

TennisGame Physio: Proposta de Solução no Apoio de Sessões de Fisioterapia para Amputados

Andrelise Nunes Lemos Pinheiro
Campus Bagé
Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA
Bagé, Brasil
andrelisepinheiro.aluno@unipampa.edu.br

Érico Marcelo Hoff do Amaral
Campus Bagé
Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA
Bagé, Brasil
ericoamaral@unipampa.edu.br

Márcio Vieira
Serviço de Reabilitação Física - SRF
Prefeitura Municipal de Bagé
Bagé, Brasil
marciobv78@gmail.com

Julio Saraçol Domingues Júnior
Campus Bagé
Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA
Bagé, Brasil
juliodomingues@unipampa.edu.br

Resumo—O presente estudo descreve a proposta de baixo custo de uma solução computacional baseada em gamificação utilizando *hardware* e *software*, que possa auxiliar os profissionais de fisioterapia nas sessões de reabilitação de amputações dos membros superiores e inferiores. A finalidade deste trabalho é tratar o problema descrito utilizando como sensores os do tipo acelerômetro e giroscópio de um *smartphone*. Foram implementados tanto o app em *Flutter* para coordenar a comunicação com o nó sensor, quanto o nó sensor com a ajuda da plataforma de prototipação Arduino e módulos de comunicação. Por fim, também foi desenvolvido um jogo em *Unity 3D* para a simulação de uma partida de tênis de mesa, e um sistema de acompanhamento para os fisioterapeutas. As informações transmitidas a partir dos sensores do *smartphone*, foram utilizadas para a realização da movimentação da raquete virtual no jogo. Diferentes experimentos foram executados com o objetivo de validar a proposta. Os resultados demonstraram limitações na implementação que necessitaram sua refatoração. Logo após a refatoração, os resultados iniciais demonstraram grande aplicabilidade da solução. O projeto visa criar uma solução que torne mais lúdica e motivadora as sessões de fisioterapia, tentando levar o paciente ao estado de *flow*. Ademais, os fisioterapeutas terão acesso a uma ferramenta de controle de desempenho de cada uma das sessões de cada paciente, o que poderá tornar menos subjetiva a análise de desempenho dos mesmos.

Palavras-Chave—reabilitação física, amputados, gamificação, estado de *flow*, jogos sérios.

I. INTRODUÇÃO

Membros inferiores e superiores são um dos principais membros do corpo humano [1]. Estes membros são elementos essenciais para a execução de diversas atividades triviais, como por exemplo, locomoção, alimentação, prática de atividades físicas entre outras tarefas. Contudo, em diferentes oportunidades esses membros podem sofrer com problemas, dentre os principais é possível citar as malformações de membros, acidentes que causem traumas nas articulações, infecções graves, doenças como a diabetes *mellitus* que impossibilita

a cicatrização de feridas causando inflamação, trombose entre outros [2].

Considerando esses cenários, muitas vezes a única alternativa no tratamento é a amputação de um dos membros, seja inferior ou superior, dado o grau em que se encontra a enfermidade. A amputação é um procedimento delicado que afeta tanto o psicológico do paciente quanto o físico, dado o cenário de retirada do membro e, possivelmente, a incapacidade do paciente de executar as tarefas cotidianas. Desta forma, profissionais da área da saúde como psicólogos e fisioterapeutas são de suma importância no processo de reabilitação.

A fisioterapia é um processo terapêutico que visa a redução da aflição e, também, o retorno gradual do paciente ao seu cotidiano, propiciando assim, uma melhor qualidade de vida para o indivíduo. Segundo Marques e Kondo [3], existem várias categorias de exercícios terapêuticos usados pela fisioterapia como mobilização passiva e ativa, alongamentos, exercícios isométricos, isotônicos e outros. Aliado a isso, a computação se torna uma importante ferramenta que possui uma crescente aceitação na área médica, onde inúmeros estudos e trabalhos, utilizam soluções computacionais para auxiliar os profissionais de saúde em novos tratamentos. Essa área de desenvolvimento de soluções computacionais aplicadas a saúde é denominada informática médica.

A informática médica é uma área que possui inúmeras ramificações, sendo possível atuar tanto no desenvolvimento de tecnologias de apoio a processos de tomada de decisões, quanto no desenvolvimento de instrumentos/aparelhos que possibilitem uma melhor eficácia em procedimentos médicos, como por exemplo, a utilização de Realidade Virtual (RV) com a metodologia de gamificação para auxílio no processo de reabilitação física.

A utilização de metodologias de gamificação para auxiliar os pacientes na reabilitação física possui um grande potencial

terapêutico. Isso se dá pelo desenvolvimento da área da computação aplicada na construção de soluções que tornem as sessões mais lúdicas. O método de reabilitação utilizando jogos possibilita ao paciente superar desafios para conseguir melhores resultados no jogo, o que conduz a um maior envolvimento cognitivo [4].

Considerando o exposto anterior, ainda existem lacunas e oportunidades de pesquisa no que tange ao desenvolvimento de soluções computacionais para o auxílio de fisioterapeutas no processo de reabilitação física de amputados. Por conseguinte, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver o protótipo de uma solução computacional baseada em gamificação, que utilize os sensores acelerômetro e giroscópio de um *smartphone* e, através de uma comunicação *Bluetooth* envie os dados coletados para um nó sensor composto por microcontrolador e comunicação serial com um computador.

As informações capturadas são processadas e enviadas para um *software* que será executado em um computador, o qual conterá a implementação de um simulador de partida de tênis de mesa, que utilizando as informações capturadas pelo *smartphone* realizará a movimentação de um avatar, conforme as coordenadas registradas pelo aplicativo móvel desenvolvido no *smartphone*. A solução visa auxiliar os profissionais de fisioterapia nas sessões de reabilitação de amputados, tanto de membro superior, quanto inferior, tornando as sessões de fisioterapia mais lúdicas e motivadoras. Além disso, a solução visa capturar informações sobre as sessões com o objetivo que criar indicadores de desempenho, tornando as avaliações dos pacientes menos subjetivas.

O presente trabalho está organizado da seguinte forma a seção dois apresenta a fundamentação teórica com os principais conceitos para o melhor entendimento do trabalho. A seção três apresenta a proposta de solução desenvolvida, tanto do nó sensor, quanto da aplicação do *smartphone* e o jogo. A seção quatro apresenta os resultados dos experimentos realizados com o paciente e as considerações dos fisioterapeutas. Por fim, a seção cinco e seis apresentam, respectivamente, as conclusões do trabalho e as referências.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A presente seção apresenta os principais conceitos para o melhor entendimento da proposta, como por exemplo, reabilitação física, gamificação, além de discutir os trabalhos correlatos encontrados na literatura.

A. Reabilitação Física de amputados

O processo de reabilitação física de pacientes amputados envolve diversos estágios, englobando desde a pré-amputação, o pós-operatório, pré-protético e o estágio protético. Este último é o estágio onde o enfermo recebe uma prótese, e onde inicia o processo de monitoramento e acompanhamento de longo prazo do paciente [5]. Esse processo é de suma importância, visto já que o amputado necessita receber o auxílio de um profissional para que ele se adapte a um novo instrumento que o auxiliará no retorno as suas atividades cotidianas pré-amputação. No processo de reabilitação é importante que os limites impostos

pela amputação sejam aceitos pelo indivíduo e encarados de forma realista [6].

O procedimento de reabilitação física de amputados envolve cerca de cinco fases principais, a primeira etapa é a pré-amputação ou pré-operatório que consiste na etapa de preparação psicológica do paciente e seus familiares, quando o procedimento é programado; a segunda fase é o pós-operatório, nesta etapa há o monitoramento da cicatrização da ferida e, também, é realizada uma avaliação do potencial do paciente para o uso de uma prótese ou não [7].

A terceira etapa é a pré-protética que compreende o estágio de preparação do paciente para o recebimento da prótese, uma vez que já houve a cicatrização por completo da ferida. A reabilitação nesta fase visa a preparação do coto para a aceitação da prótese e, também, o processo de condicionamento físico do paciente [5]. O quarto estágio é o protético que é a fase de adaptação do paciente ao seu novo membro e, por fim, a quinta etapa que é o processo de monitoramento e acompanhamento de longo prazo. A solução computacional desenvolvida no presente trabalho, visa a sua aplicação em pacientes que estão tanto na fase três quanto na quatro, ou seja, nas fases de reabilitação e protética.

B. Gamificação

A gamificação é uma metodologia que elenca mecanismos e técnicas de jogos aplicadas para se atingir um objetivo em uma determinada atividade. A razão da utilização desta técnica é motivar os usuários a realizarem atividades sem necessitar gerar um grande esforço, ou seja, que se “sintam” impulsionados a realizar uma tarefa que de outro modo não estariam tão atraídos em realizar [8].

Quando o usuário se envolve exclusivamente em uma história de um jogo, ou alguma atividade qualquer, de modo que o induza a imersão ele se encontra em um estado de *flow*, caracterizado por um sentimento de satisfação e sucesso no decorrer da atividade. Para se atingir o estado de *flow*, segundo Csikszentmihaly et al. [9], ele acontece sob condições específicas, quando a atenção esta totalmente focada em uma atividade, não havendo espaço na consciência para conflitos e contradições, quando os sentimentos, desejos e pensamentos estão completamente alinhados. O presente trabalho visa despertar com a atividade de gamificação o estado de *flow* no paciente em reabilitação.

C. Trabalhos Correlatos

Em relação aos trabalhos correlatos, existem diversas soluções relacionadas com a temática de jogos que auxiliem a reabilitação física de amputados. O jogo *Motion Rehab AVE 3D* desenvolvido por Vergouwen et al. [10], é uma solução que propõe diversas atividades com o propósito de apoiar nos processos de reabilitação convencional. A aplicação é desenvolvida utilizando a *Game Engine Unity 3D* e os movimentos do usuário são capturados com o sensor *Kinect*, além da utilização de óculos de Realidade Virtual *Rift* para emergir na solução.

A solução desenvolvida por Akbulut et al. [11], é um jogo que objetiva auxiliar na melhora das dores fantasmas que acobertam pacientes amputados. Neste trabalho é utilizado o sensor *sEMG* para a coleta dos dados do paciente, além do sensor *Kinect* e óculos de Realidade Virtual *Rift*. O jogo é desenvolvido utilizando a *Game Engine Unity 3D* e possui quatro mini-jogos que objetivam auxiliar na diminuição da dor fantasma de pacientes amputados de membros superior ou inferior.

Portanto, com base nas soluções descritas acima, existem aspectos comuns entre os trabalhos apresentados com a solução proposta pelo presente trabalho. O primeiro ponto é referente a ferramenta de desenvolvimento, na qual, tanto Vergouwen et al. [10], quanto Akbulut et al. [11] empregam a *Game Engine Unity 3D*. A ferramenta também será utilizada para o desenvolvimento da proposta do *TennisGame Physio*.

Além disso, outra particularidade entre os trabalhos é a utilização do sensor *Kinect* e o óculos de Realidade Virtual *Rift*. Porém, a solução do *TennisGame Physio* emprega os sensores presentes nos *smartphones*, o acelerômetro e o giroscópio.

Ademais, as soluções possuem a possibilidade de configurar as atividades que serão desempenhadas pelo paciente e, também, é possível averiguar o desempenho do paciente. No caso da solução proposta, o *TennisGame Physio* é possível ainda coletar os dados físicos do paciente antes e após a partida, a fim de, também comparar o desempenho físico do paciente. Além disso, a solução proposta visa o baixo custo, sem a necessidade de aquisição de componentes sensores específicos, utilizando apenas os sensores próprios do *smartphone*, e uma placa de desenvolvimento arduino juntamente com sensor HC-05 como nó sensor. A seguir será apresentada a proposta deste trabalho.

III. TENNISGAME PHYSIO

A proposta deste trabalho foi desenvolvida a partir da demanda do Serviço de Reabilitação Física (SRF) do município de Bagé/RS, que possui um *deficit* de ferramentas de apoio nas sessões de amputados de membros superiores e inferiores para os profissionais fisioterapeutas. Dessa maneira, a finalidade desta proposta é a elaboração do protótipo de um sistema em *hardware* e *software* que utilize metodologias de gamificação, e que seja de baixo custo. Para isso, foi desenvolvido um jogo que possibilite a simulação de uma partida de tênis de mesa com o objetivo, tanto de colaborar com ferramentas para os fisioterapeutas acompanharem do desempenho dos pacientes nas sessões de reabilitação, quanto para criar alternativas que instiguem os pacientes, para que eles alcancem o estado de *flow* durante a sessão. Além disso, o sistema computacional proposto permite que os fisioterapeutas obtenham informações estatísticas sobre as sessões, o que permitirá que indicadores de desempenho sejam identificados, a fim de proporcionar uma avaliação menos subjetiva do desempenho dos pacientes entre as sessões.

Neste sentido, ao atingir o estado de *flow*, espera-se estimular o paciente a melhora na amplitude da movimentação

de modo a melhorar seu condicionamento físico, e por consequência diminuir a dor e sofrimento podendo torná-la imperceptível. A solução será utilizada na etapa pré-protética, na qual visa a preparação do coto do paciente para o recebimento da prótese.

A arquitetura do sistema e a demonstração da comunicação entre *hardware* e *software* são apresentados na Fig. 1. Desta forma, a proposta executa da seguinte maneira: primeiramente, são coletados dados físicos do paciente através do profissional fisioterapeuta responsável, para que se possa obter informações anteriores a sessão e, conflitar com os dados posteriores; Logo após, o *smartphone* é posicionado junto ao paciente dando início ao jogo. Para isso, são utilizados os sensores contidos no aparelho que são: acelerômetro e o giroscópio, as informações coletadas dos sensores, com relação ao movimento do coto do paciente, são enviadas através de uma comunicação *Bluetooth* entre a aplicação móvel desenvolvida e o nó sensor com microcontrolador, que conterà um módulo *Bluetooth* para a comunicação. Com a coleta de dados concluída, é efetuado o encaminhamento dos mesmos para o simulador de uma partida de tênis, o jogo foi desenvolvido utilizando ambiente *Unity* e será reproduzido em um computador.

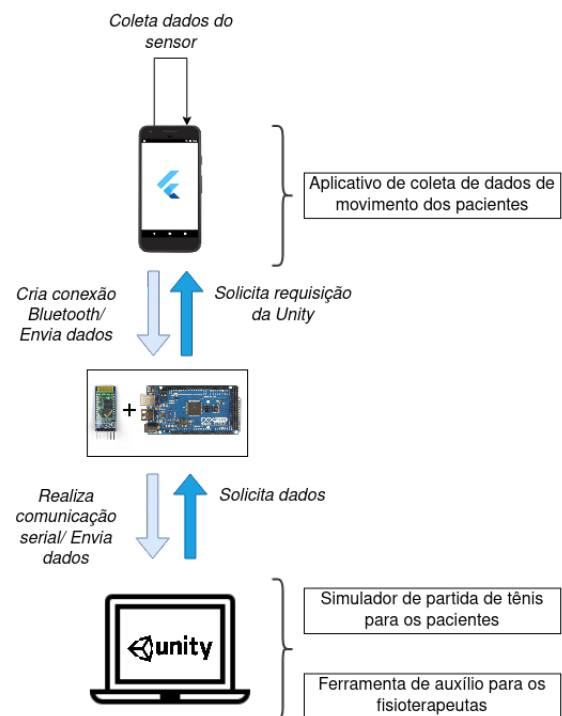


Fig. 1. Arquitetura da solução. Fonte: Autor (2021).

Neste jogo, os dados obtidos via comunicação *Bluetooth* foram utilizados para a movimentação da raquete virtual, sendo a movimentação apenas tanto para a direita, quanto para a esquerda. Foram definidos diferentes níveis de dificuldade no jogo conforme o paciente evoluir na pontuação, iniciando em níveis de baixa complexidade para nortear o indivíduo na sessão, por exemplo, velocidade da bola baixa e sensibilidade

alta da raquete. As informações coletadas antes, durante e após a dinâmica, são salvas em um banco de dados local no computador, podendo ser consultado o histórico do paciente e, projeções entre as sessões na aplicação.

Como metodologia de desenvolvimento, optou-se pela utilização do modelo de processo de desenvolvimento de *software*, o modelo em cascata [14]. A sua abordagem é dirigida a planos, onde há o planejamento e programação de todas as atividades do processo antes de iniciar o trabalho.

Neste modelo é fundamental as atividades de processo de especificação, desenvolvimento, validação e evolução, portanto, cada um dos processos é designado como uma fase distinta, sendo da seguinte maneira: especificação de requisitos, projeto de software, implementação, testes e manutenção.

Assim, a escolha desta metodologia de desenvolvimento se dá pelo fato de que a presente pesquisa se assemelha em diversos aspectos com o modelo em cascata. Os requisitos elencados para o desenvolvimento da solução são compreendidos de forma clara e objetiva, ademais as etapas de desenvolvimento são metódicas, visto que há uma série de estágios a serem evoluídas no decorrer da solução.

A. Modelagem

Para o desenvolvimento da proposta, primeiramente foi criado a modelagem da solução. Com base nos estágios do modelo em cascata a primeira etapa, portanto, foi a realização da análise e definição dos requisitos através de uma entrevista aberta com o profissional fisioterapeuta do SRF do município de Bagé/RS. Os principais requisitos funcionais essenciais coletados foram incluir/excluir paciente de cadastro, incluir/excluir profissional fisioterapeuta e configuração da partida. Os requisitos classificados como importantes são a captura dos dados físicos dos pacientes, capturar dados de desempenho do paciente durante a partida e consulta do histórico de desempenho do paciente, ademais há apenas um requisito desejável que é a geração do relatório de desempenho do paciente.

Após a conclusão da primeira etapa, com base na definição dos requisitos funcionais e não funcionais foi realizada uma análise das informações obtidas e, a partir disso, foi possível realizar o planejamento do protótipo do aplicativo e, também houve a criação dos diagramas de casos de uso do jogo com a utilização da *Unified Modeling Language*(UML). Os atores da solução são: nó sensor que compreende o *smartphone*, a plataforma de prototipação Arduino e o módulo *Bluetooth*, o usuário que engloba o paciente e o fisioterapeuta e, também o sistema que é o jogo desenvolvido em *Unity 3D* para ser executado em um *desktop*.

Portanto, as ações desempenhadas pelo sistema é inicializar sessão, criar cadastro, coletar dados, armazenar dados e gerar relatórios. Por outro lado, as ações definidas para o nó sensor são a realização de conexão entre *smartphone* e módulo *Bluetooth*, coleta dos dados gerados pela movimentação do *smartphone*, realizar o tratamento dos dados e envio dos mesmos e, por fim, realizar a movimentação do elemento do jogo. As ações do usuário (fisioterapeuta ou paciente)

são: criação de conexão com módulo *Bluetooth*, cadastrar profissionais de fisioterapia, logar profissionais de fisioterapia, cadastrar pacientes, logar pacientes, coletar dados físicos do paciente, acessar histórico dos pacientes, configurar modo da partida, iniciar partida, movimentar elementos do jogo e, por fim, concluir partida.

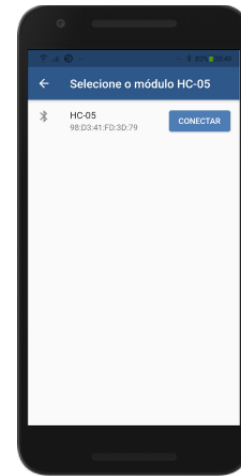


Fig. 2. Aplicativo de coleta dos dados dos sensores - Tela de conexão. Fonte: Autor (2021).

Além disso, a modelagem da arquitetura é dada através da placa de prototipação Arduino e módulo HC-05 que realiza o recebimento dos dados via comunicação *Bluetooth* do *smartphone* e, encaminha os valores via comunicação Serial para o jogo desenvolvido na *Unity 3D*. O *smartphone* realiza a captura dos dados de movimentação por intermédio dos sensores através de um aplicativo desenvolvido utilizando o *framework* Flutter. Na Fig. 2 está representado a tela de conexão *Bluetooth* do aplicativo de coleta dos dados dos sensores.

Por fim, a modelagem do *software* que pode ser subdivido como: simulação de partida de tênis para os pacientes e, uma ferramenta de gerência das informações dos pacientes durante as sessões. Nas Fig. 3 e Fig. 4 pode ser visualizado o exemplo de duas telas da solução, a Fig. 3 apresenta a tela de cadastro de dados físicos do paciente e, na Fig. 4 é apresentada a tela do jogo. A dinâmica do jogo é realizar a movimentação do avatar no eixo *x* e, rebater a bolinha contra o adversário *bot*. O jogo possui quatro modos de jogo, que são configurados pelo fisioterapeuta, sendo: ou por tempo em minutos, ou pelas modalidades fácil, médio e difícil.

Para compreender as ações e o fluxo da solução, na Fig. 5 está representado o diagrama de sequência da solução, no qual, demonstra o fluxo das ações do sistema. Sendo assim, após o fisioterapeuta posicionar o *smartphone*, realizar a coleta dos dados físicos do paciente e, configurar a partida, o paciente inicia o jogo gerando a movimentação do coto. Ao realizar a mobilidade, os dados são coletados e enviados pelo nó sensor através da comunicação *Bluetooth* para a placa de prototipação Arduino que, recebe e processa as informações e, encaminha via comunicação serial para o sistema. O sistema, por sua vez,

Fig. 3. Tela de cadastro de dados físicos. Fonte: Autor (2021).

recebe os dados e gera a movimentação da raquete virtual no simulador.



Fig. 4. Tela do jogo. Fonte: Autor (2021).

Ao final da partida, o sistema emite uma solicitação de envio dos dados da partida para o nó sensor, que retorna o arquivo de *log* da sessão.

A primeira etapa de desenvolvimento foi a criação da aplicação móvel em Flutter, que realiza a coleta dos dados dos sensores presentes no *smartphone*. Com isso, se sucedeu o desenvolvimento do nó sensor com o auxílio da plataforma de prototipação Arduino, que contou com a conexão do módulo HC-05 para viabilizar a comunicação via *Bluetooth*. Em vista disso, foi necessário a criação de uma fase inicial do jogo para que houvesse o teste de comunicação entre o nó sensor e *software* através da comunicação serial. Portanto, os comandos captados pelo nó sensor sobre a movimentação da raquete virtual são tratados e enviados ao jogo que executa no computador através de uma comunicação serial. Na próxima seção serão apresentados os diferentes experimentos e modificações na solução para validação.

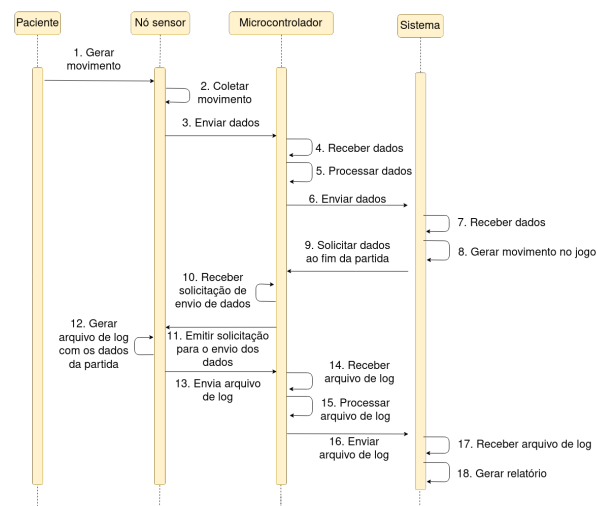


Fig. 5. Diagrama de sequência da solução. Fonte: Autor (2021).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro teste realizado foi a verificação da coleta dos dados no aplicativo. Deste modo, foi realizado a captura dos dados em um tempo pré-determinado de cerca de 5 segundos. Com isto, é configurado na tela da aplicação os valores capturados nos eixos *x*, *y*, e *z* pelo acelerômetro do *smartphone*. Desta forma, é válido ressaltar que neste primeiro momento é considerado apenas a aceleração do dispositivo sobre os efeitos da gravidade, podendo ser agregado a isto a captura do giroscópio, que também já foi verificado a possibilidade de coleta. Ademais, é possível realizar também a coleta dos dados do sensor acelerômetro, que sofre a ação do usuário sobre o *smartphone*, desprezando a aceleração da gravidade.

Logo após os testes de coleta dos dados, foi acrescido a funcionalidade de comunicação *Bluetooth*. O próximo teste, portanto, foi a comunicação via *Bluetooth* com o módulo HC-05 contido na placa Arduino. Após os testes do nó sensor, foram realizados testes funcionais da comunicação serial entre o jogo na plataforma *Unity 3D* e, nó sensor. Por conseguinte, foram impressos no console da *Unity* os dados recebidos via comunicação serial. Concluída esta etapa, foi criado um algoritmo que realize a movimentação da raquete no eixo *x* a partir dos valores recebidos via comunicação serial do nó sensor.

Concluída a etapa de testes iniciais descritos acima, a solução foi submetida a uma remodelagem, desde o aplicativo, até o simulador da partida de tênis visando a versão de experimentos com pacientes da solução. Desta forma, inicialmente foi alterado o *baud rate* do módulo *Bluetooth* para suportar a demanda do fluxo de dados enviados pelo *smartphone*, o *baud rate* de 9.600 *bits* por segundo foi alterado para 115.200 *bits* por segundo. Sendo assim, após a alteração do módulo foi realizada a troca da função de leitura e processamento dos dados do sensor, para que houvesse a captura instantânea das informações descartando o *delay* inserido no teste inicial.

O processamento verifica para qual eixo de movimentação está direcionado o sensor e, encaminha uma *flag* de indicação via comunicação *Bluetooth* para o Arduino que, recebe e reencaminha via comunicação serial para a *Unity*. Os dados recebidos são utilizados para indicar qual direção deve ser movida a raquete virtual. Durante a captura e processamento dos dados no aplicativo é realizado o cálculo da aceleração média, velocidade média e distância percorrida pelo coto do paciente durante a sessão gerando, portanto, ao final da partida o arquivo de *log* com os dados da partida. Além dos dados calculados pelo aplicativo móvel, são calculados no simulador da partida de tênis o número de erros, acertos e precisão do rebate executados pelo paciente e, também, a captura do tempo decorrido da sessão.

O fisioterapeuta possui integrado ao simulador de partida de tênis um rastreador de cada um dos pacientes, com os dados físicos coletados antes e após a partida e, também, um *feedback* com os dados decorrentes das sessões executadas pelos pacientes.

Após a conclusão da remodelagem a solução foi submetida a uma sessão de fisioterapia no SRF. No qual, o paciente executor da partida estava em fase de protetização e, o jogo foi utilizado na sessão de treinamento do equilíbrio do mesmo. O paciente possui uma amputação do membro inferior esquerdo, na Fig. 6 pode ser visualizado a execução do experimento.



Fig. 6. Sessão de teste da solução. Fonte: Autor (2021).

Durante a sessão, o fisioterapeuta realizou o acompanhamento do paciente na partida. No qual, realizou a configuração por nível de dificuldade, sendo a escolhido o modo fácil que consiste no rebate da bolinha e, quando atingido cinco acertos a partida é concluída.

Na execução do simulador houve a identificação de problemas na solução. Desta forma, os principais erros verificados são: falha no eixo de captura dos dados do sensor, atrasos no processamento das informações capturadas, não detecção de colisão, movimento da raquete durante o jogo com falha, atrasos e perda da localização no domínio da tela.

Elencados os problemas da solução foi realizada a sua reformulação. Procedendo na retirada da comunicação serial do Arduino com o simulador para, portanto, efetuar melhorias na física do jogo e, também, nas detecções de colisões.

Para solucionar o problema houve a retirada de todos os elementos construídos na cena do jogo e, sua refatoração. Excluindo a física e elementos de colisões desenvolvidos até o momento. Após isso, os elementos foram remodelados e houve a inserção de barreiras laterais na mesa do jogo para a detecção da colisão da raquete virtual, de modo a não permitir que ao renderizar o movimento a raquete não se perca fora da tela.

Após finalizar esta etapa houve o aperfeiçoamento do processamento dos dados capturados do sensor e, também, a criação de um novo protocolo de *HandShake*, como demonstrado na Tabela I, que apresenta qual o valor é emitido, seu emissor e respectivo receptor, além da descrição da ação desempenhada com o recebimento da *flag*.

O fluxo do protocolo *HandShake* funciona da seguinte maneira: primeiramente, o *smartphone* realiza a conexão *Bluetooth* com o módulo HC-05, ao ser concluído a conexão o *smartphone* emite a *flag* com o valor “3”, via comunicação *Bluetooth* para o Arduino que verifica o valor recebido e reencaminha outra *flag* com o valor “4” para, de fato, validar que a conexão foi estabelecida. No *software* desenvolvido na *Unity*, ao haver a criação da conexão com a porta serial do Arduino, a aplicação verifica quando se a conexão foi válida e, ao iniciar a calibragem do sensor é emitido uma *flag* para o Arduino com o valor respectivo a qual direção, direita ou esquerda, será realizada a calibração. O Arduino recebe a *flag* e reencaminha via comunicação *Bluetooth* para o *smartphone* que realiza a chamada da função responsável pela calibração, encaminhando qual será o extremo de coleta de dados. Ao finalizar a calibragem e, os dados serem salvos localmente pelo *smartphone* e, o profissional fisioterapeuta configurar a partida, é dado o início do jogo. Contudo, anteriormente a *Unity* emite um pedido via comunicação serial para o Arduino que dê início ao encaminhamento dos dados do sensor, portanto, é enviado a *flag* “2” requisitando as informações de movimentação. Caso seja necessário e, ao final da partida seja recriado uma nova configuração do jogo é encaminhado pela *Unity* a *flag* de *reset* que realiza a restauração dos valores para serem reencaminhados corretamente pelo Arduino e, também, pelo *smartphone*.

TABELA I
PROTOCOLO HANDSHAKE

Valor	Emissor-Receptor	Ação
0 ou 1	Unity/Arduino/Smartphone	Calibragem Direita ou Esquerda
2	Unity/Arduino/Smartphone	Movimento
3	Smartphone/Arduino	Conexão Estabelecida
4	Arduino/Smartphone	Conexão Estabelecida Ok
5	Unity/Arduino/Smartphone	Restart

No primeiro experimento realizado não havia sido implementado a função de calibragem do sensor, logo, notou-se que

é válido a sua criação. Sendo assim, a função para calibrar foi produzida da seguinte maneira: é solicitado ao paciente, anteriormente ao jogo que mova o coto, primeiramente a direita e, após isso, retorne ao ponto inicial como referência é o meio. Logo depois é requisitado que se mova para a esquerda. Os valores são coletados no intervalo de 15 segundos para cada um dos lados e, são os limiares que serão utilizados na identificação dos movimentos.

Essas informações capturadas durante a calibragem servem para identificar um movimento válido gerado pelo paciente. Sendo assim, a reformulação da função de captura dos valores do sensor acelerômetro partiu da concepção da função de calibragem e, também, a escolha pela captura apenas dos números inteiros de aceleração, desconsiderando valores de ponto flutuante. A ação descrita se deu pelo fato de que ao serem utilizados duas casas de ponto flutuante, percebeu-se um *overhead* de processamento que resultou em um atraso no movimento da raquete. Além disso, não houve possibilidade da captura do valor zero (o que define o posicionamento da raquete sem movimentação), pois não é possível obter um valor exato e, sim com ruídos devido a alta sensibilidade de captura do acelerômetro o que dificultava na implementação da lógica de movimentação.

Posteriormente, foi necessário averiguar qual era o melhor posicionamento do *smartphone* junto ao paciente para que a coleta dos dados ocorresse da maneira correta. Desta forma, examinou-se a necessidade de criar a representação do modo de posicionamento e movimentação do *smartphone* junto ao paciente. A Fig. 7 apresenta o eixo de coordenadas dos sensores acelerômetro e giroscópio do *smartphone*, com base na representação e, a realização de testes da coleta dos dados optou-se pela seguinte configuração: tanto membro superior quanto membro inferior a posição do *smartphone* será no coto ou braço do paciente, como representado na Fig. 8(a), que representa a visão superior do coto do paciente.

Com relação a movimentação no eixo x é necessário que o paciente realize os movimentos na horizontal, para os lados, de modo a capturar corretamente os valores de mobilidade. Na Fig. 8(b) está demonstrado como deve ficar o coto do paciente, ou braço, é necessário que fique 90° em relação ao corpo.

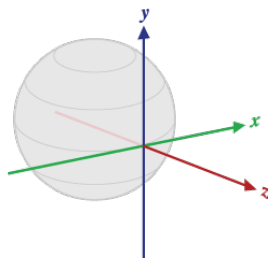


Fig. 7. Eixos das coordenadas dos sensores do Smartphone. Fonte: Android Developers (2021).

Nesta etapa, além da refatoração da solução foi criado o cálculo de dois coeficientes: desempenho e efetividade. Esses índices foram elaborados com o objetivo de rastrear o paciente durante a sessão. O coeficiente de efetividade é descrito como

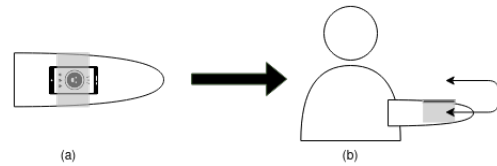


Fig. 8. Posicionamento do Smartphone. Fonte: Autor (2021).

sendo o aproveitamento do paciente em relação à pontuação obtida e, o coeficiente de desempenho é o aproveitamento do paciente em relação à disputa do jogo, é o valor relacionado ao quanto disputado foi a partida.

Portanto, após realizar as modificações para solucionar os problemas encontrados durante o experimento foram executados testes unitários de cada módulo resolvido separadamente. Desta maneira, durante esta etapa foi possível notar que as anomalias encontradas durante o experimento, foram resolvidas. Após finalizar as alterações foi executado um novo experimento da solução no SRF, a fim de, validar a solução.

Sendo assim, durante a execução da sessão o paciente realizou um total de oito partidas. Sendo que foram realizadas quatro partidas no modo fácil, duas no nível intermediário e, por fim, duas partidas no modo difícil. A partir disso, ao final das partidas foram calculados os coeficientes do paciente e gerados os gráficos de desempenho e efetividade.

Desta maneira, na Fig. 9 pode ser averiguado através do gráfico de desempenho do paciente durante a sessão, que existem indícios que o paciente tenha desenvolvido um estado de *flow*. Estas evidências ficam mais claras ao analisar o gráfico da Fig. 9, onde também, é apresentada a curva de tendência sobre o desempenho do paciente. Analisando o gráfico é possível perceber o quão atento e instigado o indivíduo estava durante a sessão, através da porcentagem de desempenho calculado. Nota-se que mesmo a dificuldade durante a sessão tenha sido incrementada, o seu índice de desempenho continuou a ascender, isso fica mais evidente quando analisa-se a curva de tendência no gráfico.

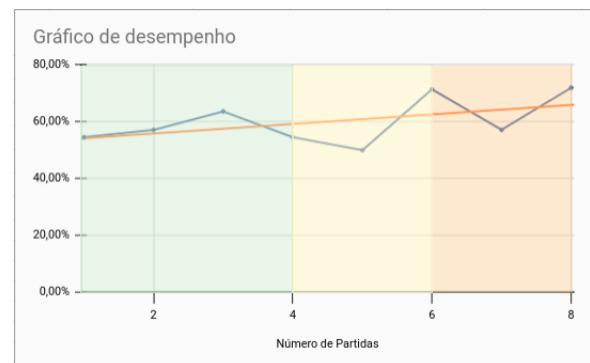


Fig. 9. Gráfico de desempenho com a curva de tendência do paciente. Fonte: Autor (2021).

Além disso, os *feedbacks* dos profissionais fisioterapeu-

tas corroboram com esta evidência, dado que, os mesmos relataram significativo interesse do paciente pela atividade. Ademais, a solução também demonstrou ser de fácil instalação e utilização.

Por fim, com base nos resultados e reflexões dos experimentos, é possível concluir que a ferramenta atingiu os objetivos iniciais de despertar o estado de *flow* nas sessões de reabilitação física. Como trabalhos futuros pretende-se melhorar a dinâmica do jogo e o sistema de reconhecimento de movimentação, além de expandir a série de experimentos tanto com pacientes de membro inferior, quanto superior.

V. CONCLUSÕES

Neste trabalho é proposta a elaboração do protótipo de um sistema em *hardware* e *software* que utiliza metodologias de gamificação. A proposta tem como finalidade simular uma partida de tênis de mesa, tanto para colaborar com os fisioterapeutas nas sessões de reabilitação como instigar o paciente a alcançar o estado de *flow* durante a sessão.

Deste modo, para a criação da solução se optou pela utilização dos sensores integrados nos *smartphones*, acelerômetro e giroscópio. A justificativa pela escolha dos mesmos é baseada no fato de ser de baixo custo, tendo em vista que a maioria da população possui um telefone. Além disso, com a proliferação da contaminação do coronavírus, é importante que não ocorra o compartilhamento de objeto, logo, os sensores não serão de uso comum.

A solução desenvolvida demonstrou ser capaz de auxiliar os profissionais fisioterapeutas durante as sessões de reabilitação de amputados de membro superior ou inferior. Serão executados mais experimentos da solução pois, não foi possível estender os testes tendo em vista as dificuldades atreladas aos protocolos do coronavírus. Ademais, a proposta possui melhorias necessárias que podem ser realizadas como trabalhos futuros, além da extensão dos experimentos com pacientes e fisioterapeutas.

Além disso, em aspectos do jogo, pretende-se realizar a inserção de novas fases no simulador de partida de tênis, a troca da raquete atual utilizada por uma semelhante aos jogos de tênis de mesa. Também, inserir animações e sons durante a partida. Ademais, criar avatares personalizados para cada paciente e, realizar a inserção de novos sensores para coletar dados como velocidade e distância percorrida.

Por fim, para concluir é importante evidenciar que o projeto desenvolvido foi aprovado pelo Conselho de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) e, tem cadastro na Plataforma Brasil sob o número de CAAE: 51777521.5.0000.5323.

AGRADECIMENTOS

A disponibilidade dos profissionais de fisioterapia do Serviço de Reabilitação Física do município de Bagé/RS, que se dispõem a auxiliar no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] I. K. Adalbert, "Fisiologia articular: esquemas comentados de mecânica humana", 5 ed. São Paulo, Médica Panamericana, 2000, p. 307.
- [2] G. F. Gabrielli, A. S. F. Leticia, L. R. C. Milaine Cristina. "Identificação das causas de amputação de membros nas estratégias de saúde da família do município de Santa Fé do Sul - SP", *Rev. Funec Científica - Enfermagem*, vol. 1, no. 1, pp. 65-71, jan/jun, 2017.
- [3] P. M. Amélia, K. Akemi. "A fisioterapia na osteoartrose: uma revisão da literatura", *Rev. Bras. Reumatol*, vol. 38, no. 2, pp. 83-90, mar/abr, 1998.
- [4] B.G. Elaine Aparecida, O. G. Fábio Ricardo, A. G. Luiz Carlos. "Reabilitação virtual através do videogame: relato de caso no tratamento de um paciente com lesão alta dos nervos mediano e ulnar", *Rev. Acta Fisiatrica*, vol. 18, no. 3, pp. 157-162, out, 2011, doi: 10.11606/issn.2317-0190.v18i3a103644.
- [5] I. Kovač, N. Kauzlarić, O. Živković, M. Abramović, Z. Vuletić, T. Vukić, N. Ištvanović, B. Livaković. "Rehabilitation of lower limb amputees", *Periodicum Biologorum*, vol. 117, no. 1, pp. 147-159, 2015.
- [6] M. B. Kátia, R. F. Maria Cristina, R. A. Vera Lúcia. "Reintegração corporal em pacientes amputados e a dor-fantasma", *Rev. Acta Fisiatrica*, vol. 9, no. 2, pp. 85-89, jul. 2002, doi: 10.5935/0104-7795.20020001.
- [7] S. L. Bruna, M. M. Dayana Priscila. "A importância da fisioterapia no processo de protetização", unpublished.
- [8] D. Delmar, "O sentido da gamificação", *Gamificação em debate*. São Paulo: Blucher, pp. 11-20, 2018.
- [9] C. Mihaly, S. C. Isabela, "Optimal experience: Psychological studies of flow in consciousness", United Cambridge University Press, p. 432, 1988.
- [10] M. V. Jean, E. Q. Nicolas, V. J. Renato, C. P. André, T. Mateus, B. H. Patrícia Paula, R. Rafael, "Motion Rehab 3D AVE V2: um novo VR-exergame para fisioterapia motora", in *Anais Estendidos do XXII Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada*, Evento Online, 2020, pp. 15-19, doi: https://doi.org/10.5753/svr_estendido.2020.12948.
- [11] A. Akbulut, G. Güngör, E. Tarakci, A. Çabuk, M. A. Aydin, "Immersive Virtual Reality Games for Rehabilitation of Phantom Limb Pain" *2019 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO)*, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/TIPTEKNO.2019.8895177.
- [12] P. Cleber Cristiano; F. Ernani Cesar, "Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico", Editora Feevale, p. 277, 2013.
- [13] S. Edna Lúcia, M. M. Estera, "Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação", p. 121, 2001.
- [14] S. Ian, "Engenharia de Software", p. 547, 2011.