

Dance2Rehab: Um Jogo para Reabilitação Virtual Adaptativa

Alessandro D. Brückheimer Marcelo da Silva Hounsell Avanilde Kemczinski

LARVA - Laboratory for Research on Visual Applications, DCC - Departamento de Ciência da Computação, UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville (SC), Brasil

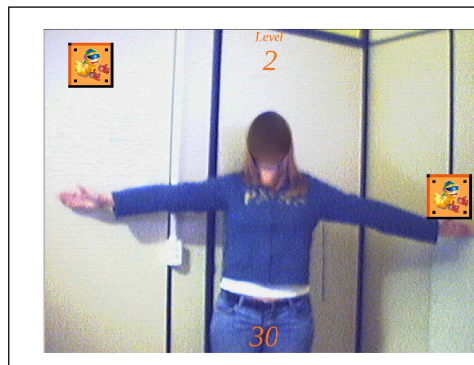


Figura 1: Implementação piloto em OpenCV.

Resumo

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um jogo sério que, utilizando tecnologias providas pela Realidade Virtual (RV), possa ser usado no processo de reabilitação motora estimulando exercícios utilizados para fisioterapia. A modalidade utilizada foi a RV de Projeção onde o usuário interage com o ambiente virtual porém, permanece fora deste. Trabalhos relacionados mostram que jogos sérios como estes promovem benefícios para a reabilitação por ter a possibilidade de aumentar a motivação do paciente e fazê-lo continuar o tratamento. O jogo desenvolvido, denominado Dance2Rehab, tem objetos virtuais que se movimentam verticalmente na tela e o jogador deve tentar tocar virtualmente em tais objetos. A diferença de desempenho provocada pelas limitações físicas patológicas de cada paciente geraram a necessidade de permitir que o jogo fosse customizável. Assim, para cada paciente, suas limitações goniométricas são levantadas para alterar o jogo, o que evita frustrações iniciais e permite que o jogo seja usado como instrumento no processo de reabilitação motora de problemas orto-musculares dos membros superiores. O jogo avalia o desempenho do paciente e altera seu funcionamento de duas formas: em uma mesma sessão de uso altera-se a dificuldade de jogabilidade (velocidade, número de objetos em cena, tamanho dos objetos, dentre outros) e, entre sessões de uso sucessivas altera-se o padrão de pontuação em função da evolução das condições físicas do paciente.

Palavras-chave: Jogos Sérios, Reabilitação, Adaptatividade.

Authors' contact:

alebruck@gmail.com
{marcelo,avanilde}@joinville.udesc.br

1. Introdução

O AVC (Acidente Vascular Cerebral) representa a principal causa de deficiência motora em adultos no mundo, 60% dos pacientes que foram vítimas persistem com deficiências funcionais [Parker et al. 1986; Lai et al. 2002 *apud* Camarão et al. 2007]. O impacto psicológico nos pacientes e em seu ambiente social acaba acarretando em depressão e outras complicações físicas e psicológicas [Thomas et al. 2006].

A terapia convencional é guiada através da manipulação dos membros periféricos e terapia ocupacional porém, o impacto dessa abordagem na reabilitação funcional ainda é obscuro, e a proporção da eficiência da reabilitação é incerta, em função disso novos tratamentos são estudados, onde não somente a parte física, mas também a psicológica recebem atenção [Flores et al. 2008].

A realidade virtual (RV) é uma das disciplinas encontradas para auxiliar nesse processo por prover um grande número de ferramentas que podem estimular o psicológico e físico simultaneamente de forma controlada. A RV é uma “ferramenta útil para o estudo, avaliação e reabilitação de processos cognitivos e atividades funcionais” [Rizzo, 2001]. O uso da RV e jogos de computador na reabilitação motora têm se mostrado uma maneira eficiente de prover um sistema atrativo e que motive a realização de tarefas para facilitar o processo de reabilitação [Viau et al. 2004; Holden et al. 2005 *apud* Ma et al. 2006].

O trabalho aqui apresentado objetiva realizar a união de conceitos relacionados a teoria de jogos, motivação de jogadores e reabilitação motora em um jogo virtual interativo.

2. Jogos Sérios (*Serious Games*)

O termo *serious games* é utilizado para identificar os jogos com um propósito que extrapolam a idéia de entretenimento e oferecem outros tipos de experiências, como aprendizado e treinamento [Blackman, 2005]. Os *serious games* visam principalmente a simulação de situações práticas do dia-a-dia, com o objetivo de proporcionar o treinamento de profissionais, situações críticas em empresas, conscientização para crianças, jovens e adultos, dentre outras [Rodrigues et al. 2009].

A saúde é um dos setores que se beneficia dos *serious games* visando o treinamento. As dificuldades encontradas e as necessidade de novas abordagens para reabilitação e ensino de hábitos saudáveis, tornam os jogos um importante aliado do ensino, treinamento e simulação para a saúde, beneficiando profissionais e pacientes [Machado et al. 2009]. A utilização destes jogos em ambientes imersivos e a inclusão de dispositivos não convencionais estabelecem uma relação direta com as aplicações de RV, na qual o conceito de *serious games* pode contribuir para a motivação do aprendizado em ambientes virtuais. Já foi comprovado o aprendizado efetivo e a aplicação deste aprendizado em ambientes reais quando são utilizados *serious games* para fins de educação e treinamento [Johsen et al. 2007].

Este trabalho apresenta um jogo sério voltado à reabilitação orto-muscular de membros superiores utilizando a tecnologia de RV de projeção através de uma *webcam* convencional. O jogo é adaptável em função da lateralidade e desempenho bem como é customizável às limitações físicas goniométricas do paciente.

2.1 Tecnologias

2.1.1 Jogos Adaptados

Nos últimos anos diversas empresas desenvolvedoras de *games* lançaram plataformas onde a interação jogador/jogo é realizado através de movimentação corporal. Entre essas plataformas podemos citar o Playstation EYE TOY [Playstation, 2010], o Wii e WiiFit [2010] e Xbox Kinects [Microsoft, 2010] e Playstation Move [Playstation, 2010].

O hardware WiiFit [2010] lançado pela Nintendo para a plataforma Wii utiliza sensores para capturar movimentos corporais realizados pelo jogador e promove uma maneira atrativa que incentiva a prática de exercícios. O hardware é acompanhado de uma coletânea de jogos que visam estimular pessoas a realizar exercícios diversos que podem ser utilizados no processo de reabilitação [Deutsch, 2008].

Trabalhos como os de Deutsch [2008] e Kizony [2005] mostraram que plataformas comerciais que permitem interação corporal podem ser utilizadas na reabilitação motora. Porém, como apresentado em Rand [2004], a eficiência é limitada e impossibilita um tratamento mais eficiente que poderia ser conseguido caso tais aplicações tivessem como foco a reabilitação.

2.1.2 RV de Projeção

A RV está relacionada ao *serious games* como uma forma de prover os recursos computacionais [Machado et al. 2009]. Os avanços em RV e o baixo custo dos dispositivos de *hardware* recentemente desenvolvidos permitem que novas aplicações sejam desenvolvidas [Machado et al. 2009]. Dispositivos de *hardware* hápticos, que fornecem ao usuário uma realimentação física [Loureiro, 2004], podem ser utilizados para prover interação intuitiva e natural e vem sendo utilizados em *serious games* para permitir que o usuário tenha reações táteis relacionadas ao movimento [Burdea e Coiffet, 2003].

Outro tipo de RV aplicada à reabilitação que se mostra intuitivo é a RV de projeção. A RV de Projeção é oriunda do conceito de Realidade Artificial de Myron Krueger e refere-se a sistemas onde o usuário está fora do mundo virtual mas ele se vê dentro deste “outro” mundo através de sua projeção, como um espelho virtual. Neste espelho há além de sua representação, a presença de outros objetos virtuais [Pimentel e Teixeira, 1995].

2.1.3 Gesture Extreme

A plataforma GESTURE EXTREME (GX) foi desenvolvida em 1996 pela Vivid's Group, juntamente com uma suíte de ambientes de interação. Essa plataforma utiliza um sistema baseado em *chroma key* para remover as imagens do ambiente onde os movimentos do usuário estão sendo capturados e substituir por um ambiente virtual. A plataforma foi primeiramente desenvolvida para aplicações de RV de Projeção onde o objetivo é o entretenimento, porém seu potencial para fins médicos foi rapidamente notado [Cunninham e Krishack, 1999].

Com o avanço nos estudos referentes a *virtual rehabilitation*, a plataforma recebeu uma nova versão oficial denominada IREX (*Interactive Rehabilitation Exercise*) onde fisioterapeutas podem modificar os níveis de dificuldade e armazenar resultados de desempenho dos pacientes [Weiss et al. 2004]. Apesar das facilidades disponibilizadas aos especialistas para adaptação do sistema, as atividades não apresentam variação no que diz respeito a objetivo, são repetitivas em sua maioria.

O IREX não possibilita um controle fino quanto a amplitude dos movimentos realizados pelos pacientes durante as sessões e em função disso pode ser

prejudicial em casos onde o paciente não deve ultrapassar suas limitações físicas. Ainda, o IREX é uma plataforma comercial paga o que limita sua aplicabilidade e difusão.

Este trabalho visa utilizar recursos computacionais gratuitos e de código aberto.

3. Reabilitação Virtual

O conceito de reabilitação dado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) é dado como um processo que mantenha a condição física, sensorial, intelectual, psicológica e social em um patamar funcional para a vida de um paciente em sociedade. A reabilitação também deve proporcionar as ferramentas para que estes indivíduos possuam independência e autodeterminação.

A reabilitação virtual (Virtual Rehabilitation) pode ser definida como a utilização dos recursos (*software* e *hardware*) da RV para a reabilitação motora. A reabilitação virtual possibilitou avanços para o processo de reabilitação motora, entre eles pode-se citar [Burdea, 2002]:

- Os exercícios realizados durante o processo de reabilitação motora tradicionalmente utilizados nas clínicas é repetitivo e pouco atrativo para os pacientes que tendem a não dar continuidade no tratamento. A RV possibilita a utilização de ambientes virtuais interativos onde os exercícios podem ser inseridos em atividades que possibilitem entretenimento além da movimentação física desejada [Flores, 2008; Koster, 2005 *apud* Burke *et al.* 2008];
- Sendo um recurso computacional, a RV possibilita que as atividades sejam personalizadas e assim, diversos pacientes com patologias diferentes possam usufruir das mesmas aplicações;
- Poucos são os dispositivos digitais utilizados no processo de reabilitação exigindo que os especialistas tenham que realizar a interpretação dos resultados possibilitando a ocorrência de erros. Utilizando equipamentos de RV o monitoramento dos pacientes pode ser realizado com informações computadorizadas captadas através de sensores e que não necessitam interpretação por parte dos especialistas;
- As clínicas de reabilitação estão concentradas nos grandes centros urbanos. Pouco são os fisioterapeutas que atendem regiões rurais e assim pacientes precisam se deslocar para realizar um tratamento. A reabilitação virtual permite que sistemas não presenciais de tratamento sejam desenvolvidos para que ocorra o monitoramento à distância do

paciente e assim não seja necessário o deslocamento do paciente;

- Os mesmos equipamentos de RV podem ser utilizados por pacientes diferentes, com limitações diferentes e para realizar exercícios diferentes, o que gera economia. Essa economia é considerada uma das principais vantagens e estímulos para que a reabilitação virtual seja aplicada.

4. Reabilitação Adaptativa

Entre as causas da baixa motivação nas terapias tradicionais está a frustração do paciente quando não consegue concluir uma tarefa, que é ocasionado pela exigência de movimento que estão fora do alcance permitido por sua patologia. Pacientes apresentam uma grande variedade de níveis de habilidades que exige que as tarefas a serem realizadas por cada paciente sejam adaptadas de acordo com suas limitações e evite um movimento impróprio para concluir com êxito uma determinada tarefa/jogo [Flores *et al.* 2008; Ma *et al.* 2006].

Os sistemas computacionais que possibilitam adaptação podem ser classificados em relação a esse recurso em [Gasparini, 2003]:

- **Sistemas Adaptáveis ou Customizáveis:** São sistemas onde um perfil de usuário é utilizado para personalização. O perfil pode estar armazenado ou ser incluído no início da execução do sistema;
- **Sistemas Adaptativos:** Através de informações coletadas de um usuário, o sistema adapta suas características adequadamente durante a execução do sistema, assim o sistema pode estar em adaptação contínua.

O ajuste dinâmico de simulações é uma das maiores vantagens da *virtual rehabilitation*, pois oferece uma solução para adequar o sistema às necessidades específicas de cada paciente. Jogos são aplicações computacionais onde, apesar da repetibilidade, se espera que o sistema altere seu comportamento a fim de garantir que continue estimulante.

Entretanto os jogos são projetados para pessoas com todos os movimento no limite da sua completude. Pacientes com hemiplegia têm limitação de movimento em um dos lados o que os impede de usufruir dos jogos existentes. Portando, além do jogo adaptar sua dinâmica para garantir motivação para os pacientes, ele deve se adaptar às limitações físicas e cognitivas do paciente (e portanto, ser customizável). E, para servir para a reabilitação, o jogo deve se adaptar durante seu uso de forma a perceber alterações nos limites identificados antes (e portanto, ser adaptativo).

Não somente o nível de dificuldade deve ser adaptado ao paciente, mas também as partes do corpo ativas durante a realização da tarefa e diversos elementos da simulação podem ser configurados como o número e tipo dos objetos em cena, tamanho, velocidade, distância entre objetos e paciente, entre outros. Um ambiente que atenda a estes critérios pode ser chamado de um ambiente para reabilitação adaptativa.

5. Jogos Relacionados

5.1 Eyetoy

O Eyetoy [2010] é uma plataforma comercial desenvolvida pela SONY e aplicada aos consoles Playstation II e Playstation III com o objetivo de permitir a prática de jogos interagindo através de movimentos corporais [Yavuzer, 2008].

Sendo uma aplicação comercial e com codificação não liberada gratuitamente, existem poucos desenvolvedores para esta plataforma e não existe nenhuma aplicação especialmente para a reabilitação motora. Em função disso os jogos existentes são utilizados com pouca eficiência pois não podem ser adaptados às diferentes limitações particulares de cada paciente [Kizony et al. 2005].

5.2 Theragame

O Theragame é um sistema de RV de Projeção desenvolvido com o objetivo de permitir que pacientes realizem os exercícios de reabilitação motora em casa. A plataforma foi desenvolvida em JAVA e é operada utilizando uma *webcam* e um computador porém, apesar de baixo custo dos equipamentos, a aplicação tem objetivos comerciais. O sistema captura os movimentos do usuário através de uma *webcam* e os exibe em uma janela (em projeção espelhada ou segunda pessoa) onde existem setas que são utilizadas para controlar os objetos virtuais necessários para cada aplicação.

O jogo permite a adaptação das atividades para diferentes paciente porém são poucos os parâmetros que podem ser modificados (nível de dificuldade do jogo e velocidade) o que impossibilita uma adaptação plena dos jogos e impede que a mesma aplicação seja utilizada por um grande número de pacientes.

As aplicações desenvolvidas foram testadas através de um questionário onde os pacientes comparavam a experiência ao utilizarem o Theragame com outros sistemas. As principais reclamações estavam relacionadas ao pequeno tamanho da tela e a dificuldade de acionar os sensores virtuais. Em função disso, os participantes declararam que preferiam utilizar mouse e teclado em vez das flechas virtuais. Como a tela onde o jogo ocorria estava separada da tela onde o jogador controlava os objetos, era

necessário que a atenção fosse dividida e o desempenho nos jogos foi prejudicado. Assim não foi viável a utilização da pontuação dos jogos para avaliar uma possível melhora do paciente. Os autores concluíram que a performance no tratamento está diretamente relacionada a satisfação e que os resultados nos testes foram influenciados pelas idades avançadas dos pacientes [Kizony, 2005].

6. Dance2Rehab

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um jogo sério de RV de Projeção com foco na reabilitação motora dos membros superiores e para isso foram utilizadas técnicas de visão computacional para realizar a detecção do movimento do paciente e possibilitar a interação do mesmo com o jogo através dos movimentos dos braços. No jogo desenvolvido, denominado Dance2Rehab (D2R), objetos virtuais se movimentam verticalmente na tela e o jogador deve tentar tocar virtualmente em tais objetos.

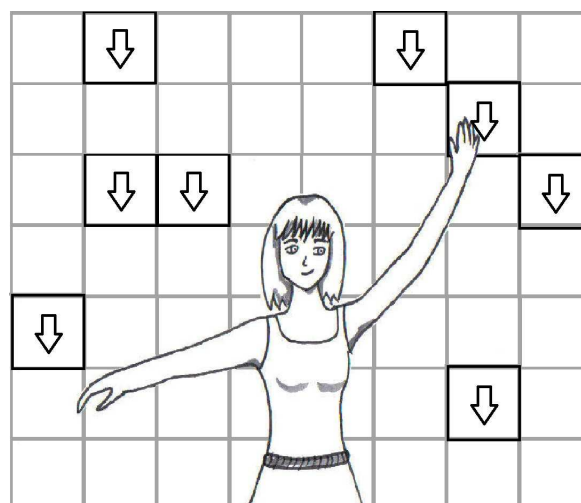


Figura 2. Representação das áreas de posicionamento do objetos virtuais.

A aplicação é contextualizada como um jogo musical inspirado nos jogos GUITAR HERO [GH, 2010] e DanceDanceRevolution [DDR, 2010]. É utilizada uma *webcam* que captura os movimentos realizados pelos pacientes e as imagens capturadas são utilizadas para prover a interação entre paciente e computador. A imagem capturada é projetada em uma tela juntamente com os objetos virtuais e isso proporciona imersão do paciente e uma cena virtual.

Na Figura 2 mostra-se o projeto do D2R ressaltando as áreas nas quais a pontuação é possível e na Figura 1 está representada a imagem do funcionamento do jogo onde um paciente utiliza os braços para tocar objetos virtuais que descem na tela, quando um objeto é tocado a pontuação aumenta, quando ele deixa de tocar um objeto a pontuação diminui. Na interface do jogo as informações referentes ao desempenho do paciente são exibidas como tempo, fase e pontuação, o que possibilita um *feedback* ao jogador e motiva o paciente a continuar a praticar o jogo objetivando melhorar seu desempenho

[Cameirao, 2007]. Além das informações visuais o jogo utiliza a música de fundo para promover *feedback*, quando a pontuação aumenta o volume da música aumenta dentro de uma margem, quando a pontuação diminui a volume da música abaixa.

O D2R tem como objetivo possibilitar que pacientes com diferentes limitações físicas utilizem o jogo e tenham condições de atingir o mesmo desempenho em relação ao jogo, ou seja, a mesma pontuação. Para se adaptar às limitações físicas do paciente são utilizadas as medidas goniométricas que poderão ser obtidas através de um software desenvolvido denominado Goniômetro Virtual (GV) [Brückheimer *et al.* 2009]. As informações adquiridas do GV são fornecidas ao jogo pelo fisioterapeuta na primeira sessão do paciente.

Além de adaptar-se às limitações físicas do paciente o D2R também tem a funcionalidade de detectar o desempenho do paciente durante o jogo e modificar seu nível de dificuldade com o objetivo de sempre manter o jogo em um nível estimulante, onde o paciente consegue pontuar porém é desafiado em determinados momentos.

O jogo avalia o desempenho do paciente e altera seu funcionamento de duas formas: em uma mesma sessão de uso altera-se a dificuldade de jogabilidade (velocidade, número de objetos em cena, tamanho dos objetos) e, entre sessões de uso sucessivas altera-se o padrão de pontuação em função da evolução das condições físicas do paciente.

A seguir serão apresentados os detalhes sobre estes elementos caracterizantes do D2R.

6.1 Goniômetro Virtual

A diferença de desempenho provocada pelas limitações físicas patológicas de cada paciente geraram a necessidade de permitir que o jogo fosse customizável. Assim, para cada paciente, suas medidas goniométricas são levantadas para alterar o jogo, o que evita frustrações iniciais e permite que o jogo seja usado como instrumento no processo de reabilitação motora de problemas orto-musculares dos membros superiores.

O Goniômetro Virtual (GV), permite a medição do ângulo entre membros superiores. O GV tem um funcionamento diferenciado pois parte de imagens de vídeo capturadas por uma *webcam* (equipamento de baixo custo e hoje já disponível na maioria dos computadores). O processo de uso do GV inicia com a solicitação para que o paciente execute um determinado movimento que contém em si a maior e a menor amplitude para uma determinada articulação.

O GV provê recursos para que o fisioterapeuta selecione interativamente a melhor imagem para o

processo de bio-fotogrametria. Esta imagem não necessariamente é a primeira nem a última da sequência de vídeo capturada por isso, requer intervenção do profissional. Após esta escolha, o fisioterapeuta pode se concentrar em identificar através de pontos na imagem, o posicionamento efetivo da estrutura óssea do paciente. Entre estes pontos, o GV cria linhas que farão o mesmo papel da linha guia da régua de um goniômetro convencional e o software então calcula o ângulo formado entre elas (Figura 3).

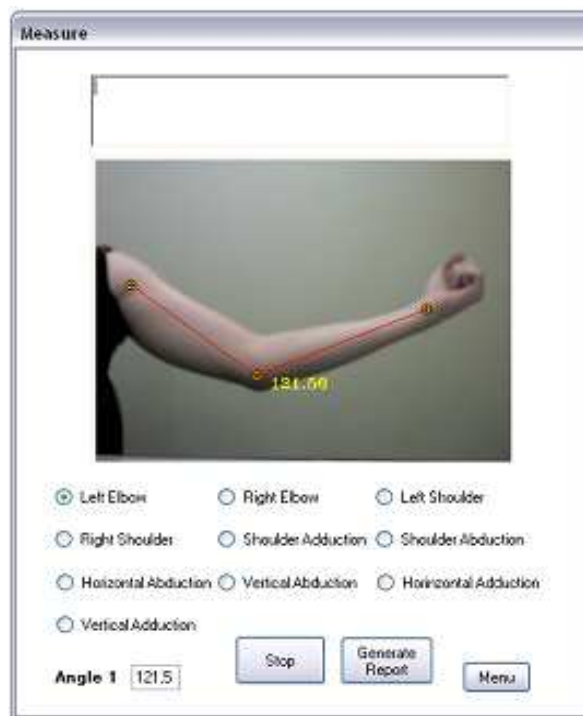


Figura 3. Tela de medição do GV.

6.2 Banco de Dados - Perfil do Paciente

Um banco de dados armazena as informações de cada paciente que devem ser utilizadas pelas funcionalidades de personalização e adaptatividade do jogo. Este banco de dados armazena o Perfil do Paciente, que contém as seguintes informações:

- Informações do paciente
 - Nome;
 - Idade;
 - Gênero;
 - Peso;
 - Altura;
 - Patologias;
 - Data da Lesão;
 - Identificação do lado lesionado.
- Informações de preferência do paciente
 - Músicas preferidas;
 - Idioma.

Além de manter as informações que serão utilizadas para o funcionamento do jogo, um banco de

dados também é importante para possibilitar a realização do acompanhando do paciente durante o tratamento por meio de relatórios de desempenho onde seriam informadas as pontuações e níveis do paciente durante o tratamento. Através das informações do relatório será possível avaliar a evolução do paciente e assim permitir mais uma forma de *feedback*.

6.3 Níveis de Dificuldade

Um dos fatores determinantes para o funcionamento adequado do Dance2Rehab é a possibilidade de controlar o nível de dificuldade durante uma sessão de jogo. Os níveis de dificuldade são utilizados para adaptar o jogo à capacidade do paciente com o objetivo de manter o jogo em um nível atrativo. Os elementos do jogo que possibilitam o controle do nível de dificuldade são:

- Número de objetos virtuais simultâneos em cena: Durante a implementação do jogo foi definida uma forma de controlar o número de objetos que podem aparecer na tela simultaneamente;
- Velocidade de queda dos objetos virtuais: O jogo permite que a velocidade que os objetos virtuais se deslocam seja controlada;
- Tamanho dos objetos virtuais: Foram determinados três tamanho padronizados (pequenos, médios ou grandes) de objetos que podem variar com o objetivo de modificar a dificuldade de atingir os objetos;
- Tempo máximo de sessão: O tempo em que o paciente permanece jogando pode influenciar em seu desempenho, em função disso foi criada uma variável que permite controlar o tempo máximo que o paciente permanece jogando.

6.4 Customização

A customização do jogo está diretamente ligada ao “perfil do paciente”, onde são informadas as suas preferências. As informações de terapia são utilizadas para personalizar as características do jogo de acordo com as limitações físicas de cada paciente. Estas limitações físicas de cada paciente geraram a necessidade de permitir que a aplicação fosse adaptável. Para isso foram determinadas nove situações de amplitude para as articulações de ombro e cotovelo. Essas situações são responsáveis por classificar cada paciente, e isso é feito através de uma avaliação goniométrica antes de iniciar o jogo para então determinar em qual situação o paciente se encontra.

No Dance2Rehab são utilizadas as medidas goniométricas de ombro e cotovelo com o objetivo de realizar o controle do nível de amplitude exigido no jogo com as limitações do paciente. Para que o D2R consiga identificar durante o jogo as amplitudes

goniométricas realizadas pelo jogador a tela no jogo foi dividida em áreas (Figura 4) onde, a partir dos dados goniométricos do paciente, são determinadas as áreas alcançáveis pelo mesmo. Sobre estas áreas serão determinados os padrões de pontuação de forma a não exigir que o paciente tenha que fazer um movimento desconfortável ou lesivo para ganhar pontuação máxima e evoluir no jogo.

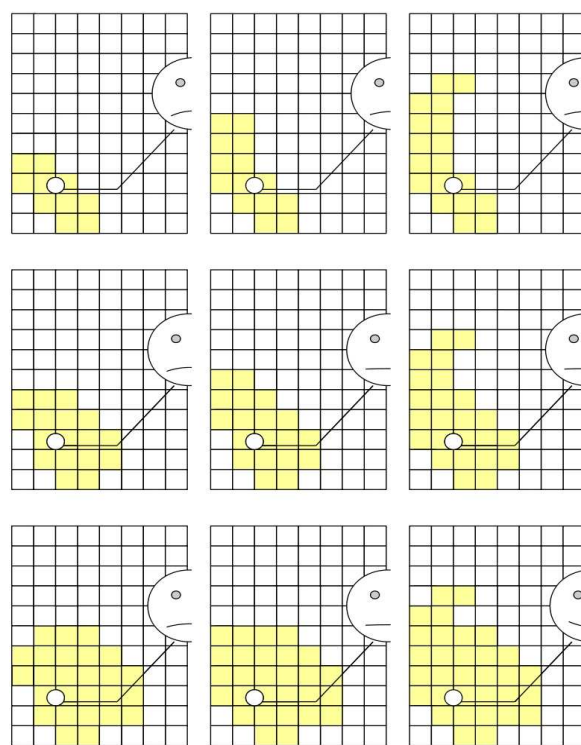


Figura 4. Representação dos nove padrões de pontuação.

6.5 Padrões de pontuação

Uma forma encontrada para adaptar o jogo às limitações físicas de cada paciente foi modificar a maneira que cada paciente pontua baseado em sua limitação, em função disso foram criados Padrões de Pontuação onde em um padrão é estabelecida a pontuação de cada uma das regiões em que a tela foi dividida. Foram determinados nove padrões de pontuação dividindo o espaço de interação em regiões que envolveram a análise dos limites da amplitude das articulações do ombro e do cotovelo do paciente, para cada lado do corpo.

A Figura 4 apresenta os padrões de pontuação determinados para um dos lados do jogo (o outro é simétrico). A tela foi dividida em vias (colunas) e alturas (linhas). Dentre todas as vias e alturas, algumas posições pontuam quando o jogador “bate virtualmente” no objeto naquela posição (indicados na Figura 4 pelo quadrados hachurados em amarelo). Caso a posição onde o paciente bateu no objeto esteja associado a uma pontuação pelo padrão de pontuação, o paciente recebe um aumento na pontuação. Se não for desta, não recebe nenhuma pontuação.

A escolha de quais posições (vias, alturas) e a quantidade de pontos atribuídos a elas estabelece um “Padrão de Pontuação”. Para determinar os nove padrões foi realizada uma análise de medidas goniométricas possíveis de pacientes em diversos estágios de recuperação. Na horizontal os Padrões de Pontuação modificam-se em função da mudança de condição da articulação do ombro e na vertical, em função do cotovelo.

6.6 Adaptatividade

Para que um sistema de reabilitação virtual possa ser utilizado da maneira eficiente para prover reabilitação motora é necessário evitar a indução de movimentos além do que o paciente pode alcançar [GOUDE, 2007].

Outra característica desenvolvida e que diferencia dos outros trabalhos relacionados diz respeito a questão de adaptatividade. O jogo foi desenvolvido de maneira a utilizar o desempenho do paciente para atualizar, automaticamente durante a execução, o nível de dificuldade e os Padrões de Pontuação. Esta funcionalidade considera que um jogador sempre deve ser desafiado com o objetivo de atrair a atenção do mesmo, porém leva em consideração que uma atividade com um grau de dificuldade alto torna-se desinteressante e acaba provocando a desistência do executor. Assim, para realizar esse ajuste, é utilizado o aproveitamento do usuário, a porcentagem de pontos ganhos em relação aos pontos possíveis (pontuação máxima alcançável) para determinar se o jogo está muito fácil, difícil ou em um nível coerente.

Durante a realização de uma sessão de jogo, o nível de dificuldade do D2R deve variar em relação ao desempenho do paciente com o objetivo de manter a motivação. Para isso são utilizadas três margens de desempenho:

- o desempenho baixo corresponde a uma taxa de acerto menor do que cinquenta por cento dos objetos que aparecem durante um intervalo de tempo determinado;
- o desempenho médio corresponde a uma taxa entre cinquenta por cento e setenta por cento de acerto, e;
- uma taxa superior a setenta por cento é considerado um desempenho alto.

A adaptatividade do jogo altera o nível de dificuldade do jogo, modificando os parâmetros de dificuldade (velocidade, quantidade de elementos e seu tamanho), com o objetivo de manter o jogador em um desempenho médio.

Quando, entretanto, o paciente chega até o nível mais difícil nos três elementos no final do tempo de uma sessão, isto é interpretado como se o paciente já esteja completamente confortável e capacitado a pontuar ao máximo naquele Padrão de Pontuação selecionado para ele. Então, o D2R avalia a

distribuição de pontos que o paciente obteve para identificar se ele evoluiu na articulação do ombro e/ou cotovelo e seleciona um novo padrão de pontuação de forma a incitá-lo a complicar ainda mais o movimento da articulação.

Neste novo padrão, alterado entre as sessões de uso do jogo, os níveis de dificuldade iniciarão novamente do mais fácil (velocidade lenta, poucos objetos em cena, tamanho grande) até o mais difícil quando, novo padrão de pontuação será selecionado.

Isto significa que o D2R se adapta durante o jogo e entre sessões sucessivas, conforme o desempenho e a consistência do desempenho do paciente.

6.7 Desenvolvimento

O jogo foi implementado utilizando a linguagem de programação C/C++ e com auxílio da biblioteca OpenCV e da API MOVE-IN [Miranda *et al.* 2008] que são responsáveis pela captura e interpretação dos movimentos realizados pelo jogador. Para a implementação dos efeitos sonoros foi utilizada a biblioteca Audiere [2010]. A escolha das tecnologias foi feita com base em 3 características: gratuidade, liberdade de uso e portabilidade (Sistema Operacional).

A aplicação apresenta versões para o sistema operacional Linux Mint [Mint, 2010] e MS Windows XP [Microsoft, 2010]. Durante o desenvolvimento foram encontradas dificuldades de manter o código portátil para ambos os sistemas operacionais, a solução foi realizar modificações específicas no código da versão de cada sistema com a finalidade do software atingir o mesmo desempenho em ambos os sistemas.

Teste iniciais foram feitos em um *notebook* com processador Intel Core 2 Duo T5550, 2 Gb de RAM e placa de vídeo ATI Radeon HD 2400.

7. Conclusão

Este trabalho apresentou um jogo sério que utiliza Realidade Virtual de Projeção, denominado Dance2Rehab (D2R), que através de uma *webcam* e recursos de visão computacional, identifica os movimentos corporais dos jogadores e que foi projetado especialmente para ser utilizado nos processos de reabilitação motora.

O D2R tem o diferencial de reconhecer as limitações físicas do paciente (sendo customizável por estas) mas, acima de tudo, se adapta às novas condições de desempenho físico do mesmo ao longo das sessões de uso/tratamento podendo portanto, ser usado como instrumento no processo de reabilitação motora de problemas orto-musculares dos membros superiores (em especial ombro e cotovelo).

Graças a esta característica, o D2R permite que os pacientes possam utilizá-lo, obtendo pontuações altas para passar de fase, sem entretanto requerer plenas condições motoras mas, quando o D2R reconhece melhora no quadro patológico motor, o jogo passa gradualmente a exigir mais do paciente.

Este trabalho mostra portanto, novas dimensões para a dinâmica de modificação que um jogo pode ter. Parte delas é própria do jogo para que este não se torne entediante; uma parte, deve levar em conta preferências visuais e cognitivas do usuário e também; uma outra dimensão de mudanças em um jogo que é este se adaptar às limitações físicas do jogador.

Assim, o D2R é um jogo de Reabilitação Virtual Adaptativo e Customizável.

Os trabalhos futuros incluem testes com pacientes a fim de avaliar usabilidade e jogabilidade e com fisioterapeutas a fim de determinar protocolos de aplicação às diversas patologias motoras.

Ainda, trabalhos com o intuito de validar a aplicação e trabalhos visando o acréscimo de funcionalidades à aplicação são possíveis, entre elas; a associação do Dance2Rehab à outros equipamentos como medidores de pulso, pressão e temperatura com o objetivo de monitorar o estado de saúde do paciente durante a execução das atividades.

Agradecimentos

Os autores agradecem à UDESC e ao CNPq por possibilitarem a realização deste trabalho.

Referências

- AUDIERE. Disponível em <http://audiere.sourceforge.net/> [Acessado em julho de 2010].
- BLACKMAN, S." Serious Games... and Less! Computer Graphics" In: ACM SIGGRAPH Computer Graphics, Volume 39, Issue 1, pages 12 – 16, 2005.
- BRÜCKHEIMER A. D., HOUNSELL M. S., KEMCZINSKI A. "Goniômetro Virtual Software Aberto para Fotogrametria a partir de Vídeos", In ENCOMP – Congresso Nacional dos Estudantes de Computação, Curitiba, Brasil. pp. 1-4, 2009.
- BURDEA G., "Keynote Address: Virtual Rehabilitation: Benefits and Challenges," 1st Int. Workshop on Virtual Reality Rehabilitation (Mental Health, Neurological, Physical, Vocational), Lausanne, Switzerland, pp.1-11, 2002
- BURDEA, G.; COIFFET, P. "Virtual Reality Technology", ISBN 0-471-08632-0, John Wiley & Sons, NY, 1994.
- BURDEA, G.; COIFFET, P. "Presence: Teleoperators & Virtual Environments", 2003.
- CAMEIRAO, M. S.; BADIA, S. B.; ZIMMERLI, L.; OLLER, E. D.; VERSCHURE, P. F. M. J. "The Rehabilitation Gaming System: A Virtual Reality Based System for the Evaluation and Rehabilitation of Motor Deficits" In: Proceedings of Virtual Rehabilitation 2007, Venice, Italy, September 2007.
- CUNNINGHAM, D.; KRISHACK, M., "Virtual Reality: a Wholistic Approach to Rehabilitation", Study Health Technological Information, V. 3, pp 62-90, 1999.
- DEUTSCH E. J.; BORBELY M.; FILLER J.; HUHN K.; GUARRERA-BOWLBY P.; "Use of a Low-Cost, Commercially Available Gaming Console (Wii) for Rehabilitation of an Adolescent With Cerebral Palsy", Phys Ther. pp. 1196–1207, 2008.
- DDR – DANCEDANCEREVOLUTION; Disponível em <http://www.ddrgame.com/> [Acessado em julho de 2010].
- EYETOY – SONY PLAYSTATION CAMERA. Disponível em: <http://www.eyetoy.com/> [Acessado em março de 2010].
- FLORES, E.; TOBON, G.; CAVALLARO, E.; CAVALLARO, F. I.; PERRY, J. C.; KELLER, T. "Improving Patient Motivation in Game Development for Motor Deficit Rehabilitation", 2008.
- GASPARINI, I. "Interface Adaptativa no Ambiente AdaptaWeb: navegação e apresentação adaptativa baseada no modelo de usuário". Dissertação de Mestrado UFRGS, Orientador: Prof. Marcelo Soares Pimentel. 2003.
- GESTURETECK, Video-based Interactive Gesture Control of Computer Processes. Disponível em: <http://www.gesturetek.com> [Acessado em julho de 2010].
- GH - GUITAR HERO. Disponível em <http://hub.guitarhero.com/> [Acessado em março de 2010].
- GOUDE, D.; BJÖRK S; RYDMARK, M. "Game design in virtual reality systems for stroke rehabilitation", Stud Health Technol. and Inform. pp. 146—148.,2007.
- HOLDEN, M. K.; DYAR, T. A.; SSCHWAMM, L.; BIZZI, E.; "Virtual Environment-based Telerehabilitation in Patients with Stroke", CyberPsychology & Behavior. pp. 212-219. 2005.
- JOHNSON, K.; RAIJ, A.; STEVENS, A.; LIND, D. S.; LOK, B. "The validity of a virtual human experience for interpersonal skills education". Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, San Jose, California, USA. 2007.
- KIZONY R.; WEISS, P. L.; SHAHAR, M.; RAND, D. "TheraGame – a home based virtual reality rehabilitation system", International Journal on Disability and Human Development, pp. 265 – 269, 2005.
- KOSTER, R. "A Theory of Fun for Game Design" Paraglyph Press, pp. 256, 2005.

- LAI, S. M.; STUDENSKI, S.; DUNCAN, P. W.; PERERA, S. "Persisting consequences os stroke measured by the Stroke Impact Scale", *Stroke*, 33: 1840–1844, 2002.
- LOUREIRO R. C. V.; COLLIN C. F. ; HARWIN W. S. "Robot aided therapy: challenges ahead for upper limb stroke rehabilitation", . Pro-ceedings of the 5th International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies; Sep 20–22; New College, Oxford, England. p. 33–39. 2004
- MA M; MCNEIL, M. D. J.; CHARLES, D.; MCDONOUGH, S.; CROSBIE, J; "Virtual Reality Games for Motor Rehabilitation", 2006.
- MACHADO L. S.; MORAES R. M.; NUNES F. L. S. "Serious Games para Saúde e Treinamento Imersivo", 2009.
- MICROSOFT, SITE OFICIAL. Disponível em: <http://www.microsoft.com> [Acessado em Agosto de 2010].
- MIRANDA, J. J.; HOUNSELL, M. S.; SILVA, A. G.; "Move-In: Uma API para Interação com Webcam", VII SBGames - Computing Track: Technical Posters, Belo Horizonte - MG. pp. 13-16, 2008.
- Mint – Sistema Operacional Linux Mint. Disponível em <http://linuxmint.com/> [Acessado em Julho de 2010].
- PARKER, V. M.; WADE, D. T.; LANGTON HWEWR, R . "Loss of arm function after stroke: measurement, frequency, and recovery"*Int Rehab Med*. 8:69–73, 1986.
- PIMENTEL, K.; TEIXEIRA, K. Virtual Reality – through the new looking glass. 2.ed. New York, McGraw-Hill, 1995.
- RIZZO, A."Virtual Reality Definitions And Rationale For Its Use For Cognitive Assessment And Rehabilitation". Torino, Italy. 4th World Congress on Brain Injury. pp 243-244. 2001
- RODRIGUES H. F.; MACHADO L. DOS S.; VALENÇA A. M. G. "Uma Proposta de *Serious Game* Aplicado à Educação em Saúde Bucal", 2009.
- OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Disponível em <http://www.who.int/en/> [Acessado em Setembro de 2010].
- THOMAS, S. A.; LINCOLN, N. B.; "Factors relating to depression after stroke", *Brit J Clin Psychol*. 45: 49–61 2006.
- VIAU, A.; FELDMAN, A. G.; MCFADYEN, J.; LEVIN, M. F. "Reaching in reality and virtual reality: a comparison of movement kinematics in healthy subjects and in adults with hemiparesis", In Proceedings of the 15th International Society of Electrophysiology and Kinesiology Congress, 51. 2004.
- WEISS P. L., NAVEH Y., KATZ N, RAND D. "Video capture virtual reality as a flexible and effective rehabilitation tool". *Journal of NeuroEnginnering and Rehabilitation*. pp. 1:12. 2004
- WiiFit, Disponível em: <http://www.wiifit.com/> [Acessado em: julho de 2010].
- YAVUZER G.; SENEL, A.; ATAY, M. B.; STAM, H. J.; "Playstation eyetoy games' improve upper extremity-related motor functioning in subacute stroke: a randomized controlled clinical trial" , *Eur J Phys Rehabil Med*; 44: 237–244. 2008