

# Bases para Reabilitação Assistida

Rita Pereira Tiago Guerreiro Hugo Nicolau Daniel Gonçalves Joaquim Jorge

Technical University of Lisbon / INESC-ID

R. Alves Redol, 9, 1000-029

Lisbon, Portugal

rita.t.c.pereira@ist.utl.pt, {tjvg, hman}@vimmi.inesc-id.pt, {daniel.goncalves, jaj}@inesc-id.pt

---

## Sumário

O processo de fisioterapia consiste em devolver alguma qualidade de vida a deficientes motores, através do treino de um conjunto de movimentos. Cabe ao fisioterapeuta conseguir observar, interpretar e avaliar o estado actual e evolução dos seus pacientes, de forma a maximizar o seu desempenho físico. Neste artigo, apresentamos uma análise ao processo actual de fisioterapia, num centro de reabilitação para tetraplégicos, identificando as suas principais limitações e oportunidades para uma ferramenta tecnológica. Seguindo uma abordagem de desenho centrado no utilizador, é descrita uma plataforma de suporte aos fisioterapeutas, cujo principal objectivo é tornar a reabilitação num processo mais fiável e robusto. Avaliações preliminares com a população-alvo confirmam a utilidade da nossa abordagem, contribuindo para um acompanhamento mais preciso. Por fim, são apresentados alguns cenários de interacção ilustrando todas as potencialidades do sistema.

## Palavras-chave

*Movimentos, Reabilitação, Fisioterapia, Tetraplégicos, Reprodução do Movimento, Captura do Movimento*

---

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o avanço da tecnologia tem vindo a melhorar a qualidade de vida das pessoas portadoras de deficiência. No entanto, os desenvolvimentos práticos ainda são escassos para os tetraplégicos e, em particular, para o seu processo de reabilitação.

A fisioterapia é uma ciência na área da saúde voltada para o entendimento da funcionalidade humana que actua nas mais diferentes áreas com procedimentos, técnicas, metodologias e abordagens com o objectivo de avaliar, tratar, minimizar e prevenir as mais variadas disfunções. Este processo, quando aplicado a tetraplégicos, visa sobretudo que este ganhe independência nos movimentos que realiza e que se adapte positivamente à sua condição de vida [Bromley06].



Figura 1 – Reabilitação tradicional (Análise de Tarefas)

Ao fisioterapeuta cabe o papel de observar, interpretar e dirigir a acção para otimizar a resposta do paciente. No entanto, estes processos terapêuticos são longos e implicam grande dedicação e motivação por parte do mesmo.

Consistem ainda na realização de padrões de movimento repetitivos durante as sessões, o que pode ser um factor de desmotivação para os pacientes [Bromley06].

Este trabalho tem como objectivo desenvolver ferramentas de auxílio a fisioterapeutas e, consequentemente, melhorar o processo de reabilitação. Começamos por estudar as rotinas diárias, sessões e procedimentos num centro de reabilitação, apresentando, neste artigo, um conjunto de limitações e exigências de uma solução tecnológica. O nosso objectivo é proporcionar aos fisioterapeutas um sistema computacional, com mecanismos eficientes e precisos, para o acompanhamento dos seus pacientes. Estes mecanismos incluem: guardar todos os exercícios que o paciente realiza para posterior avaliação e visualização; ter uma medida precisa do paciente e da sua evolução; e poder comparar o desempenho de duas sessões distintas no tempo.

Neste artigo, apresentamos os principais resultados da análise das tarefas realizada com os principais intervenientes no processo de reabilitação, assim como um conjunto de requisitos para uma ferramenta de suporte. Apresentamos ainda um trabalho em desenvolvimento, de uma plataforma virtual de reabilitação.

## 2. PERCEBER A FISIOTERAPIA

Para entendermos melhor o processo de reabilitação, realizamos um estudo de 10 dias num centro de reabilitação com os principais utilizadores deste sistema, ou seja, os fisioterapeutas, e pacientes (Figura 1). Apesar de acreditarmos que o nosso trabalho poderá ser valioso para a população em geral, concentramos os nossos estudos em pacientes tetraplégicos. A escolha desta população deve-

se essencialmente à longa duração do tratamento que poderá se durar entre vários meses a alguns anos. Assim, para que o processo de reabilitação e acompanhamento seja minimamente eficaz é necessária uma boa análise, armazenamento e noção da evolução dos pacientes.

Com vista a alcançar este objectivo, foi realizado um estudo preliminar com três fisioterapeutas e sete pacientes tetraplégicos. A análise consistiu em entrevistas e questionários com todas as partes intervenientes, e uma observação minuciosa dos exercícios da fisioterapia. As entrevistas foram realizadas após as sessões de fisioterapia e ajudou-nos a compreender os objectivos, limitações e dificuldades de cada método. Deste período de observação destacamos as seguintes conclusões:

- A maioria dos exercícios é normalmente realizada junto do fisioterapeuta. Durante a sua execução, o fisioterapeuta tira notas e observa como é que o movimento está a ser executado.
- Alguns exercícios são realizados na própria cadeira de rodas (por exemplo, mover um braço), mas, para ser executado correctamente, depende de um conjunto de restrições (por exemplo, manter o tronco firme).
- A execução repetitiva de exercícios errados, não respeitando as restrições anteriormente identificadas, pode ter um efeito perigoso ou até mesmo regressivo sobre a reabilitação do paciente.
- É difícil o fisioterapeuta ter uma visão completa do movimento quando este precisa de intervir na sua realização (Figura 1).
- A análise dos movimentos observados pelo fisioterapeuta é registada com um valor aproximado. Este valor pode variar de um fisioterapeuta para o outro. Além disso, considerando a duração do processo, é impossível garantir a coerência entre as avaliações prejudicando assim o registo da evolução do paciente;
- Os pacientes não têm qualquer retorno visual sobre o seu movimento ou desempenho (e.g. distância para um movimento preciso).

A partir da análise, consideramos que uma plataforma informática suportada com um sistema de monitorização preciso é uma adição valiosa para os procedimentos de reabilitação. No sistema proposto, é importante destacar tanto os pacientes como os fisioterapeutas como população-alvo. Para os fisioterapeutas, este sistema trará benefícios como a partilha de informação, padrões de movimento, análise e visualização do movimento; para os pacientes, poderá aumentar a motivação para alcançar os seus objectivos e, assim, melhorar o seu desempenho nos exercícios propostos.

### 3. REABILITAÇÃO VIRTUAL ASSISTIDA POR COMPUTADOR

Após o nosso estudo preliminar foi-nos possível identificar as principais falhas e limitações no processo de reabilitação, concluindo que uma plataforma de suporte poderia ser benéfica para ambas as partes envolvidas (i.e. pacientes e fisioterapeutas). Assim, foi criado um sistema de fisioterapia assistida que tem como base os seguintes requisitos:

- *Persistência de Dados:* Todos os dados devem ser persistentes e coerentes, para que possam ser visualizados e partilhados entre fisioterapeutas.
- *Captura de Movimentos:* Deve ser possível gravar o movimento realizado para posterior análise e reprodução;
- *Precisão:* A plataforma deverá permitir obter a noção exacta e precisa de aspectos relacionados com o movimento, por exemplo, o alcance da mão do paciente;
- *Reprodução do Movimento:* Deve ser possível reproduzir o movimento a qualquer instante, para análise e avaliação do mesmo;
- *Comparação do Movimento:* Deve ser possível reproduzir dois movimentos sobrepostos, para que possam ser comparados (e.g. avaliação da evolução);
- *Extracção Automática de Informação:* Deve ser capaz de enriquecer a visualização e facilitar a análise dos exercícios (e.g. apresentar automaticamente a distancia entre dois pontos na comparação de um movimento particular).
- *Fácil Configuração:* O terapeuta deverá ser capaz de preparar um exercício com pouco esforço e sem conhecimentos técnicos específicos da tecnologia usada.

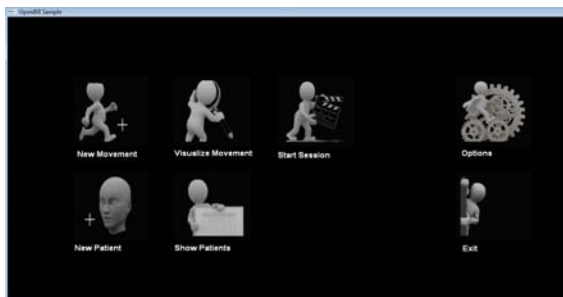
Para cumprir os objectivos e garantir que as exigências sejam cumpridas, a nossa abordagem usa um sistema de seguimento virtual (i.e. *tracking*) com marcadores ópticos. Este seguimento é realizado através da reflexão proporcionada pelos marcadores colocados no corpo do utilizador [Zhou04] (Figura 2).

A escolha deste método de captura de movimentos deve-se principalmente à sua precisão.

No entanto, a posição de cada um dos pontos é independente dos restantes, não existindo qualquer relação entre eles. Logo, para conseguirmos manter um constante seguimento de cada marcador, mesmo quando existe um cruzamento, optámos por usar Filtros de *Kalman* [Welch 95]. Estes são caracterizados por usarem um modelo de um sistema dinâmico (i.e. com base nas leis físicas do movimento), onde são conhecidas as entradas de controlo e as medições para formar uma estimativa das quantidades variáveis do sistema (i.e. o seu estado).



Figura 2 – Exemplo do sistema de seguimento com base em marcadores



**Figura 3 – Menu Principal da aplicação**

O seguimento é efectuado a vários pontos distintos, em simultâneo, alguns deles directamente relacionados (e.g. dois pontos no braço, como na Figura 2) e outros com relações indirectas (e.g. tronco e braços). É importante notar que apesar de se manter uma noção interna do esqueleto e onde é colocado cada marcador, não são usados corpos rígidos. Ou seja, os marcadores são pontos isolados no espaço, proporcionando aos fisioterapeutas uma maior flexibilidade na fase de montagem do sistema.

O filtro de Kalman tem duas fases distintas: previsão e actualização. A fase de previsão utiliza a estimativa do estado no instante anterior para produzir uma estimativa do estado na fase actual. Na fase de actualização, a predição "a priori" é combinada com informações actuais da observação, para refinar a estimativa do estado.

No entanto, este valor não é suficiente para identificar todos os pontos recebidos. Para atingir este objectivo, precisamos de usar a distância de Mahalanobis [Pinho05] e determinar qual dos pontos medidos é o mais próximo para a predição calculada.

Este processo é repetido a cada passo e a sua nova estimativa é usada na iteração seguinte.

#### 4. PLATAFORMA DE REABILITAÇÃO

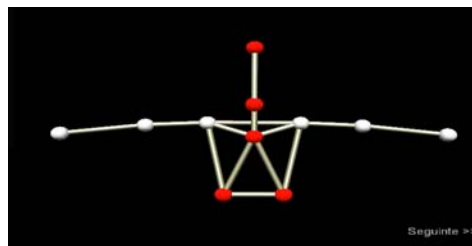
A plataforma de suporte permite aos terapeutas gerir todas as informações dos seus pacientes e respectivas sessões de fisioterapia, mantendo um histórico dos exercícios realizados (Figura 3). Além disso, permite-lhes comparar os dados entre sessões, ou mesmo entre pacientes. As funcionalidades mais relevantes irão ser descritas em seguida.

##### 4.1 Gravar movimento

A plataforma permite que o fisioterapeuta consiga gravar um movimento para posterior visualização ou comparação e, em ambos os casos, escolher quais os pontos mais



**Figura 4 – Utilizador com os marcadores**



**Figura 5 – Selecção de pontos no esqueleto**

relevantes para a avaliação do movimento (Figura 4).

De seguida poderá selecciona-los no esqueleto tridimensional (Figura 5) e, assim, começar a gravação.

##### 4.2 Reprodução do movimento

Após a gravação, o fisioterapeuta pode optar por reproduzir, navegar ou visualizar com detalhe o movimento, numa vista tridimensional (Figura 6). A aplicação permite ainda analisar os pontos escolhidos e observar as distâncias e ângulos entre os membros. Esta função comporta-se como um *player*, onde podemos fazer Iniciar, Pausar ou até mesmo alterar a velocidade do movimento.

##### 4.3 Comparação de movimentos

A qualquer momento, o fisioterapeuta pode seleccionar mais do que um movimento para compará-los. Para facilitar esta tarefa, são apresentadas duas barras temporais distintas (Figura 7), permitindo um controlo manual sobre as reproduções dos movimentos. Estamos actualmente a trabalhar numa sincronização automática para auxiliar os terapeutas a encontrar mais facilmente os mesmos instantes no movimento.

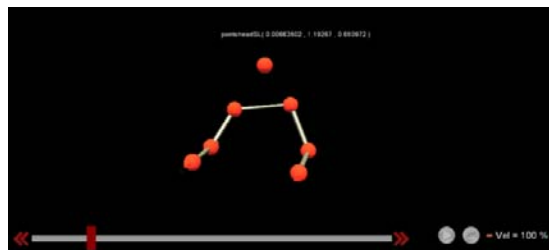
#### 5. AVALIAÇÃO PRELIMINAR

Foi realizada uma avaliação preliminar com dois fisioterapeutas, onde podemos concluir que, com a utilização do sistema, as tarefas podem ser realizadas de um modo rápido, e que toda a informação é obtida no instante da execução do movimento. No fim desta avaliação, os fisioterapeutas reconheceram que a com o sistema, conseguem obter a informação do movimento de um modo rápido e com maior precisão. No geral gostaram do sistema e acreditam que seja uma melhoria significativa para auxiliar as suas actividades diárias.

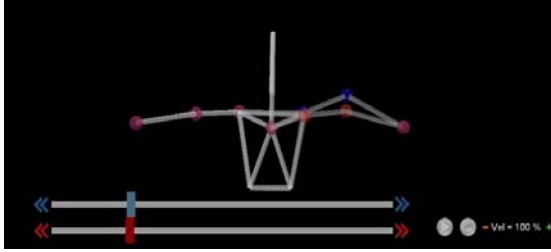
#### 6. CENÁRIOS

As capacidades da plataforma podem ser ilustradas com os seguintes cenários:

##### 6.1 Captura do movimento



**Figura 6 – Reprodução do Movimento**



**Figure 7 – Comparação entre dois movimentos**

O José, como em todas as quartas feiras, tem fisioterapia às 9:30 com o Pedro. Uns minutos depois de chegar, o fisioterapeuta Pedro, começou por colocar os marcadores de monitorização no seu paciente. Após terminar esta tarefa, o Pedro iniciou a aplicação e pediu ao José que colocasse os braços apoiados na cadeira. Começou então por escolher na aplicação a opção “Gravar”, onde de seguida lhe foi apresentada uma lista de pacientes que frequentam o centro. Escolheu o paciente José Martins, carregou em seguinte e apareceu-lhe uma lista de todos os movimentos executados pelo José. O Pedro decidiu iniciar uma nova sessão e escolheu a opção “Começar a Gravar”. Selecionou o movimento “Levantar o Braço Esquerdo” e foi-lhe apresentado um esqueleto, para que fossem seleccionados os marcadores que foram colocados no José. Após todos os pontos introduzidos, o Pedro deu sinal ao paciente que iria começar a gravar, carregando no respectivo botão. Enquanto o José realizava o exercício, o esqueleto tridimensional na aplicação movia-se de acordo com os seus movimentos. Quando terminou o exercício o Pedro carregou em “Terminar” e “Guardar Movimento”.

### 6.2 Reprodução do movimento

A Maria está pronta para começar mais uma sessão de fisioterapia. Com o auxílio da Vanessa consegue-se equilibrar, sentada, em cima da cama. No entanto, na última sessão a Vanessa tinha notado que algo estava errado com o movimento da sua paciente Hoje, decide visualizar o exercício em detalhe e mostra à Maria o que estava a fazer de mal. Pressiona o botão “Visualizar” e é mostrada uma barra, com as opções de “Iniciar”, “Ajustar Velocidade” e “Parar”. A Vanessa decide reduzir a velocidade em 50% e carrega em “Iniciar”. No momento em que a Maria está a começar a inclinar-se, erradamente, ela pára a reprodução, explicando à Maria onde estava o erro. Desta forma, a Maria conseguiu facilmente perceber o que estava a fazer mal e corrigir o seu movimento.

### 6.3 Comparar movimentos

Depois de um longo dia de trabalho, o Pedro pretende realizar um balanço de como têm corrido as sessões de fisioterapia, e quais as alterações que devem ser aplicadas no plano de trabalho de cada paciente. Para isso, começou por analisar as suas evoluções desde a primeira sessão. Iniciou a aplicação, e escolheu a opção “Lista de Sessões”, carregou em seguinte e apareceu a lista de todos os pacientes. Selecionou o André Lopes e de seguida apareceu uma listagem de todos os movimentos

gravados. O Pedro estava particularmente interessado no exercício de “Elevação do Braço Esquerdo”. Após seleccioná-lo, escolheu a opção “Comparar Movimentos”. Ao aparecer a listagem de todas as gravações do André com este movimento, o Pedro seleccionou os que tinham sido executados nos dias 12/12/2009 e 12/04/2010, carregando no botão “Comparar”. Foram apresentadas duas barras, uma para cada execução, um esqueleto tridimensional, e um botão de “Iniciar” e “Parar”. Ao carregar no “Iniciar”, notou que o André mostrou melhorias na extensão do braço, atingindo já um ângulo de quase 90° com o tronco.

## 7. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Neste artigo apresentamos os nossos estudos preliminares, ao processo de reabilitação actual, em particular, o modo como os fisioterapeutas observam e avaliam o estado físico dos seus pacientes.

Propomos uma plataforma virtual de suporte e monitorização de movimento que permite aos terapeutas terem um acesso fácil e rápido a toda a informação sobre os exercícios realizados pelos pacientes: desempenho, evolução, e histórico. Como trabalho futuro iremos avaliar o nosso sistema, junto de todos os intervenientes da reabilitação (fisioterapeutas e deficientes motores), de forma a validar a nossa abordagem. Apesar de o nosso foco estar actualmente no suporte ao fisioterapeuta e em garantir um processo mais fiável e robusto, pretendemos no futuro melhorar a experiência do paciente tornando-a mais divertida (e.g. através de jogos).

## 8. AGRADECIMENTOS

O trabalho foi financiado pela FCT através do programa PIDDAC. Tiago Guerreiro e Hugo Nicolau foram apoiados pela FCT, através das bolsas SFRH/BD/28110/2006 e SFRH/BD/46748/2008, respectivamente.

## 9. REFERÊNCIAS

- [Zhou04] Zhou, H. & Hu, H, A Survey – Human Movement Tracking and Stroke Rehabilitation, Technical Report, 2004.
- [Arulampalam02] Arulampalam M., Maskell S., Gordon N., Clapp T. .A Tutorial on Particle Filters for Online Nonlinear/Non-Gaussian Bayesian Tracking, IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 50, pp. 174/188, 2002
- [Welch95] Welch G., Bishop G., An Introduction to Kalman Filter, University of North Carolina at Chapel Hill, 1995
- [Pinho05] Pinho, R. R.; Tavares, J. M. R. S. & Correia, M. VA Movement Tracking Management Model with Kalman Filtering, Global Optimization Techniques and Mahalanobis Distance, ICCMSE 2005 - International Conference on Computational Methods in Science and Engineering, 2005
- [Bromley06] Tetraplegia and paraplegia : a guide for physiotherapists. - 6th ed. - I. Bromley. Edinburgh : Churchill Livingstone, 2006