

## Recomendação de Exercícios Fisioterápicos por Sensores de Movimento

A Computational Recommendation for Rehab Exercises with Motion Capture Sensor

Una recomendación computacional para los Ejercicios de rehabilitación con Sensores de Movimiento

Eduardo Filgueiras Damasceno<sup>1</sup>, Alexandre Cardoso<sup>1</sup>, Edgard Afonso Lamounier Junior<sup>3</sup>

### RESUMO

**Descritores:** Medicina Física e Reabilitação; Sistemas de Computação; Tomada de Decisão

Este trabalho apresenta uma abordagem computacional para recomendar exercícios fisioterápicos a partir das análises da amplitude de movimento capturada em tempo real por meio de um sensor de movimento (MS-Kinect™). Com intuito de se obter uma recomendação de novos exercícios com base no histórico do paciente durante o tratamento de uma patologia. Os dados do movimento capturado são processados e analisados, fornecendo uma segunda opinião ao terapeuta sobre o caso. Para avaliar a aplicabilidade e viabilidade do sistema, foi aplicado um teste com 20 sujeitos em tratamento da dor lombar (lombalgia mecânica), e o conjunto de dados foi analisado por outros 5 fisioterapeutas que sugeriram exercícios, catalogados na base de dados do sistema. Foi utilizado um método agrupamento de dados sobre as amplitudes de movimento em relação ao índice de incapacidade de movimento e as medidas antropométricas dos sujeitos. E novamente outra técnica de inteligência computacional para recomendar os novos exercícios. Nas conclusões evidencia-se com certo grau de certeza a viabilidade do sistema e sua sugestão de aplicação das técnicas nele contida para recomendação de outros tratamento de patologias de disfunções musculares.

### ABSTRACT

**Keywords:** Physical and Rehabilitation Medicine; Computer Systems; Decision Making, Computer-Assisted

This paper presents a computational approach to recommend physical therapy from the analysis of the range of motion captured in real time by means of a motion sensor (MS-Kinect™). With goal to obtain a recommendation of new exercises based on the history of the patient during the treatment of a condition. The captured motion data is processed and analyzed, providing a second opinion of the therapist about the case. To evaluate the applicability and feasibility of the system, we applied a test with 20 subjects in treatment of low back pain (mechanical low back pain), and the data set was parsed by other 5 physiotherapists who suggested exercises cataloged in the database system. A method of grouping data on range of motion in relation to the disability index of motion and anthropometric measurements of the subjects was used. Again another technique of computational intelligence to recommend the new exercises. In conclusion, it is evident with some degree of certainty the viability of the system and its application techniques contained therein for recommending other treatment of diseases of muscle disorders

### RESUMEN

**Descriptores:** Medicina Física y Rehabilitación; Sistemas de Computación; Toma de Decisiones Asistida por Computador

Este artículo presenta un enfoque computacional para recomendar la terapia física a partir del análisis de la amplitud de movimiento capturado en tiempo real por medio de un sensor de movimiento (MS-Kinect™). Con el objetivo de obtener una recomendación de nuevos ejercicios basados en la historia de la paciente durante el tratamiento de una condición. Los datos de captura de movimiento es procesada y analizada, que proporciona una segunda opinión el terapeuta sobre el caso. Para evaluar la aplicabilidad y viabilidad del sistema, se aplicó una prueba con 20 sujetos en el tratamiento del dolor lumbar (lumbalgia mecánica), y el conjunto de datos se ha analizado por otros 5 fisioterapeutas que sugirieron ejercicios catalogados en el sistema de base de datos. Se utilizó un método de agrupación de datos en el rango de movimiento en relación con el índice de discapacidad de movimiento y las medidas antropométricas de los sujetos. Y también otra técnica de inteligencia computacional para recomendar los nuevos ejercicios. En conclusión, es evidente con algún grado de certeza la viabilidad del sistema y su sugerencia de aplicar las técnicas contenidas recomendación para el tratamiento de otros trastornos de disfunciones musculares en el mismo.

<sup>1</sup> Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia (MG), Brasil.

<sup>2</sup> Professor Titular da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia (MG), Brasil.

## INTRODUÇÃO

Atualmente os avanços nas áreas da saúde estão aglutinando as tecnologias de informação e de conhecimento no intuito de promover um processo multidisciplinar envolvendo as áreas da computação e da medicina para o mais rápido restabelecimento do indivíduo. Dentro destes avanços, concentram-se as técnicas de análise de imagens para auxílio ao diagnóstico tanto de doenças quanto de transtornos de comportamento. Mais recentemente, tem-se observado um incremento das tecnologias baseadas em jogos digitais para distração da dor<sup>(1)</sup>, restabelecimento motor<sup>(2)</sup>, terapias cognitivas comportamentais<sup>(3)</sup>, e mais aplicada a fisioterapia as práticas reabilitadoras do sistema motor<sup>(4)</sup>. Estas abordagens relatam comumente o uso da tecnologia de captura de movimentos por meio de sensores de movimento, a exemplo o MS-Kinect, ou o Asus XTion.

Desta forma, o advento desta tecnologia permitiu o registro de informações de movimento tais como velocidade, força e orientação, gerando uma infinidade maior de dados, que podem ser trabalhados afim de atenuar o processo de reabilitação e potencializa-lo por meio de uma interface computadorizada.

Todavia, as ferramentas disponíveis para tal análise devem passar por um processo de customização e de refinamento para que sejam viáveis para a prática clínica.

Este trabalho mostra uma estratégia de aplicação da tecnologia de captura e análise de movimentos em tempo real para mensurar a qualidade dos exercícios recomendados para o tratamento da lombalgia mecânica por fisioterapeutas. Ademais o sistema é dotado de um conjunto de regras para a recomendação de novos exercícios por meio de um processo de inteligência computacional com redes neurais artificiais.

Para teste do sistema foram analisados os exercícios realizados sujeitos portadores de lombalgia mecânica e acompanhados profissionais experientes na prática de tratamento da lombalgia mecânica.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os Sistemas de Informação (SI) para a saúde possuem uma característica arquivista, ou seja, de registro dos acontecimentos clínicos mediante a interação do usuário (terapeuta) e a informação sobre o paciente. Estes SI, enquanto instrumento de trabalho na saúde, são importantes recursos computacionais de apoio às ações administrativo-burocráticas e àquelas ancoradas em conhecimentos técnico-científicos, sobretudo as que dependem de informações atualizadas<sup>(5)</sup>.

Todavia, os SI dependem diretamente da interação humana e, portanto, tendem a receber diversos erros de digitação, levando a inconsistência da informação registrada<sup>(6)</sup>. Ademais, novas ferramentas e tecnologias podem ser incorporadas aos sistemas transformando-os de meros sistemas arquivistas para sistemas de apoio a decisão ou de recomendação de tratamento.

Um sistema de recomendação é um sistema que realiza continuamente análises de dados em grandes volumes e apresenta ao usuário apenas as informações suscetíveis de satisfazer o seu interesse<sup>(7)</sup>. Portanto, um sistema de recomendação para área da saúde deve possuir o mínimo

de interferência humana para que, por meio de regras estatísticas e raciocínio baseado em casos possa recomendar uma atuação.

É muito comum o uso do termo recomendação para as escolhas de exercícios reabilitadores em fisioterapia. Todavia, esta recomendação é um processo de determinação das abordagens terapêuticas mais convenientes e eficazes para o tratamento da desordem ou deficiência que o paciente esteja no momento.

Este processo exige, além de um estudo sobre a biomecânica de movimentos, um raciocínio complexo e atento, e em muitos casos, intuição, contando diretamente com a experiência do fisioterapeuta. A Computação por meio de técnicas de captura e análise de movimento traz um suporte para os terapeutas fornecendo informações sobre o movimento em tempo real.

### Captura de Movimentos

A técnica de captura de movimento, do inglês Motion Capture (MoCap) está fundamentada no processo de captura de imagem digital de um objeto ou uma pessoa em movimento no mundo real com a finalidade de reproduzir tais movimentos em um ambiente virtual. Podem-se ter diversas aplicações para esta técnica, desde a animação de personagens virtuais ao uso da informação para melhora de condicionamento físico em atletas de alto desempenho.

Dispositivos com qualidades distintas podem ser usados para capturar os dados de movimento do usuário. E, dependendo deste dispositivo dá-se a categoria na qual o sistema se encontra. Ele pode ser: Acústico, quando emissores sonoros são associados a marcações no objeto ou corpo em movimento. Mecânico, quando há um exoesqueleto afixado ao objeto ou ao corpo do usuário no momento da execução dos movimentos. Magnéticos, quando há um conjunto de emissores nas juntas do objeto ou usuário e uma antena transmissora de sinal que interpreta os dados destes emissores. E por fim, os Ópticos, que utilizam do registro visual por meio de câmeras e o processamento da imagem para gerar informações sobre o movimento realizado.

A técnica de MoCap mais comum é a de sistema óticos, pois possuem relativa qualidade de informação a um custo de implantação baixo. Esta técnica usufrui de algoritmos de processamento de imagem que rastreiam marcadores especiais afixados no corpo do ator do movimento. Este movimento é capturado e representado digitalmente. Basicamente é possível agrupar a técnica de acordo com a tecnologia aplicada em dois grandes subgrupos: tecnologia Passiva e tecnologia Ativa.

Quando os marcadores emitem um sinal luminoso é dito que a tecnologia é dita: Ativa e quando não emite nenhum sinal, sendo este marcador apenas refletor, é dito que a tecnologia é dita: Passiva. Ambas possuem restrições tais como a condição de iluminação e a dificuldade de rastreamento devido à restrição dos graus de liberdade que provoca a oclusão de marcadores. Mas estas restrições podem ser atenuadas aumentando o número de câmeras para captura, entretanto tem-se um incremento exponencial na complexidade destes sistemas.

Já as técnicas sem marcadores são menos restritivas,

dando assim a impressão maior de liberdade de movimentos, e são capazes de superar o problema da exclusão mútua, entretanto, a complexidade se instala na representação deste movimento que é tão exponencial quanto à baseada em marcadores.

### **Amplitude de Movimento**

A Amplitude de Movimento (AdM) pode ser definida como o deslocamento angular de uma articulação, e tem por função quantificar e qualificar um dado movimento. Dependendo da patologia que sofre um indivíduo esta AdM pode se encontrar minimizada, dificultando, assim, a mobilidade ou mesmo a postura.

Para se auferir esta variável é comumente usada um processo denominado de goniometria. A goniometria é a aplicação de um sistema coordenado a uma articulação com o intuito de medir os ângulos de movimentos existentes<sup>(8)</sup>.

Esta prática é amplamente utilizada em clínicas e em pesquisas científicas com a finalidade avaliar as amplitudes de movimento articular e decidir a intervenção terapêutica mais apropriada para a patologia em estudo.

A medição dos movimentos articulares é realizada por três técnicas distintas: a observação visual, a utilização de goniômetros manuais e a aplicação por análise de imagens digitais. A observação visual é um método de avaliação subjetivo que dificulta a realização de um diagnóstico confiável. Os goniômetros são equipamentos simples e de baixo custo sendo a principal técnica utilizada na medição dos movimentos articulares. A análise de imagens necessita de programas específicos para realizar a interpretação das imagens, podendo ser inviável a utilização dessa técnica em clínicas e em pequenos centros de pesquisa. Outras abordagens com dispositivos não convencionais vem sendo adotadas como por eletrogoniômetros<sup>(9)</sup> e acelerômetros digitais<sup>(10)</sup>.

### **Lombalgia Mecânica**

De forma a elucidar a informação clínica foi escolhida uma patologia denominada de Lombalgia Mecânica, que segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) é um dos distúrbios dolorosos que mais afetam o homem, para ser aplicada ao estudo de caso.

Esta patologia, definida também como Lombalgia Ocupacional ou Dor Lombar Baixa (CID M54.5) é uma patologia é causa frequente de incapacidade ou abstenção de trabalho, desta forma causando um impacto socioeconômico tanto para as empresas quanto para o governo<sup>(11)</sup> e atualmente afeta cerca de 70% da população mundial em pelo menos em uma fase da vida.

O processo de reabilitação realizado de forma completa e contínua oferece benefícios ao indivíduo portador da deficiência que pode leva-lo a uma completa restauração ou uma adaptação a sua nova condição física.

Entretanto, é o paciente quem decide o momento de realizar ou não as atividades de reabilitação, e este ao não mais perceber a dor na região lesionada tende a abandonar as terapias.

Esta atitude acarreta no restabelecimento superficial da patologia e, caso reincida, o paciente será acometido de um grau mais severo da mesma<sup>(12)</sup>, dificultando, desta

forma, o processo de reabilitação.

O paciente realizar os exercícios frente ao espelho, este encontra motivação em sua própria imagem corporal, e a partir desta visualização, ajusta seu próprio arranjo corporal, mantendo uma melhor postura e consequentemente atenuando a desordem.

Acredita-se que ao sobrepujar a imagem corporal do paciente com informações de angulação, velocidade, força e principalmente posição ideal para a execução do exercício, este poderá ser influenciado a apresentar melhores resultados. Desta forma, acelerar o processo de reabilitação ou mesmo evitar o abandono da terapia.

### **Análise Físico-Funcional do Paciente**

Para que o terapeuta recomende algum tipo de exercício na reabilitação da lombalgia mecânica é necessária uma avaliação de incapacidade de movimento. Para esta avaliação, comumente é usado um instrumento avaliativo em forma de questionário denominado de Questionário Roland-Morris<sup>(13)</sup>. Há também o questionário de Oswestry<sup>(14)</sup>.

Este questionário consiste em perguntas relativas às atividades da vida diária, as quais foram resumidas e adaptadas para as características culturais brasileiras sobre as dores lombares. As respostas das perguntas poderão ser dadas em medida de escala, a partir da Escala Visual Analógica (EVA) é possível identificar o nível de dor que o paciente possui ao responder o questionário.

Além da Análise das respostas ao questionário deve-se observar as variações do movimento do paciente durante a terapia. O Movimento pode ser classificado de acordo com a natureza do objeto (juntas e articulações) observado. O movimento rígido é aquele em que, dada uma variação de tempo, a distância entre dois pontos do objeto é sempre preservada. Já o articulado, é o movimento de um conjunto de elementos, envolvendo partes rígidas conectadas por ligações não rígidas<sup>(15)</sup>.

### **Redes Neurais Artificiais**

Quando um terapeuta observa a realização de um exercício, ele busca algumas características no corpo deste paciente: procura empiricamente estimar a força, velocidade e angulação do movimento. De modo a imitar este raciocínio é possível utilizar uma técnica de inteligência computacional denominada de Redes Neurais Artificiais (RNA).

Esta é uma técnica utilizada em resolução de problemas característicos da Inteligência Computacional (IC), tais como, previsão, classificação, reconhecimento de padrões e agrupamento (*clustering* de dados) inspirada no funcionamento do cérebro humano. As RNAs foram criadas não para imitar o funcionamento do cérebro, mas para ser um modelo de resolução de problemas não algorítmicos.

É muito comum o uso de RNAs na saúde, na forma de reconhecimento de padrões<sup>(16)</sup>. Destarte, os problemas de reconhecimentos de padrões são tratados como problemas de classificação. O que consiste em associar um conjunto de atributos (características) de entrada a uma determinada categoria ou classe (saída)<sup>(17)</sup>. Então, pode-se compreender que reconhecer padrões equivale a classificar determinado objeto ou situação como pertencente ou não a uma categoria ou grupo previamente

estabelecido.

Para esta classificação foi usado uma técnica de implementação de RNA denominada de *Perceptron* Multicamada (MLP – *MultiLayer Perceptron*), que é uma forma de arranjar *perceptrons* (neurônios artificiais) interligados em múltiplas camadas de promovendo a comunicação entre si, além de possuírem um alto grau de conectividade, cada uma delas está associada a um valor numérico chamado peso sináptico.

Tipicamente, uma MLP é constituída de uma camada de entrada que recebe os vetores de atributos, uma ou mais camadas intermediárias, compostas por neurônios somadores com função de ativação não-linear e uma camada de saída, também composta por neurônios somadores, que podem ser lineares ou não.

No intuito de solucionar um problema de classificação a dificuldade se insere na forma de apresentação dos dados. Em alguns casos a quantidade de dados, bem como a quantidade de atributos existentes pode aumentar significativamente o tempo de treinamento da rede ou até torná-lo inviável. Saber quais atributos são importantes para o bom treinamento e quais deles são irrelevantes é bastante importante para evitar situações de alta dimensionalidade.

Na formulação dos neurônios componentes da MLP desenvolvido para o sistema foi analisado as variações das amplitudes articular máxima e mínima, velocidade média do movimento, força aplicada e a idade do sujeito, todos são fatores de relevância para a notação da flexibilidade articular<sup>(18)</sup>.

A rede neural possui uma camada oculta responsável pela classificação e pela aprendizagem, com uma taxa de erro de  $10^{-5}$ , e um treinamento máximo de  $10^3$  iterações.

A MLP deve ser treinada com dados históricos para

encontrar os valores apropriados dos pesos sinápticos e o número de neurônios requeridos na camada escondida. Existem diversas formas de treinar uma rede neural do tipo MLP. Neste trabalho, a técnica de treinamento utilizada foi o algoritmo de retro propagação do erro (*backpropagation*). Como modelo de histórico, foram utilizadas as primeiras sessões de terapia de cada sujeito voluntário para treinar a rede e a partir da segunda sessão têm-se os pesos e as saídas iniciais fornecidas pelo fisioterapeuta.

## MATERIAIS E MÉTODO

O Sistema proposto para realizar as recomendações de exercício foi desenvolvido em Linguagem C#, utilizando como dispositivo de captura o sensor de movimento MS-Kinect™. Para o armazenamento de dados foi utilizado um sistema de banco de dados SQL, e a biblioteca de MoCap foi a MS-Kinect SDK 1.51.

Para comprovar a validade do sistema foi proposto um estudo observacional com 20 voluntários. Este, aprovado pelo comitê de ética local (registro 006/2012), apresentou um conjunto de 20 voluntários de ambos os sexos (8 homens e 12 mulheres) que foram avaliados durante 10 sessões de terapia e os critérios de inclusão foram indivíduos assintomáticos com idade entre 18 a 50 anos. Além dos voluntários para testar a técnica de MoCap foi aplicado uma pesquisa com 5 fisioterapeutas com pelo menos 3 anos de experiência no tratamento de dores lombares para creditar validade ao algoritmo de recomendação pela técnica observacional induzida, ou seja, a primeira seleção dos exercícios é realizada pelos fisioterapeutas a partir desta, as próximas são recomendadas de acordo com o desempenho dos sujeitos.

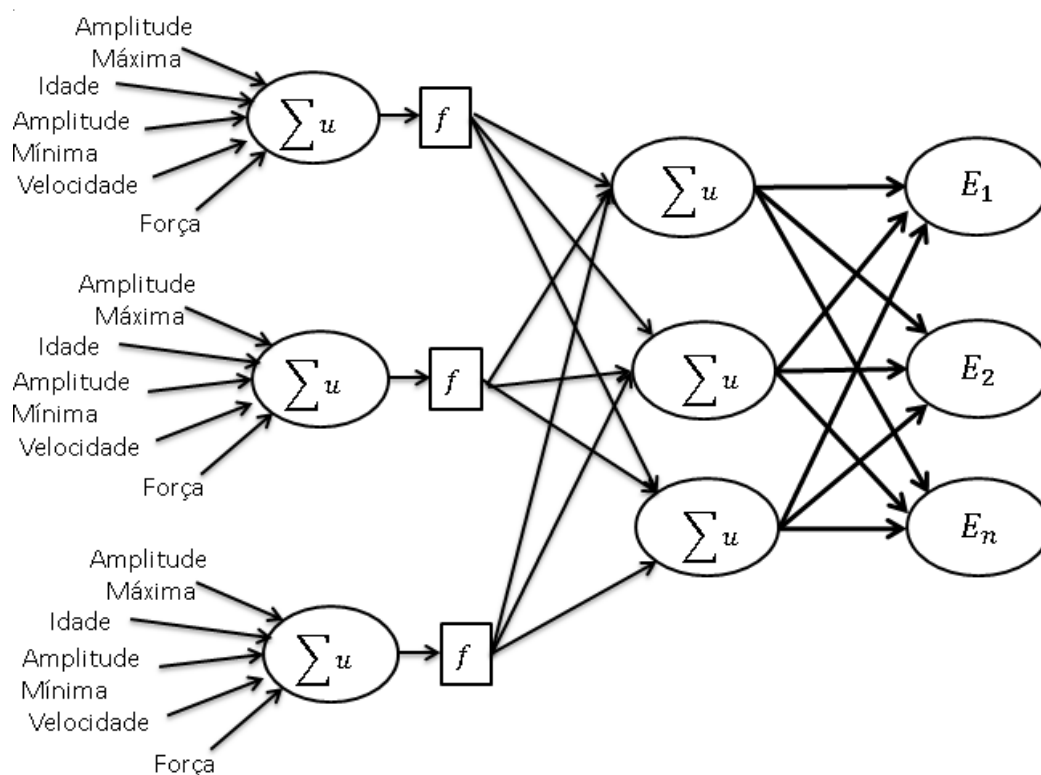


Figura 1 - Topologia da MLP para classificação e sugestão de exercícios

Todos os sujeitos responderam a um questionário inicial, no qual constavam dados pessoais (nome, idade, telefones para contato, sexo e profissão). Como critério de exclusão foi utilizado as diferenças assimétricas posturais relevantes, diferença de membros superiores e inferiores (maior do que 1 cm) e ocorrência de episódios de dor nos membros inferiores, superiores e na coluna lombar nos últimos três meses. Para a realização do estudo, foi solicitado que os sujeitos assinassem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, conforme resolução n.º 466/12 do Conselho Nacional de Saúde.

Em uma entrevista inicial são coletados os dados sobre peso, altura, pressão, tiradas as medidas da circunferência abdominal, quadril e cintura.

Realizou-se, então, a medida de massa corporal e estatura dos indivíduos. Os participantes do gênero

masculino são indivíduos sadios e de estatura média entre  $171,12 \pm 7,3$  cm de altura, com peso variando entre  $72,8 \pm 12,1$  Kg e idade média de  $23,7 \pm 3,9$  anos. Já as participantes do gênero feminino possuem média de altura de  $159,45 \pm 5,3$  e de peso variando entre  $54,8 \pm 7,3$  Kg e idade média de  $26,2 \pm 4,9$  anos.

No local de experimentação, a Iluminação é artificial, composta de 4 lâmpadas Philips fluorescente compacta de 26 W, que gera um fluxo luminoso de 1482 lm, deixando assim o ambiente bem iluminado para facilitar o processo de captura de movimentos.

O dispositivo de captura de movimento utilizado foi o sensor de movimento MS-Kinect que foi escolhido devido sua arquitetura que é formada por um projetor de luz infravermelha (invisível ao olho humano), uma câmera infravermelha, uma câmera RGB comum de

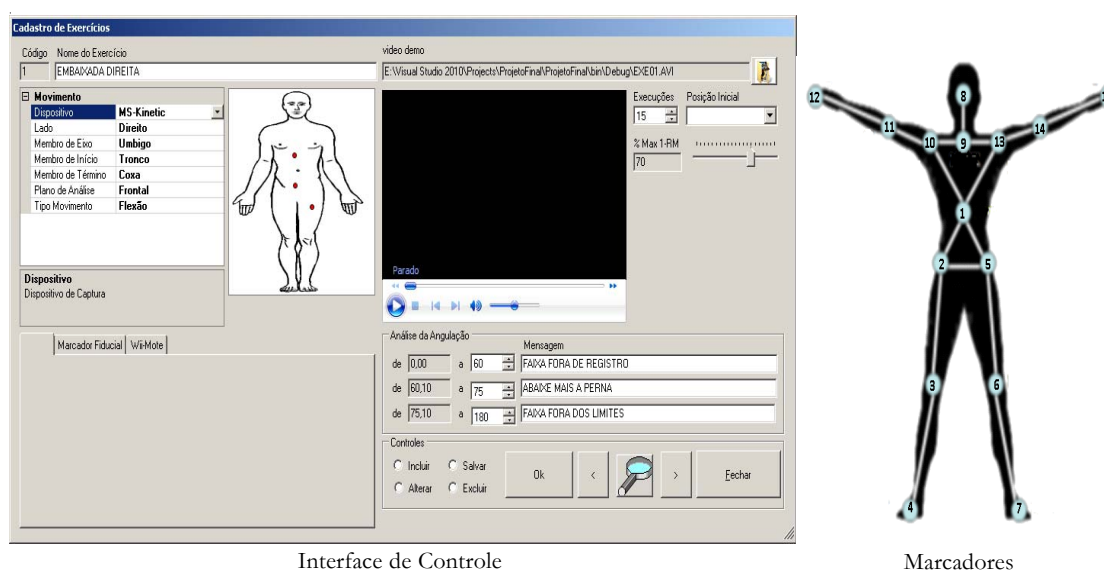


Figura 2 – Interface de Registro de Exercícios

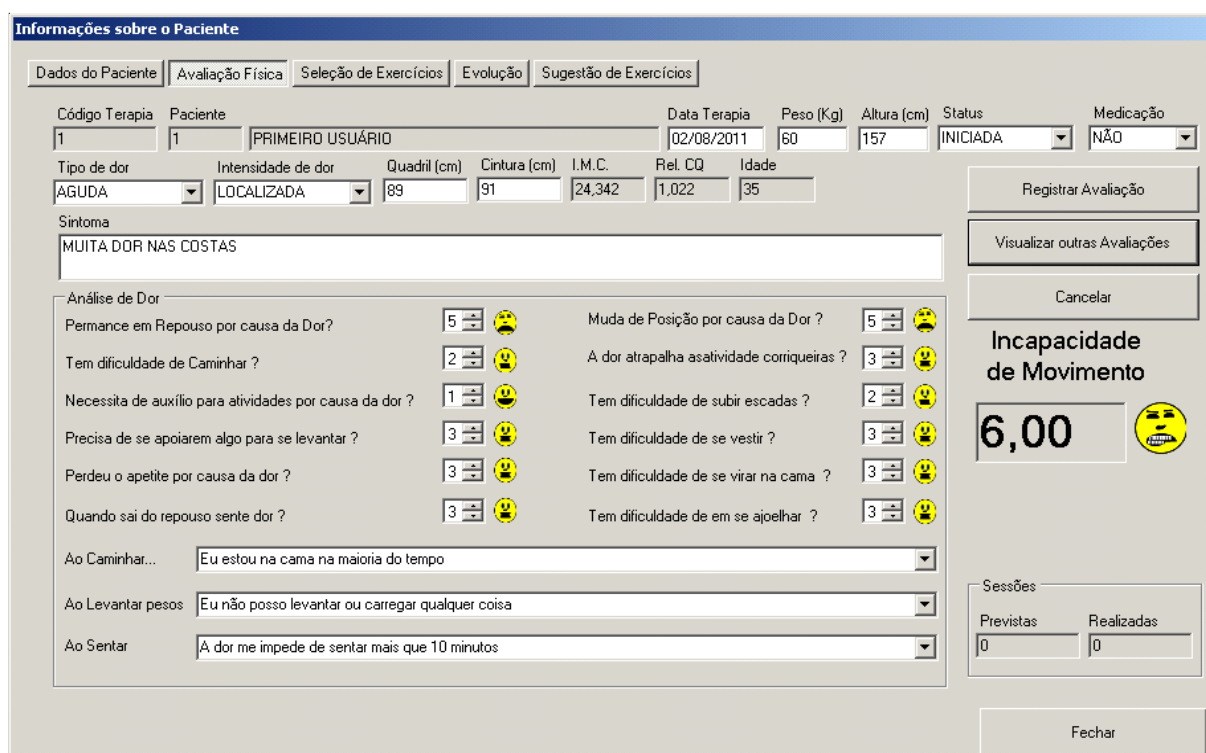


Figura 3 - Avaliação Física

resolução de 640 x 480 pixels, um conjunto de microfones e um motor de passo para controle de elevação da câmera e, que, portanto, oferece suporte às duas tecnologias de rastreamento, com marcadores fiduciais e sem marcadores.

O sistema de informação possui uma interface de controle baseado em dois tipos de metáforas, a primeira por apontador e a segunda por captura de movimento.

Os exercícios registrados no sistema são baseados no protocolo de tratamento de Willians (protocolo de Willians e Mackenzie), comumente indicado na reabilitação e estabilização da dor para pacientes de lombalgia mecânica<sup>(19)</sup>.

O funcionamento do sistema de informação para a captura dos dados de movimentação depende de alguns processos fundamentais, o primeiro deles é o registro dos exercícios adotados para a terapia. Mostrado na interface apresentada na Figura 2, é necessário indicar a relação dos membros que têm influência no exercício aos pontos que o dispositivo sensor MS-Kinect™ possui como ponto de captura. O dispositivo faz o acompanhamento e registro da informação de movimento no espaço de apenas 15 pontos no corpo para o rastreamento de corpo inteiro. Estes pontos são ilustrados na Figura 2b, e a partir deles, é possível a combinação de todos os pontos do corpo humano que sofrem ação e reação no movimento.

A interface solicita a inserção de ângulos de referência do movimento biomecânico para o exercício. Estes ângulos poderão ser definidos pelo usuário (fisioterapeuta), ou seguir as orientações atribuídas no ISB Standards, ou padrões da Sociedade Internacional de Biomecânica. Ademais, é requerida a posição inicial do movimento (frente, lado, deitado ou agachado) para que seja possível a configuração do padrão de movimento em relação ao eixo gravitacional.

O protocolo de tratamento Mackenzie e Willians possuem em comum 6 exercícios e ao todo são 13

exercícios, e, o sistema pode ser expansível para outros protocolos de tratamento dependendo do caso a ser tratado.

Após o registro de exercícios, passa-se a operar o sistema de forma a atender as necessidades terapêuticas dos pacientes voluntários, e de tal modo, é realizada uma entrevista de anamnese, na qual se é avaliada algumas características biométrica que poderão interferir na recomendação de exercícios. A primeira delas é a relação Cintura/Quadril, e o IMC (Índice de Massa Corporal), que atribuem, segundo a Organização Mundial de Saúde, um caráter de situação de saúde, que, caso o indivíduo não se enquadre nos padrões aceitos pela organização, tende a correr maior risco à saúde.

O sistema apresenta uma interface (Figura 3) que realiza esta anamnese, na qual foi identificada como Avaliação Física do paciente, e, é registrada uma nova avaliação para cada nova sessão de terapia. Nesta interface também é utilizado os questionários adaptados de Owestry e Rolland-Morris sobre as atividades da vida diária que não se pode realizar por causa da dor. Este é um questionário comumente aplicado para se definir a Incapacidade de Movimento, que é um índice que define o quanto o sujeito tem suas funções motoras comprometidas pela dor lombar baixa.

O grande desafio para se compreender a dor, inicia-se na sua mensuração, já que a dor é, antes de tudo, subjetiva, variando individualmente em função de vivências culturais, emocionais e ambientais.

Torna-se necessária uma abordagem multidimensional na avaliação dos atributos de dor, os quais incluem intensidade, duração e localização da dor. Estas características são somatossensoriais e emocionais e podem variar de paciente para paciente.

Para ser ter uma equidade entre os formulários convencionou-se no sistema a escala de valores de 0 a 6

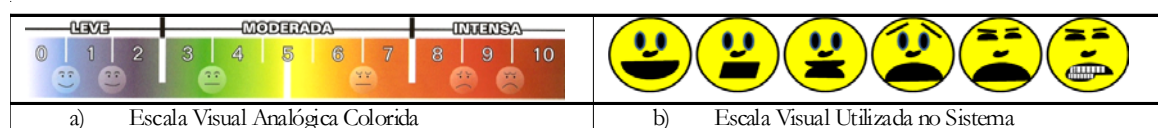


Figura 4 - Escala Visual de Avaliação

Informações sobre o Paciente

Dados do Paciente | Avaliação Física | Seleção de Exercícios | Evolução | Sugestão de Exercícios

Avaliação: 1 | Paciente: PRIMEIRO USUÁRIO | Carregar

Exercício: 4 | ALONGAMENTO INFERIOR ESQUERDO | Movimento: Flexão | Plano: Frontal | Lado: ESQ | Série de: 10 | Inserir

Código	Exercício	Movimento	Plano	Lado	Posição	Série
1	ALONGAMENTO INFERIOR ESQUERDO	Flexão	Frontal	ESQ		10
1	EMBAIXADA DIREITA	Flexão	Frontal	DIR	Frontal	10
1	ALONGAMENTO INFERIOR ESQUERDO	Flexão	Frontal	ESQ		10
1	ALONGAMENTO SUPERIOR ESQUERDO	Flexão	Frontal	ESQ	Sagital	10
1	SAY HELLO DIREITA	Adução Vertical	Frontal	DIR		10
1	ALONGAMENTO SUPERIOR ESQUERDO	Flexão	Frontal	ESQ	Sagital	10
1	SAY HELLO DIREITA	Adução Vertical	Frontal	DIR		10

Figura 5 - Seleção e Inclusão de Exercícios na Terapia

associados a uma EVA (Escala Visual Analógica) utilizando o padrão de cor mais quente para o sentido de dor e o padrão de cor fria para ausência de dor, ou a relação visual com os rostos mostrados na Figura 3. Esta escala (Figura 4) é um instrumento importante para verificar a cada avaliação a evolução do paciente, durante o tratamento de maneira mais fidedigna. É útil para poder analisar se o tratamento está sendo efetivo e quais procedimentos têm surtido melhores resultados. Desta forma, verificar se há alguma inconsistência no tratamento e ponderar sobre o grau de melhora ou piora da dor.

A partir das respostas dada na avaliação é atribuído um valor qualitativo representativo para a variável “InMov” (Índice de Incapacidade de Movimento), para o qual é realizado um cálculo (Equação 1), na qual se processa a média das respostas as perguntas do questionário de avaliação de dor auto percebida. Estas respostas estão em uma variação de 0 (sem dor) a 6 (dor insuportável). Como variável da equação é avaliada o índice de risco à saúde obtido pela relação cintura/quadril e o valor diferencial entre o estado ideal e atual do IMC.

$$InMov = \frac{(RCQ_{Atual} - RCQ_{ideal})}{IMC_{atual}} * Risco * \frac{\Sigma Resposta}{6} \quad (1)$$

Ainda na mesma interface, na aba “Seleção de Exercícios”, são agrupados os dados do exercício previamente cadastrado e sua inclusão na terapia do paciente, onde o terapeuta informa a série de execuções para que o sistema calcule o índice de recuperação e selecione pelo algoritmo de apoio à decisão, os próximos exercícios, ou mesmo, alteração na carga de repetição dos exercícios.

Para uma análise visual sobre os registros de movimento realizado pelo paciente durante a terapia, a aba “Evolução”, (Figura 6) mostra os ângulos de

amplitude de movimento (linha azul), e a velocidade de movimento (linha laranjada) e logo abaixo, a informação sobre a Faixa de Brzycki é informada.

A faixa de Brzycki é utilizada como parâmetro para se tomar a decisão sobre a quantidade de execuções dos exercícios, ou seja, é um sinalizador sobre o estresse físico que o paciente possivelmente estará sofrendo após uma nova execução do mesmo exercício. Para se obter a faixa de Brzycki é analisado a capacidade de um indivíduo repetir diversas vezes o mesmo exercício, considerando a velocidade de movimento, a resistência ao movimento (gravidade ou peso extra) em uma função de tempo<sup>(21)</sup>.

A partir da análise da captura de movimentos o sistema calcula o número de execuções válidas do exercício.

Este cálculo é realizado na variação da distância entre uma posição e outra dos membros associados ao exercício. Com base no cálculo da distância percorrida é possível se obter a velocidade do movimento em função do tempo (quadros capturados). Aplicando-se as Leis de Movimentos Lineares, é encontrado o valor da força relacionada ao movimento. Estas variáveis: velocidade, força, aceleração e distância percorrida, implicam diretamente na qualidade do exercício realizado.

Para acompanhar o resultado do tratamento é possível solicitar ao sistema um relatório de situação, pelo qual apresenta a relação direta entre as avaliações (anamneses) de cada início de sessão e sua expectativa de melhora, que é a diferença em percentual entre os índices InMov (Figura 7).

O sistema de recomendação é um módulo do sistema de informação, e pode ser acessado pela aba “Sugestão de Exercícios” (Figura 8), na qual o usuário terapeuta pode ter como sugestão a recomendação de exercícios, mediante as análises do perfil de outros pacientes com semelhança dos índices de IMC, Relação Cintura/Quadril, Peso, o InMov, e por fim, os dados sobre a amplitude de movimento obtida nos últimos exercícios.

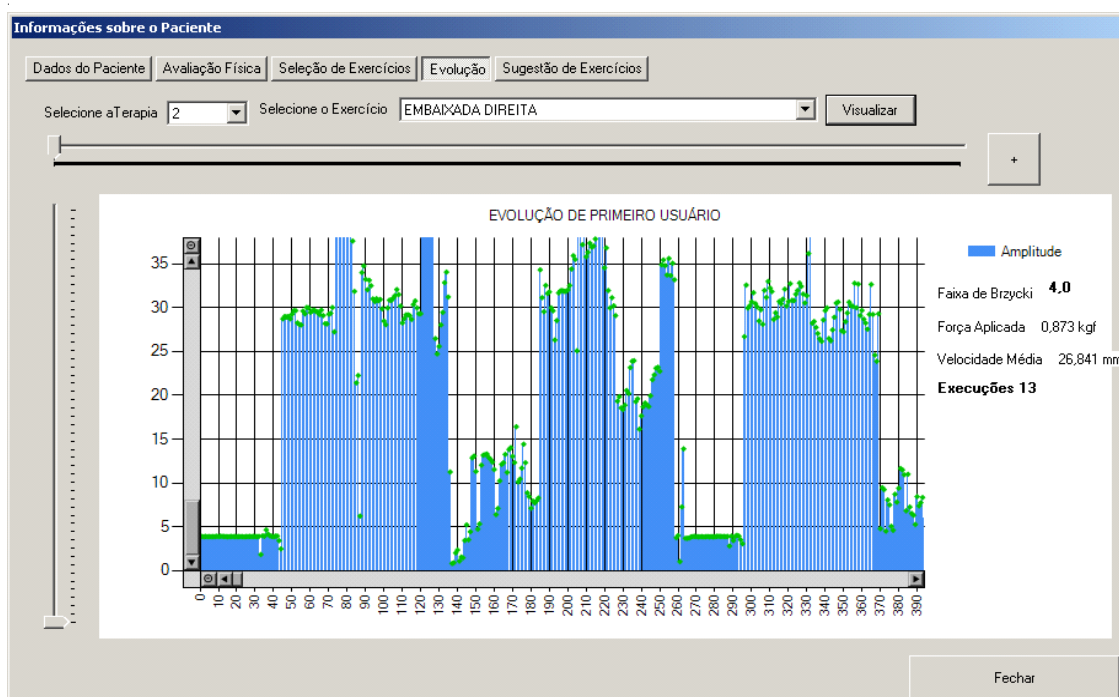


Figura 6- Visualização da Evolução dos Exercícios

A Figura 8 ilustra como é o funcionamento do algoritmo de recomendação. Os dados biométricos do paciente são avaliados para criar um perfil que é atualizado a cada exercício. Neste perfil são incorporados dados sobre a amplitude de movimento e a faixa de Brzycki durante a execução do exercício.

Os dados de amplitude de movimento de cada exercício, sua velocidade e força empregada no movimento são computados e analisados com o histórico

de outros pacientes de casos semelhante e então por comparação da lista de exercício são sugeridos novos exercícios. A interface da Figura 9 ilustra o módulo de recomendação de exercícios.

Neste módulo foram implementados algoritmos de apoio à decisão para sugerir ao terapeuta outros exercícios com cargas e séries para promover a terapia.

Para a sugestão do número de repetições a serem realizadas em cada exercício, foi aplicada a fórmula da

Acompanhamento de Casos Clínicos

Paciente: PRIMEIRO USUÁRIO    Nascido em: 25/10/1976    Gênero: MAS    Etnia: BRANCO    Visualizar    Fechar

Terapia	Terapia	Paciente: PRIMEIRO USUÁRIO	Expectativa de Melhora	48,28 %
2 INICIADA 02/04/2011	Sintoma: DOR NAS COSTAS Dor: LOCALIZADA Intensidade: LOCALIZADA Previstas 20 Realizadas 12	Cintura: 104,3cm Peso: 89,5 Kg	Quadril: 98,2 cm Altura: 177 cm	C/Q 1,06 I.M.C.: 28,57 I.I.M.: 7,89 Medicado: NÃO
3 TERMINADA 15/08/2011	Sintoma: MELHORA NA DOR NA REGIÃO LOMBAR Dor: SEM DOR Intensidade: SEM DOR Previstas 20 Realizadas 14	Cintura: 97,4cm Peso: 83,1 Kg	Quadril: 97,6 cm Altura: 177 cm	C/Q 1,00 I.M.C.: 26,52 I.I.M.: 4,32 Medicado: NÃO

Obs:  
I.I.M.: Índice de Incapacidade de Movimento, calculo de acordo com questionário ROLLAND & MORRIS (2002)  
I.M.C.: Índice de Massa Corporal.  
Expectativa de Melhora significa a provável involução da patologia

Figura 7 - Análise da evolução da patologia

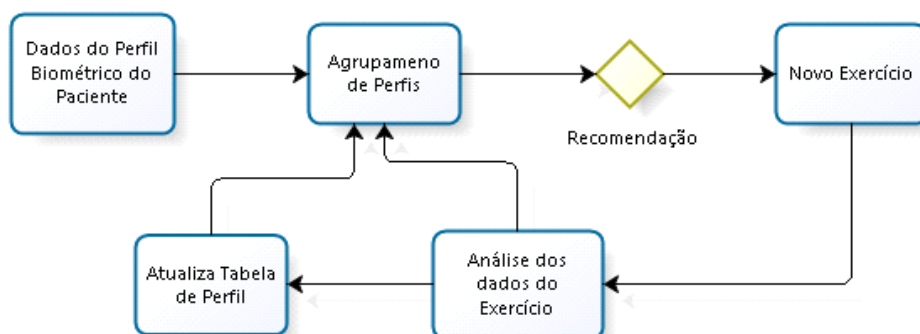


Figura 8 – Modelagem do processo de Recomendação de Exercício

Informações sobre o Paciente

Dados do Paciente    Avaliação Física    Seleção de Exercícios    Evolução    Sugestão de Exercícios

**Sugestão de Exercícios ao Paciente**

Código	Exercício	Músculo/Região	Série	Execu
4	ALONGAMENTO INFERIOR	PERNA / GLÚTEO / ABDOMÉM		7
2	ALONGAMENTO SUPERIOR	PERNA / GLÚTEO / ABDOMÉM		5

**Análise**  
Análise por: Estatística Elementar

**Exercício**  
Série (Nº): 10  
Carga Máxima: 3

**Paciente**  
Nome: EDUARDO  
Idade: 34  
Dor: SEM DOR  
Peso Atual: 1  
I.M.C.: 28,568  
Taxa de Incapacidade: 3,88

Nome do Paciente: \_\_\_\_\_

Aplicar    Fechar

Figura 9 - Interface de Sugestão de Exercícios ao Paciente



Equação 2. Se o número de repetições for inferior a 5, o exercício é removido da lista.

$$\text{Repetições} = \frac{\sum \text{Execuções} * \text{Velocidade Média}}{\text{Peso Extra} * \text{Média de Força Estimada}} \quad (2)$$

### RESULTADOS

Os resultados apresentados nesta sessão foram colhidos mediante assinatura do termo de livre consentimento e de forma a manter a identidade dos participantes foram tomadas algumas precauções (distorção de rosto) nas imagens.

O módulo de MoCap do sistema de informação é apresentado em funcionamento por três usuários de teste

realizando exercícios selecionados por um fisioterapeuta (Figura 10). A biblioteca MS-Kinect deu suporte ao desenvolvimento de um esqueleto humanoide virtual para a identificação da posição do corpo dos usuários e a partir desta identificação são aferidos os movimentos articulares requeridos.

Após a execução dos exercícios na primeira sessão da terapia os dados foram processados os dados dos exercícios. Foram analisados 6 exercícios da base de dados que é composta por 13 exercícios. Foi desconsiderada a lateralidade (esquerda ou direita, frente e traz) dos exercícios.

Foi assumida a primeira sessão de exercícios e a partir desta o sistema gerou novos exercícios para que a amplitude de movimento dos sujeitos da pesquisa fosse

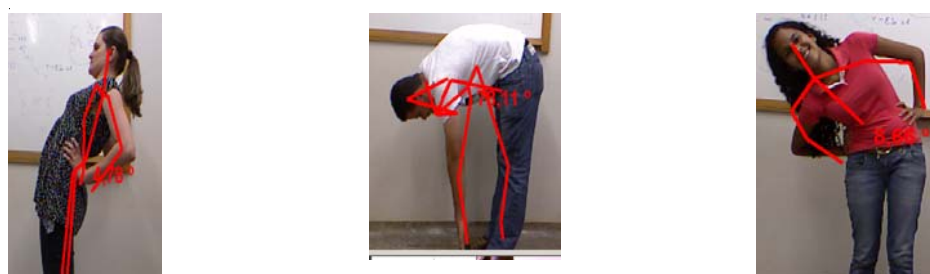


Figura 10 – Esqueleto Humanoide Virtual associado a imagem do paciente

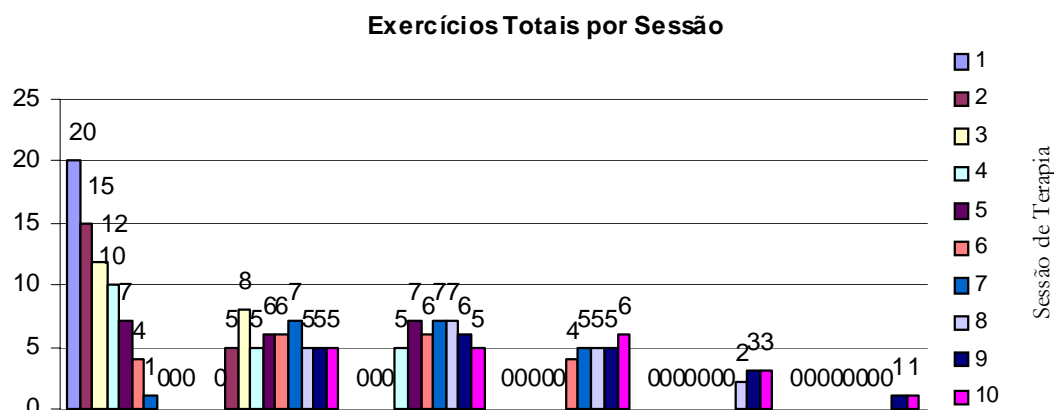


Figura 11 – Número de Exercícios por Sessão de Terapia

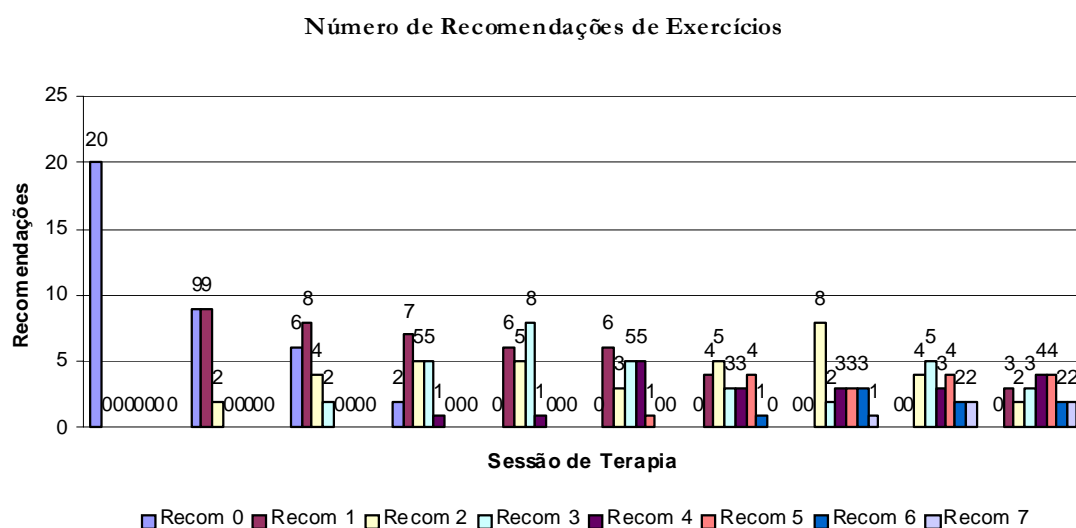


Figura 12 – Número de Recomendações Aceitas pelos terapeutas por Sessão

reestabelecida de acordo com os índices aceitos na literatura para o tratamento da lombalgia mecânica.

A Figura 11 evidencia que nas 10 sessões de terapia proposta no protocolo de tratamento é possível encontrar uma média entre 7 a 9 exercícios totais (realizados), lembrando que para início da terapia são propostos 6 exercícios possíveis.

É percebido que, de acordo com o desempenho dos sujeitos na terapia, o número de exercícios totais ofertados pelo sistema é incrementado devido ao cálculo de recomendação de exercício em pelo menos 1 novo exercício a cada sessão. Esta inclusão, mesmo sendo muito pequena, foi bem aceita pelos terapeutas pois não causa um estresse físico ou incidência de fadiga, promovendo um condicionamento físico, todavia este condicionamento é mais lento que o método tradicional que força o sujeito a realizar uma quantidade predeterminada de exercícios.

Quanto ao número aceito de recomendações, evidenciado na Figura 12, mostra que o algoritmo produz uma aceitação da recomendação de pelo menos 39% dos exercícios sugeridos a partir da segunda sessão de terapia. Novos testes serão realizados para comprovar que a recomendação pode chegar a índices maiores de aceitabilidade pelos terapeutas.

É percebido também que como todo algoritmo de aprendizado de máquina, quanto maior o volume de dados e a quantidade de execuções, maior é a confiabilidade da resposta, ou seja, quanto mais perfis de sujeitos realizando a terapia, maiores as chances de se possuir uma recomendação com altos índices de aceitabilidade.

A aceitabilidade da recomendação dos exercícios ficou próximo aos 53% dos exercícios para uma terapia de apenas 10 sessões, necessitando também de novos estudos para a aplicabilidade do algoritmo em situações nas quais os pacientes sofreram trauma ou dor.

## DISCUSSÃO

Os registros em saúde têm muito a oferecer no que diz respeito à informação, conhecimento e gerenciamento de dados. Porém, na área da fisioterapia há muito que fazer; são poucos os registros de estudos relacionados à fisioterapia.

Um estudo realizado por Mazini et. al<sup>(22)</sup> mostra que a reabilitação está evoluindo para fora da terapia tradicional, por isso há importância de estudos práticos para a comprovação da eficiência desse novo modelo de reabilitação.

O sistema desenvolvido teve como objetivo analisar os movimentos dos pacientes durante a terapia e recomendar novos exercícios ou adaptar a resistência pelo incremento de peso ao exercício.

Com o uso cada vez mais comum de sensores em produtos de tecnologia, tais como vídeo games, celulares, computadores e inúmeros outros, a sua aplicação dentro

dos limites da fisioterapia se comprovou eficaz. Não apenas pela tecnologia envolvida para captura de movimentos, mas também, pela forma de trazer um apoio a execução de exercícios e como uma segunda opinião para o terapeuta.

O sistema apresentou um forte indicativo de aceitabilidade dos terapeutas em suas atividades para condução de exercícios reabilitadores. O potencial deste sistema é a sua capacidade de propor novos exercícios, todavia, sua fragilidade está ligada a limitação da computação de não poder criar ou combinar exercícios pré-existentes, deixando este processo para o terapeuta.

Considerando que as abordagens tradicionais se baseiam na observação direta dos terapeutas, o sistema computacional oferece uma forma mais elaborada para a qualificação de exercícios durante a terapia e seu efetivo registro. Assim como os sistemas computacionais tradicionais encontrados na indústria, este sistema utiliza-se do histórico do perfil dos pacientes para a recomendação. Mesmo por ser uma técnica inovadora, alguns terapeutas refutaram sua aplicação devida apenas a percepção tradicional do profissional e a recusa tecnológica.

Todavia, para estes profissionais incluídos na pesquisa o sistema apresentou recomendações muito próximas dos mesmos exercícios que eles iriam recomendar para a patologia. Outra importante informação é a capacidade do sistema de informar ao terapeuta e ao paciente uma perspectiva de melhora da doença, baseada em um controle estatístico e pela resposta a anamnese realizada a cada nova sessão.

## CONCLUSÃO

A tecnologia de captura de movimentos em realidade aumenta emerge com uma variedade de benefícios para os aspectos da avaliação de recuperação, tratamento e investigação. A investigação e a compreensão dessa tecnologia serão cruciais para a efetiva integração na reabilitação. O uso de sistemas de recomendação ainda está incipiente para a área de fisioterapia, demandando mais pesquisas sobre suas aplicações nesta fronteira. A definição e o perfeito conhecimento dos movimentos reabilitadores são valiosos para analisar a funcionalidade motora e possível resgate de suas funções perdidas, por isso, o sistema deve estar sempre abastecido de novos exercícios.

Os valores apresentados demonstram que não houve homogeneidade nos grupos, sendo que esta falta de homogeneidade pode ser atribuída à variação individual. E por fim, os terapeutas poderão dispor de um sistema capaz de auxiliá-los no diagnóstico de posturas, acompanhar tratamento por meio de dados, tendo assim uma ferramenta adicional para mensurar a flexibilidade e/ou acompanhar a melhora de um paciente.

## REFERÊNCIAS

- Burke JW, Morrow PJ, McNeill MDJ, McDonough SM, Charles DK. Vision based games for upper-limb stroke rehabilitation. *International Machine Vision and Image Processing Conference*; 2008 Sep 3-5; Coleraine, Northern Ireland. University of Ulster; 2008.
- De Mauro A. Virtual reality based rehabilitation and game

- technology. *eHealth Biomed Aplic Vicom*. 2011;1:48-52.
3. Rahman S, Shaheen A. Virtual reality use in motor rehabilitation of neurological disorders: a systematic review. *Middle-East J Sci Res*. 2011;7(1):63-70.
  4. Nunes FLS, Costa RMEM da, Machado LS dos, Moraes RM de. Realidade virtual para saúde no Brasil: conceitos, desafios e oportunidades. *Rev. Bras. Eng. Biom*. 2011; 27(4):243-58.
  5. Benito GAV, Licheski AP. Sistemas de informação apoiando a gestão do trabalho em saúde. *Rev Bras Enferm*. 2009;62(3):447-50.
  6. Cassiani SHB, Freire CC, Gimenes FRE. A prescrição médica eletrônica em um hospital universitário: falhas de redação e opiniões de usuários. *Rev Esc Enferm USP*. 2003;37(4): 51-60.
  7. Colmenero-Ferreira F, Oliveira AA de. Os sistemas de recomendação na web como determinantes prescritivos na tomada de decisão. *J Inform System Technol Manag*. 2012;9(2):353-68.
  8. Damasceno EF, Cardoso A, Lamounier EA. Augmented Biophotogrammetry. *Proceedings of the 2011 XIII Symposium on Virtual Reality*. IEEE Computer Society; 2011 May 23-26; Washington, DC, USA; 2011. p. 48-55.
  9. Loss JF, Haas AN, Bonezi A, Cantergi D, Oliveira Melo M de, Silva YO da. EMG analysis of a pilates exercise. In: Steele C. *Applications of EMG in Clinical and Sports Medicine*. INTECH Open Access Publisher; 2012.
  10. Dias RS, Sampaio ILA, Taddeo LS. Fisioterapia XWII/: a introdução do lúdico no processo de reabilitação de pacientes em tratamento fisioterápico. In: VIII Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment; 2009 Oct 8-10; Rio de Janeiro, RJ. Brasil.
  11. Ponte C. Lombalgia em cuidados de saúde primários. *Rev Portug Med Geral e Familiar*. 2005;21(3):259-67.
  12. Helfenstein M, Goldenfum MA, Siena C. Lombalgia ocupacional. *Rev Assoc Med Bras*. 2010;56(5):583-9.
  13. Tsukimoto GR. Avaliação longitudinal da Escola de Postura para dor lombar crônica: através da aplicação dos questionários Roland Morris e Short Form Health Survey (SF-36) [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina; 2006.
  14. Tahara N, Gatti AC, Rafachino ECB, Walsh IAP. Efeitos de um programa educacional e de exercícios fisioterapêuticos na avaliação da dor e da capacidade funcional em indivíduo com lombalgia: relato de caso. *Arq Ciênc Saúde Unipar*. 2008;12(1):61-6.
  15. Cirne VNA. Análise de posturas e de movimento com recurso a um método de análise de imagem [dissertação]. Porto (PT): Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia; 2013.
  16. Weitzel L, Oliveira J. Sistemas de recomendação de informação em saúde baseado no perfil do usuário. *Anais do XII Congresso Brasileiro de Informática em Saúde*; 2010 Out 18-22; Porto de Galinhas (PE). Sociedade Brasileira de Informática em Saúde; 2010.
  17. Bonato P. Advances in wearable technology and applications in physical medicine and rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil*. 2005;2(1):2.
  18. Begg R, Marimuthu P, editors. *Computational intelligence for movement sciences: neural networks and other emerging techniques*. Australia: IGI Global; 2006.
  19. Rosario JL, Marques AP, Maluf AS. Aspectos clínicos do alongamento: uma revisão de literatura. *Rev Bras Fisioter*. 2004;8(1):83-8.
  20. Webb J, Ashley J. *Beginning Kinect Programming with the Microsoft Kinect SDK*. EUA: Apress; 2012.
  21. Rainville J, Hartigan C, Martinez E, Limke J, Jouve C, Finno M. Exercise as a treatment for chronic low back pain. *Spine J*. 2004;4(1):106-15.
  22. Mazini Filho ML, Rodrigues BM, Reis ACRS, Zanella AL, Pace Júnior RL, Matos DG. Análise do teste de uma repetição máxima no exercício supino para predição da carga. *Braz J Biom*. 2010;4(1):57-64.