

## **Design e avaliação de um Jogo Sério voltado para Reabilitação de Membros Superiores e Inferiores**

Tiago de Souza Araújo

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica –  
PPGEE  
Universidade Federal do Pará – UFPA  
Marabá, Brasil  
tiagobethel@unifesspa.edu.br

Manoel Ribeiro Filho

Instituto de Geociências e Engenharias - IGE  
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará –  
UNIFESSPA  
Marabá, Brasil  
manoelrib@unifesspa.edu.br

**Resumo**—A área de reabilitação fisioterapêutica visa sempre melhorar a qualidade de vida dos pacientes, porém o processo de tratamento fisioterapêutico pode ser considerado tedioso e cansativo. Diante disso, os Jogos Sérios se apresentam como ferramenta de auxílio no processo de recuperação de pacientes submetidos a tratamentos fisioterapêuticos. O objetivo deste artigo é descrever o processo de *design* e avaliação de um jogo sério voltado para reabilitação de membros superiores e/ou inferiores. O Desenvolvimento do jogo contou com a participação de 2 profissionais da área de domínio (1 fisioterapeuta e 1 terapeuta ocupacional) e com a participação de 4 pacientes que se encontravam em tratamento fisioterapêutico. A avaliação do jogo sério desenvolvido, GAFT, foi feita utilizando a métrica *System Usability Scale* (SUS), na qual foi verificado o atendimento dos critérios: facilidade de aprendizagem do jogo (82,03), eficiência do jogo (86,46), nível de inconsistências (87,50), satisfação do usuário (81,25) e facilidade de memorização (78,13). O *score* SUS foi de (84,38). Foi utilizado também o instrumento *Serious Exergame Utility - Questionnaire* (SEU-Q) para avaliação da percepção de utilidade do JS, o qual ajudou a identificar importantes aspectos relacionados aos benefícios do uso do JS proposto.

**Keywords**—jogos sérios; realidade virtual; fisioterapia; *game design*.

### I. INTRODUÇÃO

Os jogos estão normalmente associados aos conceitos de diversão e entretenimento, mas eles também podem ser desenvolvidos e aplicados para auxiliar na resolução de problemas. Os chamados Jogos Sérios (JS) se apropriam do caráter lúdico e do engajamento que os jogos promovem para auxiliar no treinamento de pessoas, na simulação de ambientes reais ou ainda no tratamento de pacientes que precisam de reabilitação motora [1].

Com base no avanço tecnológico e no crescente uso dos jogos virtuais, clínicas de fisioterapia estão aderindo ao uso de jogos como elemento motivador no processo de reabilitação de pacientes, processo este que conforme afirmação de [2], tende a ser desestimulante por conter exercícios que, em sua maioria, são repetitivos e tediosos.

É necessário que as execuções dos exercícios propostos sejam efetuadas de forma correta, levando em consideração a amplitude do movimento e a limitação que o paciente possui por conta da lesão. Diante disso, os JS emergem como forma de auxílio, tanto no estímulo para a

execução dos exercícios quanto para a verificação da correta execução dos movimentos fisioterápicos.

Com vista ao desenvolvimento de um JS que atenda a real necessidade de pacientes, é necessário que haja o engajamento de especialista de domínio, os quais poderão auxiliar na produção da ferramenta. Utilizando *Design Participativo* (DP) para entender quais fatores afetam o uso do JS, o qual deve ser avaliado a fim de obter *feedback* dos especialistas e dos pacientes.

Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver os componentes e etapas de *game design* de um JS direcionado para reabilitação fisioterapêutica de membros superiores e/ou inferiores e avaliar os aspectos de usabilidade e interatividade do JS desenvolvido.

Este trabalho está dividido da seguinte forma: Na seção II está descrito a fundamentação teórica, na seção III são apresentados os trabalhos relacionados a temática, na seção IV é apresentado o *game design* do jogo, na seção V são apresentadas as etapas utilizadas no desenvolvimento e avaliação do jogo e na seção VI é feita a discussão acerca do jogo proposto.

### II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### A. Reabilitação de Lesões dos Membros Superiores ou Inferiores

As lesões ocorridas em membros superiores ou inferiores podem ser oriundas de traumas ligados a acidentes domésticos, de trânsito, de trabalho, dentre outros. Em certos casos o paciente fica com seus movimentos temporariamente limitados, sendo necessário a realização de tratamento fisioterapêutico para recuperação da função motora do membro afetado.

Essas lesões ocorrem devido ao rompimento de tendões e ligamentos que exerceram esforços acima da força normal, sendo necessário o tratamento que se baseia na proteção, repouso, compressão e elevação [3].

A intervenção baseia-se na necessidade que cada indivíduo possui, levando em consideração a natureza e a extensão da lesão, visando a melhoria da condição funcional do paciente na realização das suas atividades diárias.

Os protocolos de exercícios realizados assemelham-se a dos atletas com foco no aumento da força muscular da área lesionada. Existem diversos tipos de treinos que auxiliam nesse processo de recuperação e fortalecimento,

levando em consideração os três planos referenciais que o movimento humano se baseia: Plano Sagital, plano Frontal ou Coronal e o plano Transversal.

A figura 1 apresenta os três planos que dimensionam o corpo humano, os quais norteiam a localização e posicionamento do corpo humano.

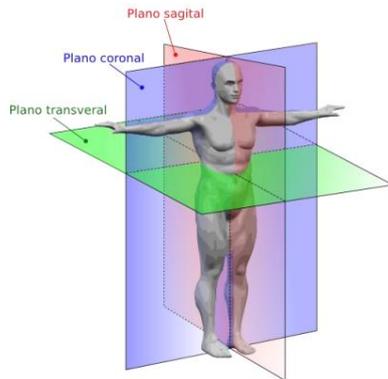


Figura 1. Planos referenciais do corpo humano

Cada estágio dos movimentos disponibilizados no jogo é validado, a fim de verificar se o movimento foi realizado de forma correta, levando em consideração a sua amplitude. A pontuação é atribuída somente após o paciente ter realizado todos os movimentos que compõem o exercício.

### B. Jogos Sérios

Os Jogos Sérios (JS) são direcionados não apenas para o entretenimento, mas também para o ensino e treinamento [4], tendo o propósito de educar ou treinar/desenvolver alguma habilidade.

Jogos sérios são jogos que além de se voltarem para o entretenimento, intencionalmente transmitem algum conhecimento ao jogador simulando práticas, a fim de propiciar melhorias em decisões críticas de pessoas e treinamento profissional [5].

Os jogos sérios podem ser utilizados em vários segmentos tais como jogos para publicidade, jogos para educação e treinamento, jogos de simulação, jogos jornalísticos e jogos para saúde [1]. O presente trabalho direciona o foco para área da saúde, na qual os jogos podem ser utilizados no tratamento médico, educação sobre saúde, reabilitação motoras, entre outras.

Na área da saúde, JS são importantes por serem capazes inserir mecanismos de entretenimento ao regime terapêutico convencional, onde o jogador deve desenvolver as habilidades necessárias para progredir a níveis mais avançados, provendo também ferramentas de acompanhamento da evolução do paciente [6].

### C. Design Participativo

O Design Participativo (DP) baseia-se em incorporar os usuários e especialistas à equipe de desenvolvimento [7], possibilitando a participação destes nas etapas de construção e testes da aplicação [8]. Dessa forma, torna-se possível extrair e analisar informações durante todo o processo de desenvolvimento, incorporando à ferramenta,

elementos que atendam a necessidade da área de aplicação.

O presente trabalho utilizou DP no *Game Design* com intuito de guiar o processo de concepção do Jogo Sérico (JS) proposto pelos autores.

Nesse contexto, foram utilizadas metodologias que envolveram especialistas de domínio, os quais puderam participar do projeto e avaliação do JS apresentado nesse trabalho.

### D. Game Design

1) *Promoção do Envolvimento de Especialistas de Domínio (PEED)[9]*: Objetiva integrar ao desenvolvimento de JS algumas pessoas com conhecimento técnico sobre uma determinada área, os quais poderão participar do desenvolvimento do projeto de forma interativa, contribuindo na construção do JS e avaliando se os recursos disponibilizados no ambiente virtual para os jogadores atendem a necessidades reais de aprendizado ou treinamento/desenvolvimento.

Através deste método, o JS evolui a partir de *feedbacks*, ajustando as estruturas conceituais (técnicas e métodos responsáveis por direcionar o funcionamento do JS) com vistas a tornar o jogo capaz de atender as demandas relacionadas as atividades dos profissionais da área que o JS está inserido.

São necessários no mínimo três atores (*stakeholders*) envolvidos no processo de desenvolvimento de um JS [9]:

- Equipe Técnica de Desenvolvimento (ETD): É formada por estudantes, praticantes ou profissionais das áreas de arte, música, engenharia, computação, dentre outros, sendo estes, responsáveis pelo *design* visual, mecânicas e jogabilidade, realizam codificação do jogo e definem os recursos tecnológicos que serão utilizados no JS que se pretende desenvolver;
- Usuários Finais Entendidos (UFE): São os pesquisadores, profissionais, praticantes, estudantes diretamente relacionados ao domínio, dentre outros, os quais são responsáveis por definir e delimitar o foco dos conceitos e conteúdos que serão apresentados aos Jogadores Finais Aprendizes;
- Usuários Finais Aprendizes (UFA): São os usuários que efetivamente jogarão o JS através do processo de interação homem-máquina, possibilitando o aprendizado de algum conceito ou treinamento/desenvolvimento de alguma habilidade.

O PEED direciona que a ideia inicial do projeto parte do ambiente acadêmico (ETD), no qual é feita a integração dos UFEs.

### 2) *Serious Exergame Utility - Questionnaire (SEU-Q)[10]*:

SEU-Q é um instrumento para avaliar a percepção de utilidade de JS[10]. A avaliação tem por objetivo identificar quanto o jogo atende as expectativas dos usuários, tanto dos jogadores finais (UFA) quanto dos especialistas (UFE), avaliando a qualidade do jogo e sua aplicabilidade profissional.

O presente trabalho utilizou uma versão atualizada pelos autores do SEU-Q, a qual possui perguntas mais claras e uma melhor distinção entre as características do jogo, separando-as em 3 subgrupos de afirmações. O primeiro subgrupo é composto pelas questões (1 a 9), que são voltadas para a visão do jogador (UFA), o segundo subgrupo é composto pelas questões (10 a 18), que são voltadas para a visão do profissional (UFE) e o terceiro grupo é composto por 3 questões discussivas, onde o participante poderá apontar vantagens, desvantagens e sugestões para melhorias do jogo, totalizando 18 questões objetivas e 3 discussivas.

A versão atualizada faz uso da escala de *Likert* [11], na qual cada participante pode selecionar uma opção de resposta entre 1 a 5, onde 1 significa “discordo completamente” e 5 significa “concordo completamente”.

3) *System Usability Scale (SUS)*[12]: Se baseia em um questionário composto por 10 perguntas, no qual, o participante assinala sua resposta seguindo a escala de *Likert* [12]. De acordo com [13] é possível reconhecer os componentes de qualidade indicados por Nielsen nas questões do SUS, que são:

- Eficácia: Avalia o desempenho de uma tarefa tendo como foco a análise da velocidade de execução e quantidade de erros;
- Aprendizagem: Avalia como os usuários assimilam os comandos disponibilizados no jogo;
- Flexibilidade: Avalia a capacidade de adaptação a novas tarefas além das já especificadas no jogo;
- Atitude: Avalia o desempenho com relação ao conforto ou satisfação do usuário ao utilizar o jogo;
- Facilidade de Memorização: Avalia como o jogo disponibiliza ao usuário elementos que oportunize a possibilidade de lembrar da forma de utilização do jogo.

SUS é uma escala fácil de administrar, possui boa confiabilidade e referências que auxiliam na interpretação de seu *score* [14].

Após o preenchimento da SUS, calcula-se a pontuação total. Para calcular o *score*, primeiro é somado o *score* de cada item que contribui em uma escala de 1 a 5. Para os itens 1, 3, 5, 7 e 9, o *score* individual é a nota recebida menos 1. Para os itens 2, 4, 6, 8 e 10, a contribuição é 5 menos a nota recebida. Multiplica-se a soma de todos os *scores* por 2,5 e assim é obtido o valor total do SUS [14].

Após a pontuação e o cálculo do *score*, é possível fazer a classificação do sistema avaliado [15]:

- 20,5 (piores resultados imagináveis);
- 21 a 38,5 (resultados pobres);
- 39 a 52,5 (resultados medianos);
- 53 a 73,5 (resultados bons);
- 74 a 85,5 (resultados excelentes);
- 86 a 100 (melhores resultados imagináveis).

4) *Game Design Document (GDD)* [16]: É um documento que apresenta detalhadamente todas as características do jogo, contendo detalhes de jogabilidade, enredo, personagens, cenário, sons e regras do jogo. A falta dele pode ocasionar problemas sérios de *design*, falta

de recursos e dificuldades de corrigir eventuais problemas [17].

O GDD possui três funções [18]:

- Registro: Suprir as limitações da memória humana, servindo para conter todas as decisões e definições relacionados ao jogo;
- Comunicação: Serve como uma base de referência a ser consultada pela equipe durante o desenvolvimento;
- Concretização de um conceito: Fazer com que o leitor entenda o funcionamento do jogo.

Existem vários modelos de GDDs propostos na literatura [19] [20], porém, de acordo com a pesquisa não há um modelo amplamente utilizado, visto que cada modelo possui características voltadas para a área em que é focado.

#### E. Captura Óptica de Movimentos

Algumas das tecnologias usadas para a captura de movimento existem desde a década de oitenta, sendo utilizadas em aplicações com propósitos médicos e militares [21].

Os JS têm lançado mão dessas tecnologias com objetivo de produzir maior interação dos jogadores com o ambiente virtual, trazendo a sensação de maior realidade dos movimentos dos personagens virtuais, inserindo-se como elemento motivador no processo interativo.

No entanto, vale ressaltar que os grandes sistemas de captura óptica requerem um considerável investimento financeiro, não sendo acessível para a grande maioria da população.

Diante desse contexto, observou-se a possibilidade da utilização do sensor Kinect Xbox 360 como dispositivo de captura óptica de movimentos, o qual representa uma tecnologia de baixo custo para os estudantes e profissionais e possibilita a interação do jogador em tempo real.

O Kinect possui um hardware que oferece diversos recursos para auxiliar no processo de reconhecimento de gestos e voz, os principais são: emissor de luz infravermelho, câmera RGB, sensor infravermelho, eixo motorizado e um conjunto de microfones dispostos ao longo do sensor [22]

A figura 2 apresenta a estrutura geral do Kinect e seus componentes.

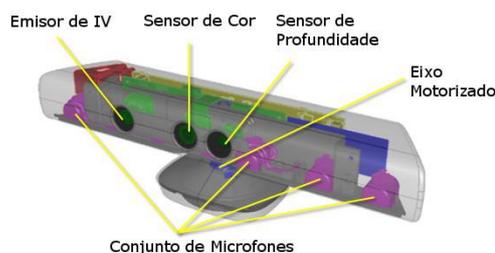


Figura 2. Kinect e seus componentes

### III. TRABALHOS RELACIONADOS

#### A. *GestureCollection*

*GestureCollection* [23] é formado por 3 jogos (*GesturePuzzle*, *GestureChess* e *GestureMaps*) que objetivam oferecer estímulos cognitivos utilizando captura ótica de movimentos e processo interativo para auxiliar no tratamento fisioterapêutico de membros superiores e inferiores.

Os jogos utilizam o sensor Kinect Xbox 360 como interface natural, possibilitando ao jogador, através de gestos, interagir com o ambiente virtual.

O jogo *GesturePuzzle* é um jogo de quebra-cabeça onde o jogador movimenta as peças por meio dos movimentos das mãos. Já o jogo *GestureChess* simula um jogo de xadrez no qual as duas mãos são utilizadas de forma simultânea para movimentar as peças do jogo, focando na coordenação motora dos membros superiores.

O jogo *GestureMaps* foca em exercícios para os membros inferiores onde o jogador pode caminhar (marcha estacionária) no mapa gerado pela ferramenta Google Street View.

#### B. *Kinerehab*

O jogo *Kinerehab* [24] direcionou o foco para pessoas com deficiência motora e que apresentavam limitações na coordenação motora, força e amplitude do movimento.

A interatividade proposta pelos autores utiliza o sensor Kinect Xbox 360 como interface natural para captura de gestos do jogador e os movimentos utilizados no jogo foram direcionados apenas para reabilitação dos membros superiores. O jogo apresentava uma baleia cantora e o jogador deve realizar movimentos com os braços em forma de círculo, quanto mais preciso o movimento, mais alto é o canto da baleia.

O jogo não possibilita o registro dos dados gerados pelas interações, não sendo possível verificar a evolução do paciente.

#### C. *Arvre*

*Arvre* [25] é um conjunto de 4 mini games, sendo 2 voltados para reabilitação motora e 2 para reabilitação cognitiva. Foi utilizado o sensor Kinect Xbox 360 para realizar a captura dos movimentos do jogador.

Os exercícios são personalizáveis, cabendo ao profissional selecionar quais exercícios determinado paciente realizará.

Ao final de cada exercício é apresentada a performance do jogador, métricas podem registradas e posteriormente avaliadas por profissional da área de domínio.

O conjunto de mini games não contou no processo de produção com a participação de UFE e também não foi avaliado por UFA.

#### D. Comparação

Foi feita uma comparação dos jogos relacionados, objetivando definir as funcionalidades que a proposta de jogo pudesse herdar dos trabalhos relacionados e apresentar inovações. A tabela I apresenta as principais funcionalidades do jogo proposto neste artigo.

TABELA I. COMPARATIVO DAS FUNCIONALIDADES DOS JOGOS

Funcionalidade	<i>GestureCollection</i>	<i>Kinerehab</i>	<i>ARVRE</i>	<i>GAFT</i>
Utiliza captura de movimentos?	Sim	Sim	Sim	Sim
Jogo desenvolvido com a participação de UFE?	Não	Não	Não	Sim
Jogo foi avaliado por UFA?	Sim	Sim	Não	Sim
Os exercícios são configuráveis para cada paciente?	NI*	NI*	Sim	Sim
O desempenho do UFA é registrado e armazenado?	NI*	Não	Sim	Sim

\*NI – Não Informado

Nenhum dos jogos tiveram a participação de UFE durante o processo de desenvolvimento e apenas o jogo *ARVRE* apresentou opção de configuração de exercícios personalizados, levando em consideração a função motora do membro a ser reabilitado.

O jogo proposto neste artigo, o Game de Apoio Fisioterapêutico (*GAFT*), utiliza o sensor Kinect Xbox 360 para captura de movimentos em tempo real, conta com a participação de UFE no processo de produção e avaliação e com a participação de UFA na etapa avaliação final do jogo.

### IV. GAME DESIGN DO *GAFT*

O Game de Apoio Fisioterapêutico foi concebido com objetivo de possuir utilidade para os UFE, inserindo a participação de profissionais da área de fisioterapia e terapia ocupacional no processo de concepção do jogo, os quais puderam propor a forma de interação que melhor se adequasse aos pacientes.

Foi apresentado também a necessidade de personalização dos exercícios, levando em consideração as especificidades de cada paciente.

Diante das demandas levantadas através dos UFE, o projeto observou as seguintes premissas:

- 1) Possuir relevância científica e contribuir em pesquisas do segmento;
- 2) Apresentar produto que contenha inovação tecnológica;
- 3) Tema do jogo oriundo do ambiente acadêmico;
- 4) Não possuía inicialmente a participação de UFEs;

A partir do contexto apresentado, foi feito a elaboração da primeira versão do GDD, o qual possuía informações sucintas e objetivas. A partir das interações ocorridas com os UFE, foram feitas adequações do projeto, inserindo requisitos que não estavam sendo inicialmente considerados e melhorando a estética e a forma de interação do JS. Considerando os ajustes propostos, foi feita uma nova versão do GDD, contendo a participação de profissionais da área.

### A. Game Design Document (GDD)

O JS proposto foi produzido utilizando as seguintes especificações:

**Objetivo:** Auxiliar na recuperação fisioterapêutica dos membros superiores e inferiores;

**Hardware:** Sensor Kinect Xbox 360, o qual é capaz de identificar até 48 pontos do corpo humano e processar os dados em tempo real com o uso de emissor e sensor infravermelho.

**Software:** GAFT é um jogo sério digital 3D, desktop, que objetiva inserir elementos motivacionais no processo de reabilitação de membros superiores e/ou inferiores e que dispõem de recursos capazes de auxiliar o terapeuta no acompanhamento da evolução do paciente.

#### Condições Obrigatórias:

- 1) Auxiliar nas sessões de fisioterapia de membros superiores e/ou inferiores;
- 2) Uso sempre acompanhado por um profissional;
- 3) Uso por crianças e adultos;
- 4) Uso individual (um paciente de cada vez);
- 5) Lista de exercícios configurável e direcionada para cada paciente;
- 6) Jogo 3D para obtenção de interação mais realista;
- 7) Deve armazenar dados de cadastro e desempenho do paciente;
- 8) Pontuação considera a lista de exercícios (desafios) realizados pelo jogador.
- 9) Deve possuir *feedback* visual das atividades realizadas pelo profissional (cadastro e seleção de exercícios) e pelo jogador (exercícios e pontuação).

#### Restrições:

- 1) Não fadigar o paciente;
- 2) Não exigir esforços inadequados

**O jogo:** O GAFT simula um ambiente de academia (elementos visuais e sonoros), onde o jogador tem por objetivo realizar os exercícios anteriormente cadastrados pelo profissional. Antes do início da execução de cada exercício, é apresentado ao jogador um pequeno vídeo contendo tutorial do exercício que deve ser executado para que o jogador tenha conhecimento prévio do(s) membro(s) que será(ão) utilizado(s) e da amplitude do movimento. O jogo também possui *feedback* visual para o jogador (nome do jogador, cronometro, quantidade de repetições feitas, quantidade de repetições a serem feitas e pontuação adquirida).

**Navegabilidade:** Se for a primeira vez que o paciente está jogando, é necessário que ele seja cadastrado pelo profissional, caso contrário, o paciente está apto para iniciar o jogo. O profissional poderá selecionar na lista de pacientes cadastrado, qual paciente que irá jogar. A figura 3 apresenta a naveabilidade do jogo.

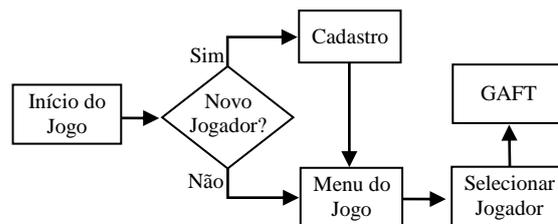


Figura 3. Naveabilidade do GAFT

**Jogabilidade:** O personagem virtual 3D reproduz em tempo real os movimentos realizados pelo paciente, possibilitando a interação entre o paciente e o personagem virtual.

**Mecânicas:** É apresentado ao paciente o exercício que deve ser executado e a quantidade de repetições, à medida que o paciente realiza determinado exercício, o jogo disponibiliza o próximo exercícios cadastrado pelo profissional. Os exercícios são personalizáveis, possibilitando ao profissional criar lista direcionada para cada paciente e acompanhar a sua evolução.

#### Requisitos Funcionais:

- 1) Provê meios de gerenciamento dos pacientes através de um cadastro com informações básicas, sendo possível a qualquer momento, a realização de edição/atualização das informações cadastradas;
- 2) Dispor de um sistema de desafios que objetivam incentivar o paciente a realizar as atividades fisioterapêuticas de maneira interativa;
- 3) Utilizar mecanismo de captura de movimentos do jogador/paciente em tempo real, o qual é mapeado para o ambiente virtual e reproduzido pelo personagem do jogo;
- 4) Registrar desempenho do paciente na utilização do jogo;
- 5) Dispor de opção para emissão de relatórios contendo as informações de desempenho dos pacientes no uso do jogo.

#### Requisitos Não Funcionais:

- 1) Possuir tempo de resposta do jogo não deve ultrapassar a média de 1 segundo;
- 2) Possuir interface simples e amigável, na qual deverá ser considerado aspectos de usabilidade e deve ser desenvolvido na língua portuguesa.
- 3) Dispor de mecanismo de dicas/ajuda, proporcionando tanto ao profissional quanto ao paciente a possibilidade de auto aprendizado do uso do jogo.

**Dados capturados:** Todos os dados capturados pelo jogo são armazenados em arquivo no formato CSV. O jogo captura os seguintes dados: Informações básicas do paciente (nome, endereço, telefone, idade e sexo); lista de exercícios (por paciente); Início do jogo (data e hora); fim do jogo (data e hora); duração da execução de um exercício; duração da execução da lista de exercício proposto ao paciente.

**Pontuação:** Os pontos são contabilizados à medida que o paciente realiza cada exercício levando em consideração o tempo e a exata execução do movimento

proposto, iniciando com os exercícios mais simples (movimentos com menor amplitude) até os mais difíceis (movimentos com maior amplitude).

V. DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO GAFT

O desenvolvimento e avaliação do GAFT foi dividido em 3 etapas e contou com o engajamento de dois UFE (1 fisioterapeuta e 1 terapeuta ocupacional) em todas as etapas com vistas ao dimensionamento do escopo e os ajustes que poderiam ocorrer durante a construção do jogo.

A figura 4 apresenta as etapas estabelecidas para o projeto.

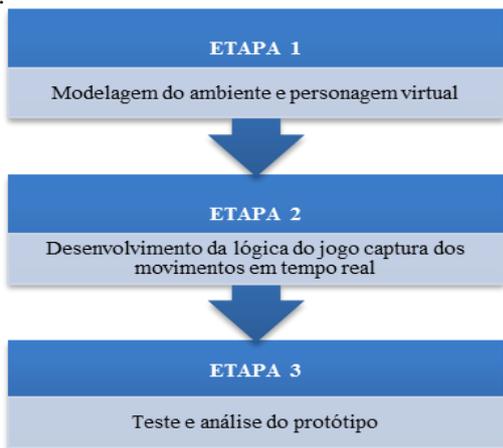


Figura 4. Etapas do desenvolvimento e avaliação do GAFT

A. Etapa 1 – Modelagem do ambiente e personagem virtual

O ambiente virtual foi modelado no software de código aberto UPBGE [26], o qual simula uma academia, objetivando produzir no paciente a sensação de estar em um ambiente não clínico ou hospitalar, nesse ambiente o paciente poderá interagir com o personagem virtual através de seus movimentos. A figura 5 apresenta a tela principal do jogo.

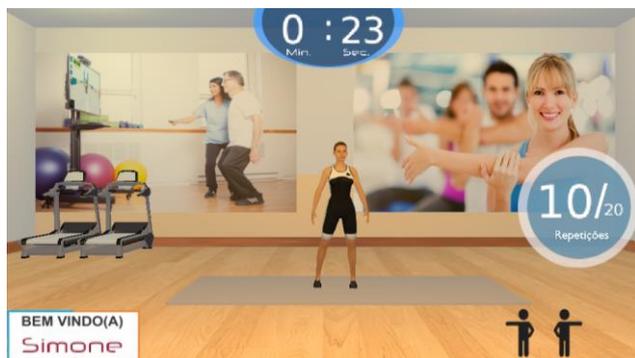


Figura 5. Tela principal do jogo

É apresentado na tela principal do jogo, *feedback* visual das ações que deverão ser realizadas pelo jogador assim com o seu desempenho.

O personagem virtual foi modelado no software de código aberto Makehumam 1.1.1 [27], onde foram adicionadas roupas e estrutura óssea. Posteriormente, o

personagem foi exportado para o software UPBGE 0.2.4 para realização do mapeamento das restrições ósseas a fim de reproduzir os movimentos capturados pelo sensor Kinect.

Foi de suma importância a participação dos UFE nessa etapa, os quais puderam sugerir ajustes no ambiente modelado e no personagem virtual.

B. Etapa 2 – Desenvolvimento da lógica do jogo e captura de movimentos

Na etapa 2 foi discutido com os UFE quais movimentos poderiam ser utilizados no jogo para compor os desafios. Foi verificado a necessidade de inserção de movimentos que focasse na cinesiologia humana e a condição individual de cada paciente, levando em consideração o membro a ser reabilitado.

Dessa forma, os exercícios ficaram subdivididos nos planos do corpo humano. A tabela II apresenta os planos e os tipos de exercícios utilizados.

TABELA II. TIPOS DE EXERCÍCIOS UTILIZADOS NO JOGO

Plano	Membros Superiores	Membros Inferiores
Sagital	Extensão e flexão de ombros e cotovelos	Extensão e flexão de quadril e joelho
Coronal ou Frontal	Abdução e adução de ombros e cotovelos	Abdução e adução de quadril e joelho
Transversal	Rotação de ombros e cotovelos	Rotação de quadril e joelho

A figura 6 apresenta exemplo de exercício que o paciente realizará utilizando os membros superiores com movimentos no plano frontal ou coronal.

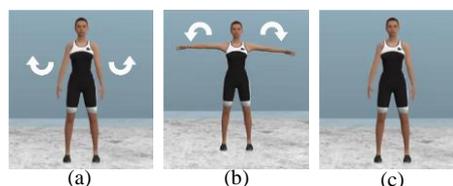


Figura 6. Exemplo de exercício

No exemplo apresentado na figura 6 é possível observar que o exercício possui 3 estágios. A figura a) apresenta o estágio 1 onde o paciente se posiciona com os braços estendidos e paralelos ao tronco, a figura b) apresenta o estágio 2 no qual o paciente eleva os dois braços até a altura dos ombros, formando 90 graus e a figura c) apresenta o estágio 3 no qual o paciente retorna os braços a posição inicial do movimento.

A partir dos dados gerados pelo sensor Kinect, foi feito o mapeamento dos pontos (juntas) do personagem virtual no UPBGE, adicionando ao personagem virtual controladores de articulações, possibilitando controlar os movimentos de um conjunto de articulações que possuem nível de parentesco, tornando os movimentos mais suaves e realísticos. Foi utilizando o software NI Mate 2.12 (versão *trial*) como *middleware* entre o sensor Kinect e o ambiente virtual do UPBGE, possibilitando o processamento da imagem de profundidade e integrando o

ambiente real com a *game engine* do UPBGE. Foi utilizando o protocolo de comunicação *Open Sound Control* (OSC) para transferências das informações das articulações, o qual fornece controle em tempo real do processamento de som e outras mídias, mantendo-se flexível e de fácil implementação, no caso deste trabalho, o protocolo foi utilizado para processamento de imagem

A partir da definição dos movimentos selecionados para serem utilizados no jogo, foi utilizada a linguagem de programação *python* e os recursos disponíveis na *game engine* do UPBGE para desenvolvimento da lógica do jogo.

Tendo sido efetuada a captura de movimentos do personagem virtual, foi construída lógica para validar a pontuação do jogador a partir dos exercícios realizados, ficando a critério do profissional o cadastro da lista de exercícios que cada paciente deve realizar bem como a quantidade de repetições de cada exercício. A medida que o paciente realiza os exercícios, o personagem virtual reproduz os movimentos no ambiente virtual, sendo considerado cada acerto como um ponto e em cada série executada o paciente acumula a pontuação, na qual é considerado o tempo que o paciente levou para concluir o desafio.

Quando o paciente finaliza todos os exercícios proposto pelo profissional, o jogo apresenta a tela contendo um vídeo parabenizando-o pelo desempenho, onde é apresentado a pontuação final e o tempo que o paciente gastou para concluir os desafios.

Cada vez que o paciente utiliza o jogo, seus dados de desempenho são armazenados em arquivo, possibilitando ao profissional realizar o acompanhamento da evolução do paciente através de gráficos e tabelas.

**C. Etapa 3 – Avaliação do design do jogo**

O JS proposto foi avaliado por 2 UFE (1 fisioterapeuta e 1 terapeuta ocupacional) e por 4 UFA que se encontram em tratamento fisioterapêutico para reabilitação de membros superiores e/ou inferiores no hospital municipal da cidade de Rondon do Pará, estado do Pará.

A figura 7 apresenta um dos UFA utilizando o JS proposto.



Figura 7. Paciente utilizando o GAFT

Foi utilizado o *Serious Exergame Utility - Questionnaire* (SEU-Q) para avaliar a percepção de utilidade de JS desenvolvido e identificar quanto o jogo atende as expectativas dos usuários. O questionário foi aplicado tanto para UFAs quanto para UFEs, os quais após o encerramento da sessão, puderam avaliar aspectos do jogo relacionados à qualidade e aplicabilidade.

Foi utilizado também a *System Usability Scale* (SUS) para avaliação do jogo nos critérios relacionados à facilidade de aprendizagem do jogo, eficiência, nível de inconsistência, satisfação do usuário e facilidade de memorização. O questionário foi aplicado tanto para UFA quanto para UFE após o encerramento da sessão. O tempo total estimado para responder o questionário foi de cinco a dez minutos.

Foi feito encontro com os UFE e os UFA com objetivo de avaliar o JS proposto. O encontro seguiu o seguinte roteiro: 1) apresentação do jogo; 2) utilização do jogo pelos UFA e pelos UFE; 3) aplicação do SEU-Q e do SUS e; 4) discussão livre.

**1) Resultados da aplicação do SEU-Q**

Através da análise dos resultados da aplicação do SEU-Q, obtiveram-se os indicadores de média, mediana, moda e desvio padrão das perguntas objetivas. Nas perguntas discursivas, identificou-se as conclusões mais relevantes que indicavam vantagens, desvantagens e sugestões para o jogo desenvolvido.

Na Tabela III é apresentado os resultados obtidos da aplicação do SEU-Q, considerando a visão dos UFE e dos UFA. Para análise dos resultados, foram destacadas as maiores e as menores notas dos indicadores do questionário, sendo a cor verde atribuída para as questões que obtiveram as maiores notas e a cor vermelha para as que obtiveram as menores notas.

TABELA III. RESULTADOS DO SEU-Q (QUESTÕES 1 A 8)

		Questão	Média	Mediana	Moda	DP*
Visão dos Jogadores (UFA)	Interação	1	4,29	4,00	5,00	0,76
		2	3,86	4,00	4,00	0,69
		3	4,14	4,00	4,00	0,69
	Feedback	4	4,29	4,00	4,00	0,76
		5	4,57	5,00	5,00	0,79
		6	4,29	4,00	4,00	0,76
	Motivação	7	3,86	4,00	4,00	0,69
		8	4,57	5,00	5,00	0,53
		9	4,86	5,00	5,00	0,38
Visão dos Profissionais (UFE)	Interação	10	4,29	4,00	5,00	0,76
		11	4,14	4,00	5,00	0,90
		12	4,14	4,00	4,00	0,69
	Feedback	13	4,29	5,00	5,00	0,95
		14	3,86	4,00	4,00	0,69
		15	3,57	3,00	3,00	0,79
	Motivação	16	4,57	5,00	5,00	0,79
		17	4,57	5,00	5,00	0,53
		18	5,00	5,00	5,00	0,00

\*DP – Desvio Padrão

Ao analisar os resultados do grupo visão dos UFA, destacam-se Q8 (sobre o interesse dos UFA na atividade profissional com jogo) e Q9 (sobre o engajamento dos UFA) com os melhores indicadores. Os resultados indicam que o jogo produzido possui aspectos motivacionais relevantes.

Sobre os resultados do ponto de vista dos UFE, destacam-se Q17 (sobre a facilidade de adoção do jogo no cotidiano da atividade profissional) e Q18 (sobre os benefícios do jogo para a atividade profissional), as quais

apresentaram as melhores médias. Ressaltando a Q18 que obteve a nota máxima em todas as avaliações. Com base nos resultados obtidos, percebe-se que o jogo proposto possui relevante utilidade para os UFE participantes da pesquisa.

A Q15 (sobre aspectos da segurança para o jogador e o profissional utilizar o jogo na atividade profissional) apresentou a pior média. Foi verificado nas repostas das questões discursivas que parte dos participantes possuem “receio” na utilização de tecnologia, não visualizando no uso de ferramentas tecnológicas a oportunidade de melhoria dos processos tradicionais.

Durante as discussões, foi sugerido a inserção de mais exercícios, possibilitando ao UFE a seleção de uma lista de exercícios mais completa para cada paciente.

Sobre as questões discursivas, os benefícios e vantagens mais citados foram:

- A interação do jogo (paciente e personagem virtual).
- O feedback visual disponível.
- A autonomia do paciente para execução dos exercícios (sem auxílio do profissional).

Com relação às dificuldades ou desvantagens do uso do jogo foram citados:

- O “receio” do uso de tecnologia em atividades profissionais.

## 2) Resultados da aplicação do SUS

Através das respostas obtidas pelos UFA e pelos UFE, foi possível verificar a pontuação atribuída a cada critério proposto para análise, permitindo identificar oportunidades de melhorias, da usabilidade do jogo proposto.

A figura 8 apresenta os percentuais das respostas obtidas na aplicação do SUS, os quais estão distribuídos por questão e opção de respostas.

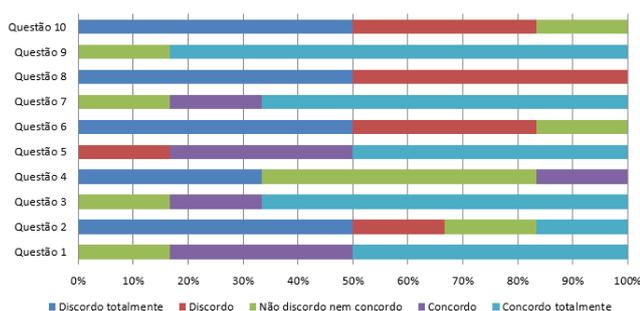


Figura 8. Resultado do SUS em Percentuais

Observa-se que as questões ímpares (1, 3, 5, 7 e 9) possuem maior percentual de resposta positivas (Concordo ou Concordo totalmente) e as questões pares (2, 4, 6, 8, e 10) possuem maior percentual de respostas negativas (Discordo totalmente ou Discordo). Este fato está diretamente ligado a natureza do SUS, no qual, as perguntas ímpares são de cunho positivo, exemplo: “acho que gostaria de usar esse jogo com frequência” e as

perguntas pares são de cunho negativo, exemplo: “considerarei o jogo muito complicado de utilizar”.

A Tabela IV apresenta os resultados do SUS obtidos em cada questão, os quais correspondem a visão dos UFEs e dos UFAs. Os resultados das questões foram ponderados para escala de 0 a 100.

TABELA IV. RESULTADOS DO SUS

	Questão	Score por Questão
Visão dos Jogadores (UFAs)	1	81,25
	2	56,25
	3	81,25
	4	56,25
	5	68,75
	6	75,00
	7	87,50
	8	87,50
	9	87,50
	10	81,25
		<b>Score Final</b>
Visão dos profissionais (UFEs)	1	87,50
	2	100,00
	3	100,00
	4	75,00
	5	100,00
	6	100,00
	7	87,50
	8	87,50
	9	100,00
	10	87,50
		<b>Score Final</b>

Para verificar o atendimento do objetivo proposto na presente pesquisa, foi utilizada a relação proposta por [13] entre os componentes de qualidade indicados por Nielsen e as questões do SUS:

- **A facilidade de aprendizagem do jogo:** A facilidade de aprendizagem está representada pelas questões 3, 4, 7 e 10 do SUS. A média dos resultados dessas questões é 82,03, uma pontuação que de acordo com a classificação proposta por [15] é considerado um resultado excelente. Portanto, podemos concluir que os tanto os UFE quanto os UFA apresentaram facilidade em aprender a dinâmica e funcionalidade do jogo.

- **A eficiência do jogo:** As questões 5, 6 e 8 estão relacionadas a eficiência do jogo proposto. Analisando a média, foi obtido resultado 86,46. Resultado que de acordo com a classificação utilizada, pode ser considerado como melhor resultado imaginável, levando a conclusão que os participantes da pesquisa consideraram o jogo eficiente.

- **As inconsistências do jogo:** As inconsistências ou minimização dos erros são identificadas por meio da questão 6, cuja pontuação média foi de 87,50, sendo considerado como resultado imaginável, transparecendo o baixo nível de inconsistências apresentados no jogo.

- **A satisfação dos usuários:** A satisfação dos usuários está representada pelas questões 1, 4 e 9. A média dos resultados dessas questões foi de 81,25, sendo classificado como excelente resultado. Dessa forma, é possível concluir que os usuários se sentiram confortáveis ao utilizar o jogo proposto.

• **A Facilidade de memorização:** Este componente é avaliado pela questão 2 e sua pontuação foi de 78,13. O resultado é considerado excelente, ressaltando que os usuários foram capazes de realizar os desafios propostos no jogo sem a necessidade de reaprendizado. Resultado que está relacionado aos mecanismos de ajuda disponibilizados no jogo.

## VI. CONCLUSÕES

Foi produzido um Jogo Sérioso direcionado à reabilitação de membros superiores e/ou inferiores, onde o profissional poderia cadastrar, selecionar e acompanhar a evolução de cada paciente. O jogo proposto utilizou Metodologia Participativa, inserindo a participação de UFE no processo de desenvolvimento e avaliação.

O jogo apresentado contou com a participação de 2 UFE (1 fisioterapeuta e 1 terapeuta ocupacional), as quais avaliaram e propuseram ajustes e melhorias no jogo. Houve também a participação de 4 UFA, os quais puderam utilizar e avaliar a *design* do jogo proposto.

Os dados gerados em cada interação foram armazenados em arquivos no formato CSV e disponibilizado para o profissional através de gráficos e tabelas, onde foi possível acompanhar a evolução de cada paciente.

O Game de Apoio Fisioterapêutico (GAFT) foi avaliado pelos UFE e pelos UFA, utilizando duas métricas (SEU-Q e SUS) e obteve resultados relevantes nos aspectos e critérios relacionados a usabilidade e interatividade do jogo, atingindo o objetivo deste artigo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da Universidade Federal do Pará, aos profissionais que estão envolvidos no projeto e ao Hospital Municipal de Rondon do Pará (setor de terapia), pela parceria na execução do projeto.

## REFERÊNCIAS

- [1] S. F. F. Filho and P. M. Jucá, “Uso de Jogos Sérios para Auxiliar na Reabilitação Motora de Pacientes com Espondilite Anquilosante,” XIV Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital, pp. 919–925, 2015.
- [2] V. G. Balista, “PhysioJoy: Sistema de Realidade Virtual para Avaliação e Reabilitação de Déficit de Motor,” XII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital, pp. 16–20, 2013.
- [3] G. Leporace, L. Metsavaht and S. M. M. Mello, “Importância do treinamento da propriocepção e do controle motor na reabilitação após lesões músculo-esqueléticas,” Acta Fisiátrica, vol. 16, n. 3, pp. 126–131, 2016.
- [4] M. Zyda, “From visual simulation to virtual reality to games,” Computer, vol. 38, n. 9, pp. 25–32, 2005, doi: 10.1109/MC.2005.297.
- [5] L. S. Machado *et al.*, “Serious Game Baseados em Realidade Virtual para Educação Médica,” Revista Brasileira de Educação Médica, vol. 35, n. 2, pp. 254–262, 2011, doi: 10.1590/S0100-55022011000200015.
- [6] E. H. Farias *et al.*, “MOLDE - A Methodology for Serious Games Measure-Oriented Level Design,” XIII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital, pp. 29–38, 2014.
- [7] H. C. de Oliveira *et al.*, “Uma metodologia participativa para o desenvolvimento de jogos sérios,” XV Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital, pp. 455–463, 2016.
- [8] M. J. Muller, J. H. Haslwanter, and T. Dayton, “Participatory practices in the software lifecycle,” Handbook of Human-Computer Interaction (Second Edition), North-Holland, pp. 255–297, 1997, doi: 10.1016/B978-044481862-1.50129-1.
- [9] W. D. F. Rutes, H. C. de Oliveira and M. da Silva Hounsell, “PEED: Uma Metodologia para Promoção do Envolvimento de Especialistas de Domínio em Projetos Acadêmicos de Jogos Sérios,” XIV Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital, pp. 447–454, 2015.
- [10] R. B. Schroeder, M. da Silva Hounsell, “SEU-Q – Um Instrumento de Avaliação de Utilidade de Jogos Sérios Ativos,” I Simpósio Latino-Americano de Jogos, pp. 136–145, 2015.
- [11] R. Likert, “A technique for the measurement of attitudes,” Archives of Psychology, vol. 22, n. 140, pp. 1–55, 1932.
- [12] J. Brooke SUS, “A quick and dirty usability scale,” Usability evaluation in industry, CRC Press, 1996, doi: 10.1201/9781498710411
- [13] J. M. Tenório *et al.*, “Desenvolvimento e Avaliação de um Protocolo Eletrônico para Atendimento e Monitoramento do Paciente com Doença Celíaca,” Revista de Informática Teórica e Aplicada, vol. 17, n. 2, pp. 211–200, 2010, doi: 10.22456/2175-2745.12119.
- [14] P. T. Kortum and A. Bangor, “Usability ratings for everyday products measured with the System Usability Scale,” International Journal of Human-Computer Interaction, vol. 29, n. 2, pp. 67–76, 2013, doi: 10.1080/10447318.2012.681221.
- [15] A. Bangor, P. Kortum and J. Miller, “Determining what individual SUS scores mean: adding an adjective rating scale,” Journal of Usability Studies, vol. 4, n. 3, pp. 114–123, 2009.
- [16] J. Novak, “Game Development Essentials: an introduction. Cengage Learning (3rd edition),” Cengage Learning, 2012.
- [17] T. L. A. Machado, “Game live logs: uma plataforma de conversação para atenuar conflitos no desenvolvimento de games,” Dissertação (Dissertação em Ciências da Computação) Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 2013.
- [18] L. J. Souza, A. F. Mittelbach, A. M. Neves, “Estudo de Formatos Alternativos para Documentação de Game Design,” IX Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital, pp. 41–49, 2010.
- [19] R. Rouse III, “Game design: Theory & Practice (1st edition),” Wordware Pub, 2001.
- [20] P. Schuytema, “Design de Games: Uma Abordagem Prática,” Cengage Learning, 2008.
- [21] J. V. B. Gomide, “Captura Digital De Movimento no Cinema de Animação,” Dissertação (Dissertação em Artes) Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2013.
- [22] F. G. Fernandes *et al.*, “Realidade Virtual e Aumentada Aplicada em Reabilitação Fisioterapêutica Utilizando o Sensor Kinect e Dispositivos Móveis,” XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, pp.37–40, 2014.
- [23] A. F. Brandão *et al.*, “GestureCollection for Motor and Cognitive Stimuli: Virtual Reality and e-Health prospects,” Journal of Health Informatics, vol. 10, n. 1, pp.09–16, 2018.
- [24] Y. Chang, S. Chen and J. Huang, “A Kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities,” Research in Developmental Disabilities, vol. 32, n. 6, pp. 2566–2570, 2011, doi: 10.1016/j.ridd.2011.07.002.
- [25] S. S. R. da Silva and M. R. Filho, “ARVRE: Ambiente de Realidade Virtual para Reabilitação Motora e Estímulo Cognitivo,” XIII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital, pp. 675–678, 2014.
- [26] UPBGE. Upbge 0.2.4. [online] Disponível em: <https://upbge.org/>. Acesso em: 02 mar. 2018
- [27] MAKEHUMAN. MakeHuman 1.1.1. [online] Disponível em: <http://www.makehumancommunity.org/content/downloads.html/>. Acesso em: 02 mar. 2018.