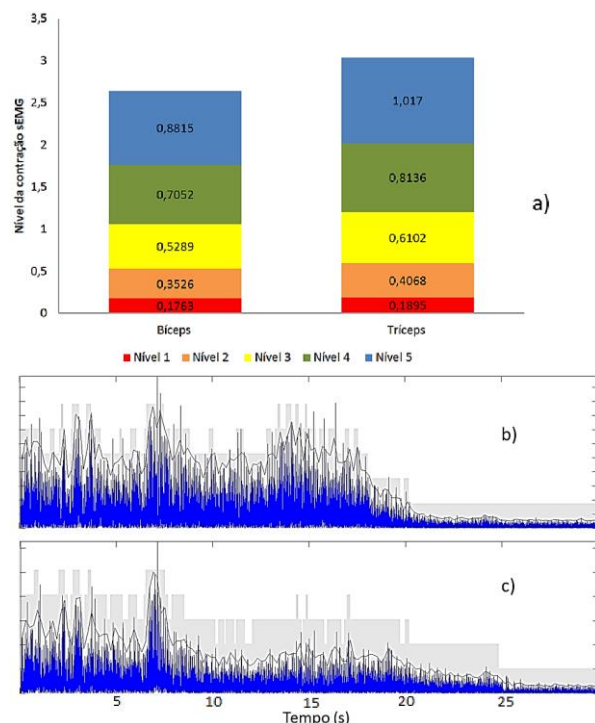


Figura 10. a) Diferentes níveis de contração muscular nos bíceps e tríceps do usuário. b) Sinais processados do bíceps do usuário. c) Sinais processados do tríceps do usuário.

Na Figura 11 é mostrada a curva do ângulo desenvolvida por um dos usuários do sistema com seu braço dominante e não dominante, tentando alcançar os sete asteroides flutuando no ambiente do jogo para a reabilitação do braço.

4 Conclusão

Foi desenvolvido um sistema de processamento de sinais, baseado em jogos sérios, para a análise do movimento tridimensional de membros superiores e inferiores para fins de reabilitação pós-AVC, mediante a integração de sinais de sEMG (BrainNet) e de imagens (Kinect). O sistema é capaz de capturar informação angular proveniente dos ângulos dos cotovelos ou joelhos do usuário, assim como movimentos e níveis relativos de ativação muscular. Com este sistema, pretende-se assistir ao terapeuta em procedimentos de reabilitação, estimando de forma objetiva o progresso do tratamento fisioterapêutico.

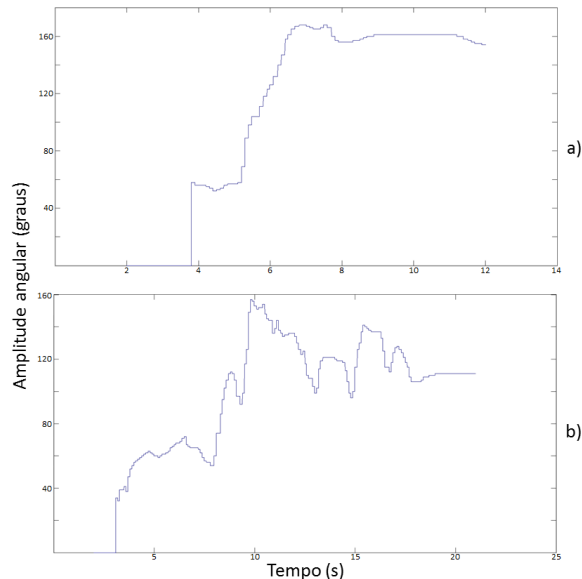


Figura 11. Comportamento dos ângulos do braço dominante e não dominante durante o experimento.

Através do biofeedback de eletromiografia existente no sistema, é possível visualizar o nível de ativação muscular realizado pelo usuário, em tempo real. Sugere-se, em trabalhos futuros, usar uma maior quantidade de canais de sEMG, possibilitando uma melhor qualidade do biofeedback, assim como gerar uma maior quantidade de parâmetros para uso por fisioterapeutas e usuários.

Agradecimentos

Esta pesquisa é financiada pelas agências: CNPq (308529/2013-8), CAPES (3457/2014) e FAPES (67566480, 72982608).

Referências Bibliográficas

- BARANYI, R. et al. Chances for serious games in rehabilitation of stroke patients on the example of utilizing the Wii Fit Balance Board. SeGAH 2013 - IEEE 2nd International Conference on Serious Games and Applications for Health, Book of Proceedings, p. 0–6, 2013
- DOGAN-ASLAN, M. et al. The Effect of Electromyographic Biofeedback Treatment in Improving Upper Extremity Functioning of Patients with Hemiplegic Stroke. Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases, v. 21, n. 3, p. 187–192, 2012.
- ERAZO, O. et al. Magic mirror for neurorehabilitation of people with upper limb dysfunction using kinect. Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, p. 2607–2615, 2014.
- GIGGINS, O. M.; PERSSON, U. M.; CAULFIELD, B. Biofeedback in rehabilitation. Journal of neuroengineering and rehabilitation, v. 10, n. 1, p. 60, 2013.

- Krakauer, J. W. Motor learning : its relevance to stroke recovery and neurorehabilitation. *Current Opinion in Neurology*, v. 19, p. 84–90, 2006.
- LANGE, B. et al. Interactive Game-Based Rehabilitation Using the Microsoft Kinect. *IEEE Virtual Reality*, p. 171–172, 2012
- O’SULLIVAN, S. B.; SCHMITZ, T. J.; FULK, G. *Physical Rehabilitation*. 2014.