

Uso da Inteligência Artificial em Jogos Digitais aplicados à Reabilitação Respiratória: um mapeamento sistemático da literatura

Claudinei Dias
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Universidade do Estado de Santa
Catarina
Joinville, SC-Brasil
prof.claudinei.dias@gmail.com

Marcelo da Silva Hounsell
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Universidade do Estado de Santa
Catarina
Joinville, SC-Brasil
marcelo.hounsell@udesc.br

André Bittencourt Leal
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Universidade do Estado de Santa
Catarina
Joinville, SC-Brasil
andre.leal@udesc.br

Amilto Romagno
Sistemas de Informação
Centro Universitário SOCIESC
Joinville, SC-Brasil
amiltoromagno@gmail.com

Rodrigo Yuji Seto Soma
Sistemas de Informação
Centro Universitário SOCIESC
Joinville, SC-Brasil
rodrigo.y.seto@gmail.com

Matheus Engleitner
Engenharia de Computação
Centro Universitário SOCIESC
Joinville, SC-Brasil
mengleitner@gmail.com

Diego Fellipe Tondorf
Jogos Digitais
Centro Universitário SOCIESC
Joinville, SC-Brasil
diegodft@hotmail.com

Resumo—Este mapeamento sistemático da literatura tem como objetivo identificar como a Inteligência Artificial (IA) tem sido usada nos jogos digitais aplicados à reabilitação respiratória e verificar quais técnicas de IA são mais usadas, para qual finalidade e para quais patologias respiratórias. Este mapeamento foi realizado seguindo um protocolo de busca em 8 bases de dados e de 7.918 artigos, 28 foram filtrados. Em apenas 3 artigos foi possível identificar evidências explícitas do emprego de IA utilizando a técnica Machine Learning para fornecer biofeedback da respiração. Nos demais artigos foi possível inferir comportamentos inteligentes usando técnicas como Intelligent Movement e Decision Making. A IA tem sido usada principalmente para tratamentos de Fibrose Cística e Doenças Pulmonares Obstrutivas Crônicas e principalmente para treinamento muscular. Quase nenhum comportamento inteligente foi apresentado antes ou depois de usar o jogo. Apesar de ser um campo de pesquisa em crescimento, existe uma lacuna na literatura a respeito do uso de técnicas de IA para jogos digitais voltados à terapia respiratória.

Palavras-chave—Revisão de Literatura, Jogos Digitais, Inteligência Artificial, Reabilitação Respiratória.

Abstract—This systematic literature mapping aims to identify how Artificial Intelligence (AI) has been used in games applied to respiratory rehabilitation and verify which AI techniques are most used, for what purpose and to which respiratory pathologies. This mapping followed a search protocol in 8 databases and off 7,918 papers, 28 were filtered. In only 3 papers it was possible to identify explicit evidence of the use of AI using the Machine Learning technique to provide respiratory biofeedback. In the other papers it was possible to infer intelligent behaviors using techniques such as Intelligent Movement and Decision Making. AI has been used mostly for Cystic Fibrosis and Chronic Obstructive Pulmonary Diseases treatments and mainly for muscular training. Almost no intelligent behaviors were found before or after using the game. Although a growing field of research it is clear that there

is a gap in the literature concerning the use of AI techniques for games towards respiratory therapy.

Keywords—Systematic Mapping, Games, Artificial Intelligence, Respiratory Rehabilitation.

I. INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) contempla uma variedade de subcampos, proporcionando o emprego de tecnologias associadas ao pensamento e ao comportamento humano. Pode ser aplicado em resoluções de problemas por intermédio de agentes computacionais inteligentes, tomar decisões racionais, apreender e realizar funções em geral que demandam inteligência [1]. As pesquisas científicas em IA têm contribuído com jogos digitais mais dinâmicos e realistas, usando as plataformas de videogames para testes com diversas metodologias e técnicas de IA [2]. Isto torna os jogos reativos aos jogadores, permitindo manter o fluxo da jogabilidade para manter o entretenimento e evitar desconfortos, adaptando os recursos quanto ao espaço, a escala de dificuldade, os desafios, os comportamentos dos personagens e dos objetos de jogo [3].

Jogos Digitais (JD) podem misturar as técnicas de interatividade, diversão e imersão com a prática de exercícios, visando aspectos específicos, combinados com aspectos lúdicos do entretenimento, mantendo o jogador engajado com um fluxo equilibrado e com desafios progressivos [3]. Na área da saúde, JD são importantes devido a possibilidade de personalização do jogo em função das necessidades dos pacientes.

Segundo o relatório da Organização Mundial de Saúde, ocorrem cerca de 3,8 milhões de óbitos por ano causados por doenças respiratórias crônicas ao redor do mundo [4]. Estima-se que 65 milhões de pessoas tenham doenças pulmonares crônicas, tornando-se a terceira principal causa

de morte e um dos maiores problemas de saúde que afetam uma parcela considerável da população mundial, sendo responsável por 7% da mortalidade global [4] [5]. Os maiores vilões são: Bronquite, Enfisema, Doenças Pulmonares Obstrutivas Crônicas (DPOC) e outras doenças crônicas do aparelho respiratório [4] [6]. Estas patologias respiratórias representam grande parte dos atendimentos nos sistemas de saúde, sendo a reabilitação respiratória uma fase importante no tratamento de pacientes com doenças pulmonares, a qual consiste em um conjunto de técnicas de fisioterapia [5].

Em 31 de dezembro de 2019, a Organização Mundial da Saúde foi notificada da ocorrência de casos de pneumonia severa de origem desconhecida na cidade de Wuhan, na China. Foi constatado que essa epidemia era decorrente de um novo tipo de *coronavírus*, SARS-CoV-2, gerando a doença que foi chamada de COVID-19, eclodindo uma pandemia que em pouco tempo infectou milhões de pessoas ao redor do mundo [7]. A COVID-19 apresenta um quadro clínico que varia de infecções assintomáticas a quadros respiratórios graves. De acordo com a Organização Mundial de Saúde, cerca de 80% dos pacientes podem ser assintomáticos, cerca de 20% podem apresentar dificuldade respiratória, e aproximadamente 5% desses casos podem apresentar insuficiência respiratória [8]. Estudos clínicos apresentaram os benefícios de realizar a reabilitação respiratória em pacientes pós COVID-19, quais sejam: melhora da função muscular respiratória, redução de dispneia, mais tolerância nos exercícios terapêuticos, melhora na função esquelética dos membros superiores e inferiores, redução de ansiedade e depressão relacionada a doença, redução no tempo de internação [9].

Os JD podem ser usados para auxiliar os terapeutas e pacientes durante a reabilitação respiratória e tornar a reabilitação mais atrativa ao paciente durante as sessões de fisioterapia, fundamentalmente por estimular o paciente e auxiliar o terapeuta a observar o desenvolvimento do paciente (através dos sensores biomédicos). Por exemplo, se o jogo estimula uma sequência moderada de fluxo respiratório, mas, em resposta, o paciente faz uma sequência muito rápida, exalando mais do que inalando. Isto pode ser avaliado e refletir na pontuação do jogo e na recuperação do paciente. A combinação de múltiplas modalidades (dispositivos/sensores) apresentado por [10] com múltiplas técnicas de IA pode proporcionar um ambiente adaptativo e ao mesmo tempo seguro. Considerando então que os JD têm sido incorporados como recurso terapêutico e que vêm demonstrando resultados promissores, ou pelo menos equivalentes a tratamentos convencionais, vê-se a possibilidade de aumentar o potencial de auxílio deste recurso computacional na área da saúde, tanto para o terapeuta quanto para o paciente, incluindo processos auxiliados pela IA. Mas, esta possibilidade parece não estar sendo explorada.

Neste contexto, este estudo apresenta um levantamento sistemático da literatura para responder a seguinte Pergunta Primária (PP) de pesquisa: Como a inteligência artificial tem sido usada nos jogos digitais aplicados à reabilitação respiratória?

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Várias pesquisas sistemáticas da literatura têm abordado os temas de JD e doenças respiratórias. Quatro estudos relacionados parcialmente a este mapeamento, foram identificados, porém nenhum deles contempla a vertente

pretendida, que é a verificação do uso da Inteligência Artificial em Jogos Digitais aplicados à Reabilitação Respiratória.

Carbonera *et al* [11] apresentaram uma revisão sistemática da literatura sobre os efeitos fisiológicos promovidos pelos videogames como exercícios aplicados em pacientes com fibrose cística. Em cinco artigos, os autores identificaram que as frequências cardíacas obtidas durante os exercícios realizados nos videogames estavam dentro da faixa recomendada e que os jogos digitais geram respostas semelhantes às intensidades necessárias para a reabilitação de pacientes com fibrose cística. Identificaram também que a aderência e a diversão devem ser levadas em consideração na escolha do exercício e do jogo. Foram excluídos da revisão os jogos com objetivo de *biofeedback* e os que não apresentavam exercícios fisioterapêuticos.

Butler *et al* [12] realizaram uma revisão sistemática para identificar estudos que incluíram jogos de videogames como ferramenta de treinamento físico para o tratamento de doenças respiratórias crônicas. Os autores identificaram apenas três artigos que utilizam jogos combinados com esteiras ou bicicletas na realização de testes. Concluíram que os jogos podem conduzir atividades físicas semelhantes às atividades tradicionais com resultados equivalentes para frequência cardíaca e dispneia, mas afirmam que mais estudos e de longo prazo são necessários para identificar o impacto do treinamento com videogames em pacientes com doenças respiratórias crônicas.

Simmich *et al* [13] realizaram uma pesquisa bibliográfica sistemática sobre a aderência de atividades em videogames aplicadas em doenças respiratórias crônicas. Os autores mapearam a eficácia das intervenções baseadas em jogos bem como a adesão pelos pacientes com doenças respiratórias. Foi realizada uma análise das medições dos sinais da frequência cardíaca e da saturação de oxigênio. A revisão incluiu um total de treze artigos que forneceram evidências de que as intervenções por exercícios realizados com os videogames podem proporcionar resultados semelhantes quando comparadas aos exercícios fisioterapêuticos tradicionais.

Wang *et al* [14] realizaram uma revisão sistemática para investigar a eficácia dos videogames como recurso adjuvante na reabilitação pulmonar de pacientes com doenças respiratórias crônicas obstrutivas. Quatro artigos relataram a adesão dos pacientes aos jogos por serem úteis e agradáveis. Os pesquisadores afirmaram que são necessários mais ensaios clínicos usando videogames como complemento à reabilitação respiratória de pacientes com doenças respiratórias crônicas obstrutivas com intervenções e análises mais amplas, tais como variáveis psicológicas, cognitivas ou dores no corpo.

Esses estudos concluíram que treinos com videogames podem proporcionar resultados semelhantes ou equivalentes aos de fisioterapias tradicionais para pacientes com fibrose cística ou doenças respiratórias crônicas. No entanto, tais estudos executaram uma pesquisa em profundidade com um tema (patologia) específico. Apesar deles trazerem poucos artigos, indica o interesse e a importância da temática do uso de JD em reabilitação respiratória. Mas, pode-se afirmar que não foi possível identificar uma revisão relacionada ao tema proposto neste mapeamento.

III. PROTOCOLO DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO

Para investigar o estado da arte do tema “Uso da Inteligência Artificial em Jogos Digitais aplicados à

Reabilitação Respiratória”, aplica-se um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) que fornece uma visão geral da área de pesquisa podendo apresentar uma estrutura na forma de relatórios com um resumo visual, um mapa de seus resultados, classificação, contribuições e locais de publicação, sendo uma pesquisa mais abrangente e compreensível, ou seja, é uma pesquisa em largura que categoriza os trabalhos relacionados e indica tendências, conforme protocolo apresentado por [15] [16], em cinco fases. Cada fase do protocolo obtém um resultado utilizando uma estratégia *top-down*. Seguindo as *guidelines* para condução do processo de mapeamento sistemático que inclui passos como: a identificação de artigos (busca, exclusão e inclusão), a classificação e a extração dos dados.

A. Questões de Pesquisa

Na primeira fase do protocolo, “*Definir as Questões de Pesquisa*”, o foco é delimitar o escopo do MSL. Para ajudar a responder a PP as seguintes Perguntas Secundárias (PS_i) devem ser respondidas:

PS₁: Quais as técnicas de IA mais usadas em relação aos JD?

PS₂: Para qual finalidade a IA tem sido usada em relação aos JD?

PS₃: Quais patologias têm mais emprego de IA em JD?

B. Definições de Busca

Para a segunda fase, “*Realizar as Definições de Busca*”, os artigos relevantes foram identificados a partir dos seguintes Mecanismos de Busca Acadêmica (MBA): *IEEE Xplore*, *Scopus*, *Engineering Village*, *Web of Science*, *PubMed*, *Science Direct*. Estes MBAs representam os principais fornecedores de informação nesta área de estudo [17]. A busca também foi realizada nos Anais do Simpósio Brasileiro de Games e Entretenimento Digital (SBGames) e Simpósio Internacional de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva (SIFR). A busca foi executada entre os meses de fevereiro a maio de 2020 por intermédio de cadastro acadêmico válido no portal da CAPES e a base de dados do mapeamento, extraída no mês de junho, foi sistematizada através de planilhas eletrônica do MS Excel por ser uma ferramenta flexível para a tabulação do dicionário de dados listado na subseção D. Foi definida a seguinte frase de busca: (“*virtual reality*” OR **game**) AND (*respirat** OR *breath** OR *expirat** OR *inspirat** OR *pulmonar**) AND (*rehabilitat** OR *therap**).

Para a construção da frase de busca, executaram-se ensaios preliminares de busca com o refinamento aplicado durante as iterações iniciais que foi planejada utilizando respectivamente grupos de palavras-chave relacionados a (técnica ou método) AND (conceito ou ideia) AND (área de aplicação). O termo “*virtual reality*” foi empregado porque algumas publicações na área da saúde podem utilizá-lo como referência a jogos digitais [18].

Nesta fase, o resultado da busca feita a partir da frase ajustada para manter a semântica da busca em cada um dos MBAs escolhidos, conforme exibido na Tabela I, permitiu identificar todos os artigos científicos em potencial.

No MBA *IEEE Xplore*, devido ao limite de cinco *wildcards* (caracteres coringa: “*”) em uma frase de busca, houve a necessidade de dividir os termos *respirat**, *breath**, *expirat**, *inspirat** e *pulmonar** em cinco buscas diferentes. Para o MBA *Engineering Village*, por não permitir dois *wildcards* no mesmo termo, foi necessário dividir **game* OR

*game**. Já no MBA *Science Direct*, a restrição de até oito conectores lógicos levou a divisão da frase de busca em duas partes, Tabela I. Exclusivamente para os eventos SBGames e SIFR, por não possuírem um mecanismo de busca, foi realizado *download* dos Anais dos últimos dez anos e realizada a busca utilizando o *Software Agent Ransack* com as seguintes frases de busca: para SBGames (*respirat** OR *breath** OR *expirat** OR *inspirat** OR *pulmonar** OR *rehabilita** OR *reabilita** OR *therap** OR *terap**) e para SIFR (*jogo** OR **game** OR “*realidade virtual*” OR “*virtual reality*”).

TABELA I. FRASES DE BUSCA EM MBAS

MBA	Frase de Busca
IEEE Xplore	1 - (((“All Metadata”: “virtual reality” OR *game*) AND “All Metadata”: rehabilitat* OR therap*) AND “All Metadata”: respirat*) 2 - (((“All Metadata”: “virtual reality” OR *game*) AND “All Metadata”: rehabilitat* OR therap*) AND “All Metadata”: breath*) 3 - (((“All Metadata”: “virtual reality” OR *game*) AND “All Metadata”: rehabilitat* OR therap*) AND “All Metadata”: expirat*) 4 - (((“All Metadata”: “virtual reality” OR *game*) AND “All Metadata”: rehabilitat* OR therap*) AND “All Metadata”: inspirat*) 5 - (((“All Metadata”: “virtual reality” OR *game*) AND “All Metadata”: rehabilitat* OR therap*) AND “All Metadata”: pulmonar*)
Scopus	TITLE-ABS-KEY(“virtual reality” OR *game*) AND (respirat* OR breath* OR expirat* OR inspirat* OR pulmonar*) AND (rehabilitat* OR therap*)
Engineering Village	((((“virtual reality” OR game* OR *game) AND (respirat* OR breath* OR expirat* OR inspirat* OR pulmonar*) AND (rehabilitat* OR therap*)) WN KY) AND (English WN LA) + ({ca} OR {ja} OR {cp}) WN DT
Web of Science	(“virtual reality” OR *game*) AND (respirat* OR breath* OR expirat* OR inspirat* OR pulmonar*) AND (rehabilitat* OR therap*)
PubMed	((((“virtual reality”[Title/Abstract] OR *game*)[Title/Abstract]) AND ((respirat*[Title/Abstract] OR breath*[Title/Abstract] OR expirat*[Title/Abstract] OR inspirat*[Title/Abstract] OR pulmonar*[Title/Abstract])) AND ((rehabilitat*[Title/Abstract] OR therap*[Title/Abstract]))
Science Direct	1 - Title OR abstract:(game) AND (respiratory OR breathing OR expiration OR inspiration OR pulmonar) AND (rehabilitation OR therapy) 2 - Title OR abstract:(“virtual reality”) AND (respiratory OR breathing OR expiration OR inspiration OR pulmonar) AND (rehabilitation OR therapy)

Durante as leituras de triagens, cinco autores avaliaram independentemente os títulos e resumos dos artigos, realizando a análise conforme critérios subjetivos (exclusão e inclusão) apresentados na próxima subseção. Outros dois autores avaliaram e decidiram sobre discrepâncias, discordâncias ou dúvidas na exclusão e inclusão dos artigos, as quais foram discutidas e resolvidas por consenso. Posteriormente, uma análise de texto completo foi realizada seguindo a mesma abordagem quanto às discordâncias e sendo resolvidas por consenso.

C. Critérios de Seleção: Objetivos e Subjetivos

Na terceira fase do protocolo, deve-se definir Critérios Objetivos (CO_i) e Critérios subjetivos de Exclusão e Inclusão (CE_i) e (CI) que são considerados para classificar somente os artigos relevantes à questão de pesquisa deste estudo.

Nesta fase foram definidos os seguintes CO_i:

CO₁: Publicação no período de janeiro de 2011 até maio de 2020;

- CO₂:** Artigos escritos em Inglês. Exceção aos Anais do SBGames e SIFR;
- CO₃:** Artigos de acesso na íntegra pelo Portal de Periódicos da CAPES;
- CO₄:** Artigos publicados em periódicos ou eventos científicos (revisados pelos pares);
- CO₅:** Artigos não duplicados;
- CO₆:** Artigos que são textos completos (maior ou igual a 4 páginas);

Os CO₁₋₄ são aplicados pelos recursos de filtros e refinamentos disponíveis diretamente em cada um dos MBAs. Os CO₅₋₆ são aplicados pelos pesquisadores.

Os CE_i foram definidos considerando a não identificação de estudos primários completos sobre jogos digitais aplicados à reabilitação de patologias respiratórias. O CI foi definido considerando a presença de indícios de inteligência artificial, seja explicitamente ou implicitamente observado pelos pesquisadores.

Foram definidos os seguintes CE_i e CI:

- CE₁:** Artigos que não propõem o uso de jogos digitais;
- CE₂:** Artigos que não se relacionam com reabilitação na área de patologias respiratórias;
- CE₃:** Artigos que não são primários (artigos de revisão, por exemplo);
- CI:** Independente da autodenominação, deve apresentar indícios (explícito ou implícito) de Inteligência Artificial na arquitetura do software do jogo ou do dispositivo de controle.

Foi definida uma estratégia para a uniformização e aplicação dos critérios subjetivos. Adotou-se primeiro a triagem do MBA que apresentou menor número de resultados, *Engineering Village*, na qual cinco autores aplicaram independentemente os CE₁₋₂ e realizaram em seguida a união dos resultados para validar o entendimento do protocolo e estabelecer um nivelamento na aplicação dos critérios subjetivos. Logo após chegarem ao consenso quanto aplicação dos critérios subjetivos, as triagens dos demais MBAs foram divididas entre os cinco pesquisadores, tomando o cuidado de levar para deliberação quaisquer discrepâncias, dúvidas quanto a exclusão e inclusão para ser decidido em consenso.

A metodologia utilizada para seleção dos artigos relevantes foi dividida em duas etapas: Seleção com a aplicação dos CO_i e CE_i com base em títulos e resumos somente; Seleção por leitura de texto completo com aplicação do CI.

D. Classes de Dados

Na quarta fase do protocolo, “Criar Classes de Dados”, identificam-se as características e depois se classificam os artigos conforme afinidade, com objetivo de formar grupos de conceitos com respectivas variáveis investigadas. Nesta fase, foram definidas classes de dados primários de informações relevantes para este mapeamento, conforme o seguinte dicionário de dados: (i) dados sobre a publicação: ano de publicação, primeiro autor, veículo de publicação, tipo de publicação; (ii) dados sobre os jogos digitais: nome do jogo, gênero, dispositivo, sinais, origem; (iii) dados sobre inteligência artificial: uso, local, comportamento, ênfase do esforço do usuário, técnica de IA, inteligência artificial; (iv)

dados sobre reabilitação respiratória: fase clínica, patologia, medidas, tratamento; (v) dados sobre a pesquisa: design de pesquisa, objetivo, medida, instrumento, dados demográficos, resultado.

E. Extração de Dados

Os artigos relevantes são mapeados na fase “Extração de dados e mapeamento”. Os dados extraídos contribuirão para obter as respostas das PS_i para posteriormente responder a PP desta pesquisa.

As questões de Extração de Dados (ED_i) a seguir guiaram o processo de classificação e análise:

- ED₀₁:** Qual a curva de crescimento de publicações e respectiva tendência da área de estudo?
- ED₀₂:** Qual a constância dos tipos de publicações?
- ED₀₃:** Quais os gêneros da narrativa que mais se destacaram e quais suas origens?
- ED₀₄:** Quais os sinais utilizados para controlar, conduzir e/ou monitorar o jogo?
- ED₀₅:** Quantos artigos usaram explicitamente Inteligência Artificial?
- ED₀₆:** Em qual local do sistema pode ser percebido e/ou identificado o uso de Inteligência Artificial?
- ED₀₇:** Qual a ênfase do esforço do usuário?
- ED₀₈:** Quais técnicas de Inteligência Artificial utilizadas?
- ED₀₉:** Qual comportamento percebido e/ou identificado que mais se destacou?
- ED₁₀:** Usa Inteligência Artificial explicitamente para qual objetivo e quais algoritmos?
- ED₁₁:** Quais patologias respiratórias foram abordadas?
- ED₁₂:** Quais tipos de tratamentos foram aplicados?
- ED₁₃:** Quais medidas (biosinais) foram avaliadas?

IV. RESULTADOS

Apresenta-se nesta seção os resultados e análises dos dados coletados dos artigos relevantes selecionados neste mapeamento. Vinte e oito artigos foram selecionados. A Tabela II contém o número de artigos que foram identificados e mantidos em cada etapa, a ordem de aplicação dos CO_i, CE_i e CI que aparecem foi adotada para otimizar o processo de seleção.

TABELA II. NÚMERO DE ARTIGOS IDENTIFICADOS.

Base de Dados	Frase Busca	CO 1-4	CO 5	CE 1	CE 2	CO 6	CE 3	CI
IEEE Xplore	1.245	743	566	17	5	4	4	4
Scopus	983	438	401	55	17	15	12	12
Engineering Village	125	80	26	6	3	1	1	1
Web of Science	318	195	84	24	8	2	2	2
PubMed	457	214	137	12	3	3	3	3
Science Direct	4.644	1.557	1.408	64	4	3	2	2
SBGames	124	124	124	104	4	4	3	3
SIFR	22	22	22	22	2	2	1	1
Total	7.918	3.373	2.768	304	46	34	28	28

Das 8 bases de dados consideradas neste mapeamento, a que apresentou mais publicações foi o *Scopus*, com 12 artigos, 43% dos resultados.

Após a busca preliminar (frase de busca com filtros/refinamentos CO₁₋₄), todos os artigos duplicados foram excluídos pelo CO₅ utilizando recurso condicional automatizado em planilha do MS Excel, gerada pela união dos resultados dos MBAs. Após a triagem de leitura dos títulos e resumos, 28 resultados permaneceram para avaliação do texto completo pelo CI e posteriormente, os 28 artigos, foram classificados como relevantes e selecionados no MSL.

Os artigos relevantes selecionados em cada MBA através deste mapeamento sistemático da literatura estão listados na Tabela III.

TABELA III. ARTIGOS RELEVANTES.

Base de Dados	Artigos
IEEE Xplore	[19], [20], [21], [22]
Scopus	[23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34]
Engineering Village	[35]
Web of Science	[36], [37]
PubMed	[38], [39], [40]
Science Direct	[41], [42]
SBGames	[43], [44], [45]
SIFR	[46]

Na Fig. 1 apresentam-se a frequência das publicações dos artigos relevantes no período de 2011-2020 e a tendência de crescimento da área de pesquisa (ED₀₁). Observa-se, por exemplo, que dos 28 artigos selecionados, o ano de maior frequência foi em 2018, com sete publicações.

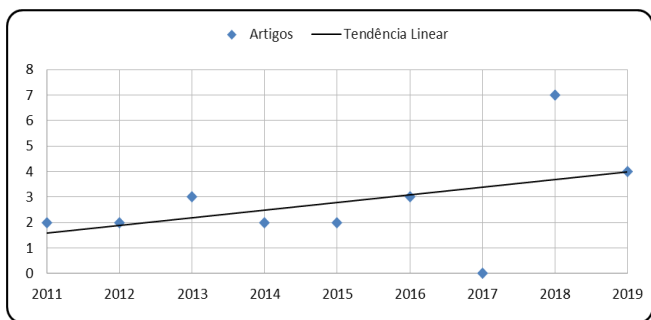


Fig. 1. Número de artigos publicados ao longo dos anos.

Quanto a constância dos tipos de publicações (ED₀₂), a Fig. 2 demonstra que os periódicos são mais frequentes nesta área de estudo, com 71% dos artigos selecionados. Os veículos de publicação mais frequentes identificados foram *Journal of Cystic Fibrosis* com 15% dos artigos de periódicos [31] [32] [42] e o *SBGames* com 38% dos artigos de eventos científicos [43] [44] [45].

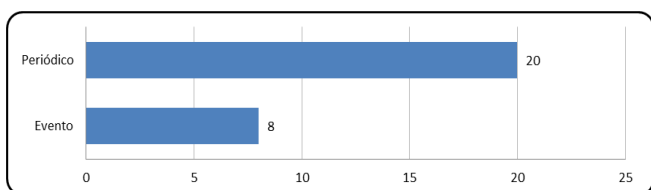


Fig. 2. Tipos de Publicação.

Em relação aos gêneros da narrativa dos JD que mais se destacaram e suas origens (ED₀₃), utilizados pelos artigos selecionados, pode ser visto na Fig. 3 que o gênero ação e desporto é o mais utilizado em jogos de origem comercial. Para os jogos de origem autoral (Jogos Sérios desenvolvidos pelos autores do artigo com propósito específico) o gênero ação é o mais utilizado. Destaca-se a existência artigos que abordam jogos contemplados em mais de um gênero. Foi identificado que 2, [20] [35], dos 28 artigos não descreveram qual jogo foi utilizado, descrevendo apenas o dispositivo e respectivos sinais usados para controlar um jogo qualquer.

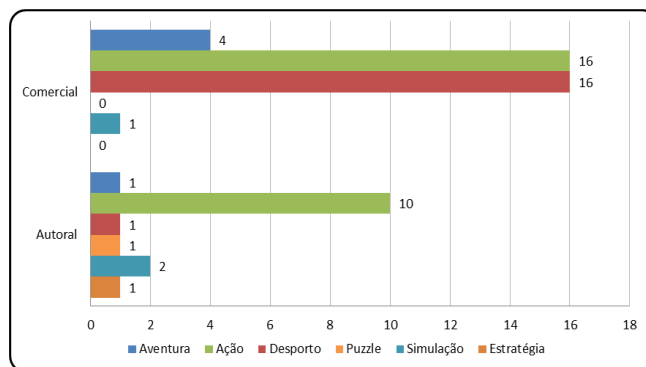


Fig. 3. Relação entre gêneros da narrativa e origens.

Os sinais utilizados para controlar, conduzir e/ou monitorar o jogo (ED₀₄) que foram identificados nos artigos são obtidos por intermédio dos movimentos dos jogadores e por intermédio do fluxo respiratório. Pode ser visto na Fig. 4 que os controles que captam os sinais dos movimentos são mais frequentes, sendo que 16 dos 17 estudos usam sensores *Kinect* ou *Wii* como controle do jogo para realizar os exercícios com treinamentos em uma ou mais modalidades de jogos comerciais, tais como: *Adventures* [23], *Wii Fit* [25], *EA Sports Active* [27]. Os artigos que não usaram *Kinect* ou *Wii*, propuseram o uso de dispositivos específicos para controlar o jogo, como por exemplo, dispositivos com sensores que utilizam o sinal da respiração.

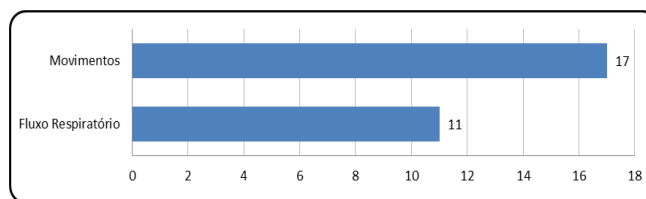


Fig. 4. Sinais utilizados.

Foram poucos os artigos que usaram explicitamente inteligência artificial (ED₀₅), apenas 11% dos artigos [20] [35] [41] descreveram explicitamente o uso de IA. Em maior frequência, foram identificados artigos que apresentaram indícios que permitiram inferir o uso de IA. Neste caso, foram classificados como “implícito” na variável “Uso de IA” (Fig. 5).

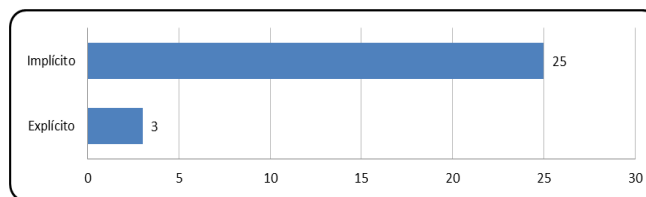


Fig. 5. Uso de IA.

Pode ser observado na Fig. 6, um gráfico de bolhas que permite relacionar as variáveis Uso de IA (implícito, explícito), Origem (comercial, autoral) e Sinal (fluxo respiratório, movimentos).

Dezesseis artigos utilizaram jogos de origem comercial, neste caso, o uso de IA pôde ser percebido implicitamente pela análise do *gameplay* e experiência dos pesquisadores. Observa-se uma maior frequência de artigos que se enquadram na percepção do uso de IA implícito: dentre os 28 artigos, 89% foram classificados por inferência, sendo 35% e 54%, respectivamente, controlados por sinais do fluxo respiratório e movimentos. Em 7% [20] [35] dos artigos não foi descrito qual jogo foi utilizado, portanto o lado esquerdo da Fig. 6 o quantitativo é menor.

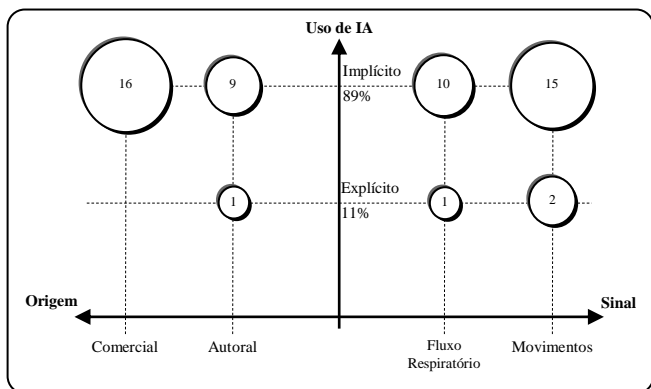


Fig. 6. Relação entre Uso de IA, Origem e Sinal.

Quanto aos locais de aplicação da IA no que pode ser percebido e/ou identificado, classificou-se o uso de IA (ED₀₆), em antes, durante ou depois do jogo (Fig. 7). Percebe-se ações inteligentes durante o jogo em 93% dos artigos selecionados.

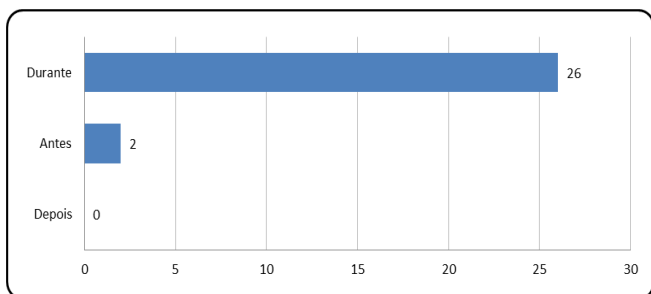


Fig. 7. Local de uso da IA.

Para a ênfase do esforço do usuário (ED₀₇), pode ser percebido, na Fig. 8, que dentre os 28 artigos selecionados que dão ênfase ao esforço motor, existem também 18% [22] [21] [29] [36] [41] que fazem uso simultâneo do esforço motor e cognitivo.

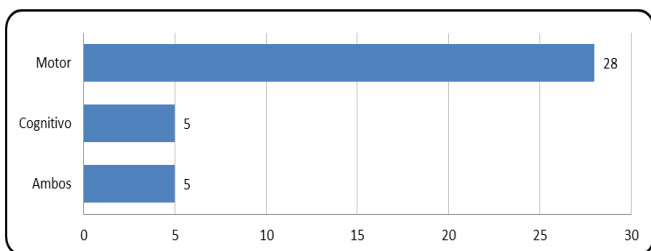
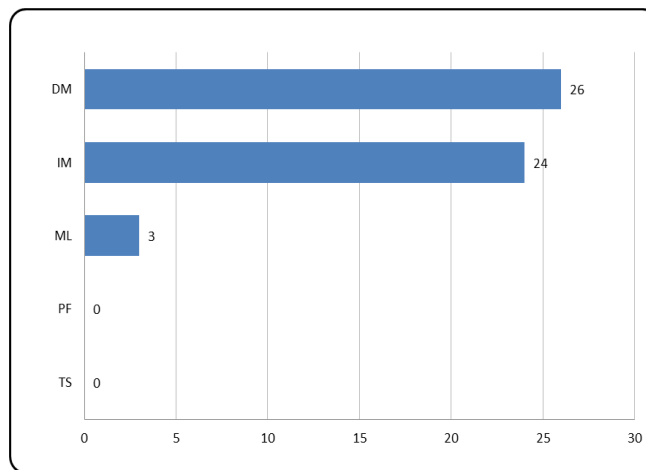


Fig. 8. Ênfase do esforço do usuário.

As técnicas de Inteligência Artificial utilizadas (ED₀₈), são constituídas por classes de algoritmos agrupadas por características e objetivos similares [47], tais como:

- *Intelligent Movement*: classe de algoritmos mais comumente utilizada e que permitem mover os personagens de maneira sensata com comportamentos de direção, força, velocidade, aceleração, colisão, perseguição, fuga, etc.;
- *Path Finding*: classe de algoritmos que permitem delimitar o espaço de busca para encontrar soluções eficientes de rotas para patrulha, fuga, perseguição, etc.;
- *Decision Making*: classe de algoritmos que promovem a capacidade de tomada de decisão;
- *Tactical and Strategic*: classe de algoritmos que incluem métodos táticos e estratégicos entre vários personagens para tomada de decisão;
- *Machine Learning*: classe de algoritmos que permitem que os personagens/agentes aprendam sobre seu ambiente e sobre opções táticas e estratégicas possíveis em seu ambiente para reconhecimento de padrões, classificação, tomada de decisão, etc.

A Fig. 9 exhibe as frequências de uso das técnicas de IA. Reparar que em alguns artigos tem-se o uso de mais de uma técnica de IA. Observa-se que as maiores frequências aparecem para *Intelligent Movement* e *Decision Making*. Estes dois grupos de algoritmos são frequentemente utilizados na implementação de mecânicas e jogabilidades em diversos gêneros da narrativa de JD.



Legenda: IM: Intelligent Movement; PF: Path Finding; DM: Decision Making, TS: Tactical and Strategic; ML: Machine Learning.

Fig. 9. Técnicas de IA.

O comportamento percebido e/ou identificado que mais se destacaram (ED₀₉) foi a indução na melhora da resistência muscular, cardiopulmonar, agilidade e equilíbrio, sendo este comportamento percebido em 54% dos artigos (Tabela IV). Infere-se na relação entre comportamento percebido e técnicas de IA, que 86% e 93% dos artigos utilizam respectivamente *Intelligent Movement* e *Decision Making*. Foi possível realizar esta inferência por intermédio do *gameplay* e das mecânicas dos jogos descritos nos artigos selecionados.

Quanto ao emprego da técnica *Machine Learning*, os artigos [20] [35] [41] descreveram explicitamente o emprego

de algoritmos computacionais inteligentes que se enquadram nesta categoria. Estes 3 artigos fazem uso explicitamente de IA (ED₁₀) com o objetivo de reconhecimento de padrões e visão computacional com algoritmos *Random forest classifier*, *Incremental-merge segmentation algorithm*, *Breathing pattern extraction*.

Muito embora os artigos [20] e [35] tenham feito experimentos com dispositivos de controle utilizando respectivamente os sensores *Kinect* e *Wimote*, eles não propuseram o uso de jogos. Em [41] os autores propuseram uma arquitetura para representar o padrão de respiração em um jogo de realidade virtual que monitora os sinais da respiração e do batimento cardíaco. De tal modo que calcula de forma inteligente o padrão da respiração ideal com base em medições atuais e históricas. Esses 3 artigos têm em comum o uso de inteligência artificial para fornecer *biofeedback* em tempo real durante a reabilitação respiratória.

TABELA IV. QUANTIDADE DE ARTIGOS NA RELÇÃO ENTRE COMPORTAMENTO PERCEBIDO E TÉCNICA DE IA.

Comportamento	IM	DM	ML
Análise de amostras de sopro por segundo	1	1	
Conduz o ciclo da respiração, as atividades cardiopulmonares e resistência muscular	6	6	1
Conduz o jogador aos passos necessários	1	1	
Detecta e isola o padrão de respiração			1
Exibe relação entre medição e predição de capacidade inspiratória		1	
Induz na melhoria da resistência muscular, cardiopulmonar, agilidade e equilíbrio	15	15	
Promove o nível de dificuldade gradual (<i>Flow</i>)	1	1	
Promove feedback conforme variação de sinais da respiração		2	1
Total	24	27	3

Legenda. IM: Intelligent Movement; DM: Decision Making, ML: Machine Learning.

Quanto às patologias respiratórias (ED₁₁) observa-se que a Fibrose Cística, com 36% dos artigos, representa a doença respiratória com maior frequência, seguida da patologia DPOC, com 32%. Foi identificado apenas 4% para Asma e Síndrome de Down [40] [46], (Fig. 10).

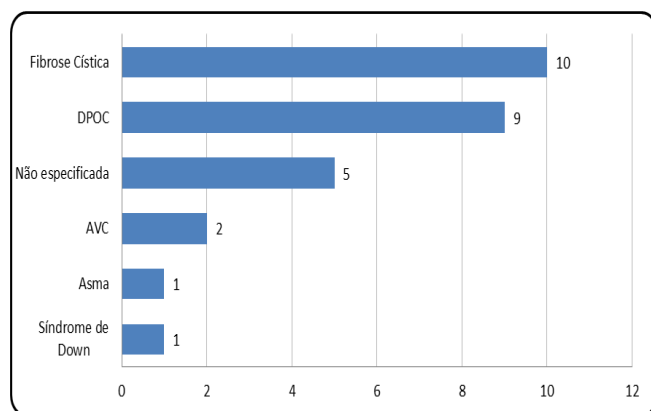


Fig. 10. Patologias associadas.

Foi observado nos artigos três tipos de tratamentos (ED₁₂), treinamento muscular, expansão pulmonar e limpeza das vias aéreas, conforme exibido na Fig. 11.

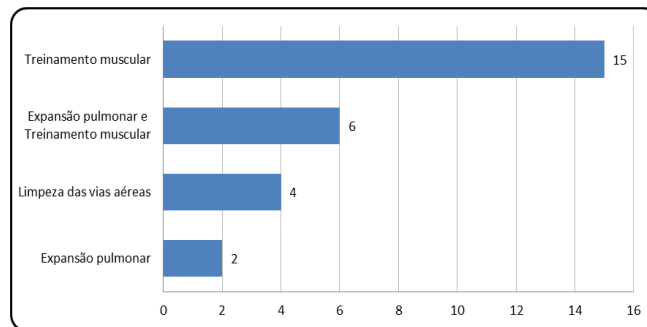
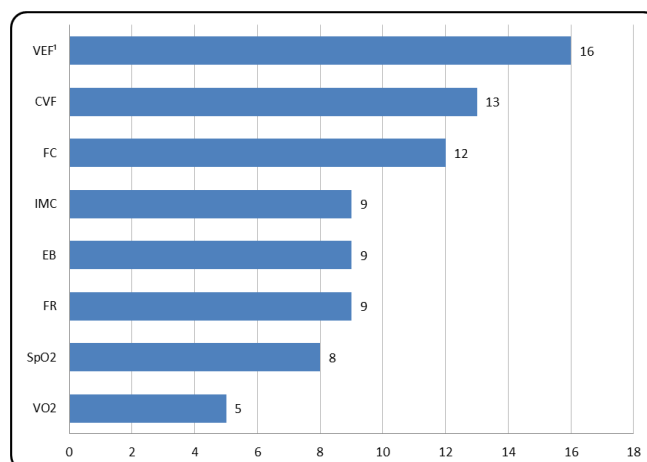


Fig. 11. Tratamentos mencionados.

As medidas (biosinais) avaliadas durante a fisioterapia (ED₁₃) podem ser observadas na Fig. 12. As medidas mais usadas foram volume expiratório forçado no primeiro segundo, capacidade vital forçada e a frequência cardíaca.



Legenda. VEF1: Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo; CVF: Capacidade Vital Forçada; FC: Frequência Cardíaca; IMC: Índice de Massa Corporal; EB: Escala Borg; FR: Frequência Respiratória; SpO2: Saturação de Oxigênio; VO2: Volume de Oxigênio.

Fig. 12. Biosinais utilizados.

A relação entre as variáveis Técnicas de IA, Tratamento e Patologia, exibida na Fig. 13, permite observar por exemplo, que 92% dos artigos abordaram a técnica de *Decision Making*, sendo 71% para Treinamento Muscular. Ao menos 36% são aplicados na patologia de Fibrose Cística. Observa-se também que ao menos 11% dos artigos fizeram uso de *Machine Learning* para treinamento muscular e ao menos 7% aplicado em DPOC.

Na relação entre as variáveis Técnicas de IA e Tratamento, foi possível perceber um conjunto de artigos que fazem uso de uma, duas ou mais técnicas de IA e um, dois ou mais tipos de tratamento em um mesmo ambiente de reabilitação. Por exemplo, os artigos [23], [24], [30], [31], [33] e [46] realizaram experimentos de treinamento muscular e expansão pulmonar utilizando *Intelligent Movement* e *Decision Making*.

V. RISCOS

Há um risco de se ter deixado de fora artigos relevantes de MBAs que não foram escolhidas neste MSL. Para mitigar este risco, o artigo [17] contribuiu na seleção de bases relevantes ao tema proposto por este mapeamento.

Existe um risco da falta de algum termo chave na busca. Neste caso, foi realizada uma busca manual nas referências bibliográficas dos artigos identificados, para procurar publicações adicionais relevantes. Percebeu-se que o artigo [48], identificado nas referências de [42], não foi listado nas

buscas porque em seu título e resumo os termos não foram condizentes com a frase de busca deste mapeamento. Isto pode ter ocorrido porque não foram utilizados termos específicos como *exercise*, *wii* e *Kinect* por não serem diretamente associados a terapia e não serem indicação de

técnica ou método.

Outro risco é que podem ter ocorrido erros na aplicação dos critérios subjetivos, mesmo tendo os pesquisadores realizado reuniões frequentes para discutir as discordâncias ou dúvidas na exclusão e inclusão dos artigos.

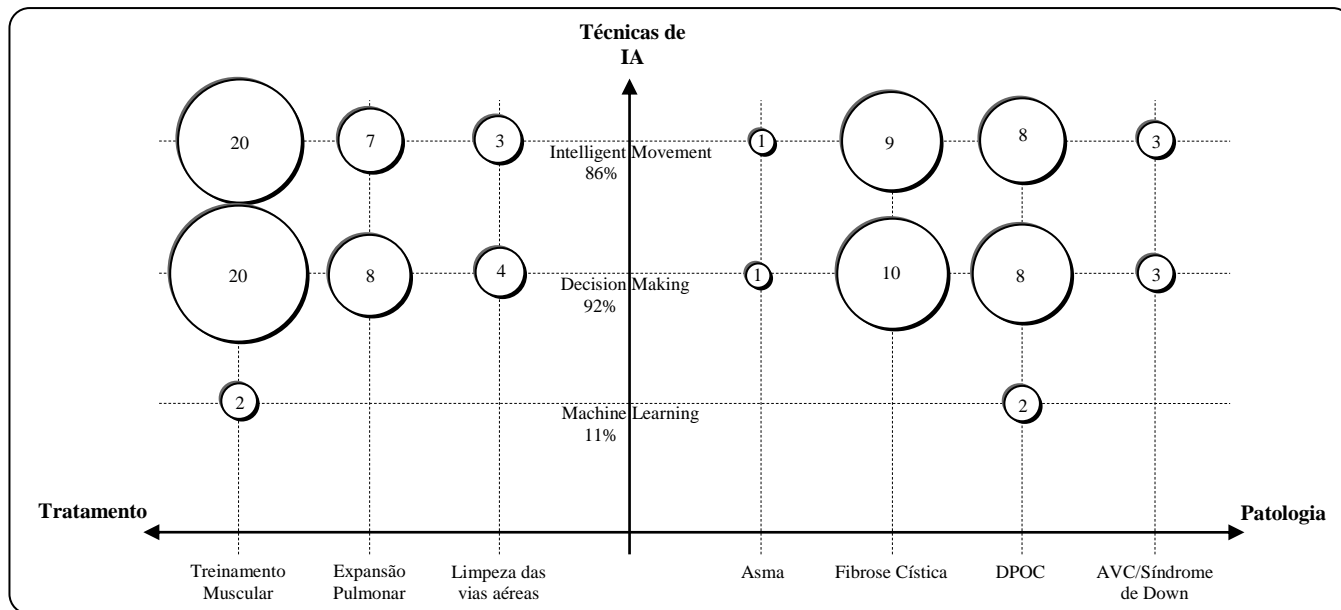


Fig. 13. Relação entre Técnicas de IA, Tratamentos e Patologias.

VI. DISCUSSÃO

Os resultados deste mapeamento apresentaram evidências de que esta área de estudo está em crescimento no número de publicações, com um incremento médio anual de 8%, Fig. 1. Para obtenção desta taxa de crescimento, o ano de 2020 foi desconsiderado, uma vez que os artigos não são cadastrados nas bases de dados imediatamente, podendo ainda surgirem novos artigos. A aplicação do CE₃ resultou em seis eliminações de artigos de revisões, mas nenhum relacionado ao tema deste estudo o que indica claramente a necessidade do presente mapeamento da literatura.

Na relação entre os gêneros da narrativa do JD, suas origens e sinais utilizados, há uma maior frequência do emprego de jogos comerciais dos gêneros ação e esporte, Fig. 3, controlados por captura de movimentos, por exemplo, nas modalidades *Adventures*, *Wii Fit*, *EA Sports Active* que promovem exercícios aeróbicos com dispositivos *Kinect*, *Wii mote*, entre outros. Isto ocorre, possivelmente, devido a popularidade e facilidade da adesão a consoles de videogames e dispositivos já disponíveis no mercado com proeminência às suítes de jogos comerciais desenvolvidas especialmente para estes equipamentos. Tais artefatos têm sido utilizados por terapeutas como complemento à reabilitação respiratória por apresentarem exercícios aeróbicos que estimulam o treinamento cardiorrespiratório e que são similares ou equivalentes aos exercícios das intervenções fisioterapêuticas tradicionais. Nos JD autorais, observam-se os Jogos Sérios com expectativa de bons resultados por terem propósitos específicos. Percebe-se que há uma maior frequência do emprego do gênero ação, controlados por captura de sinais da respiração.

Em apenas três artigos foi descrito o uso explícito de inteligência artificial, sendo que apenas um [41] apresentou experimentos com jogos enquanto os outros dois [20] [35] apresentaram respectivamente experimentos com

dispositivos *Kinect* e *Wii mote*. Foram identificados artigos do uso de JD com maior frequência nas patologias de Fibrose Cística e DPOC. Observa-se na relação entre técnicas de IA, tratamentos e patologias, que poucos artigos têm explorado o emprego de IA. Os JD normalmente não têm um recurso de análise e monitoramento dos biosinais desejáveis para o paciente e não têm monitoramento para evitar desconfortos respiratórios, tais como: cansaço, falta de ar, ritmo respiratório e cardíaco acelerado ou baixo, vertigem, hiperventilação, hipoventilação, entre outros desconfortos.

Em reabilitação respiratória é fundamental que os exercícios incentivados pelo JD sejam monitorados por um sistema biomédico para promover segurança ao paciente. A IA pode contribuir para este propósito.

Considerando os trabalhos selecionados e as técnicas de IA, pode-se perceber que elas podem ser combinadas antes, durante (dentro) e/ou depois de usar o JD para oferecer várias funções (Tabela V).

TABELA V. FUNÇÕES DA IA EM JD.

Momento de uso	Funções
Antes de usar	<ul style="list-style-type: none"> • Customização do tratamento • Dosimetria
Durante o uso (dentro)	<ul style="list-style-type: none"> • Segurança (análise de sinais) • Conforto físico e motivacional (Flow) • Diversão
Depois de usar	<ul style="list-style-type: none"> • Ajuste de Dosimetria • Diagnóstico de alta

Antes de usar o JD, a IA pode ser implementada para ajudar a selecionar o JD a ser usado, sua parametrização (nível de dificuldade, fase do JD) em função da patologia e

paciente, bem como a dosimetria (que é a determinação da quantidade, frequência e duração das sessões de tratamento) inicial.

Durante o uso do JD, nas entradas de biosinais, perante inúmeras repetições de exercícios respiratórios, o paciente pode começar a respirar muito rápido, provocando o descompasso da respiração e do batimento cardíaco, podendo levar o paciente a desconfortos respiratórios. Neste caso, a IA pode ser aplicada para monitorar sinais (por exemplo, do batimento cardíaco e/ou da saturação de oxigênio) provendo a segurança com base em medições atuais e históricas do paciente.

Ainda durante o uso do JD, na condução dos exercícios fisioterapêuticos, uma situação desagradável pode aparecer e só ser percebida em casos extremos. Neste caso, a IA pode proporcionar mais conforto ajustando por exemplo: escala de dificuldade, desafios, comportamentos, objetos de jogo. Assim, mantendo também a segurança do paciente durante a reabilitação respiratória, emitindo alerta ou até interrompendo o exercício caso seja detectada alguma anormalidade, e então evitando que o paciente sinta desconfortos respiratório (fisiológicos) ou motivacional (psicológicos) associado ao *flow* [3].

A IA pode ainda ser usada nos JD para prover maior diversão pela criação variada, inusitada, contínua e automática de cenários e/ou desafios, condizentes com a terapia do paciente e contribuindo para tornar o jogo menos repetitivo e previsível.

Depois do uso do JD, na geração de relatórios e laudos, a IA pode também contribuir analisando dados do jogo e dando *feedback* de desempenho que permita ao terapeuta monitorar e analisar o progresso do paciente, e ajustar o treino para as próximas seções de fisioterapia, conforme objetivos do tratamento, sugerindo alterações no número, duração ou intervalo de sessões de terapia (dosimetria) e na indicação de possível diagnóstico de alta.

A utilização da IA antes, durante e depois do JD, proverá a adequação da resposta ao estímulo fisiológico e psicológico gerado pelo JD para que o fluxo do jogo, imediato ou ao longo prazo, não fique muito exigente nem muito relaxado para o paciente, não o levando a sentir frustração ou ficar entediado, levando assim a uma maior aderência ao tratamento. Ainda, o acompanhamento suportado por técnicas de IA pode auxiliar na otimização do tratamento economizando recursos (duração da sessão e números de sessões) e abreviando o tratamento.

VII. CONCLUSÃO

O objetivo principal deste mapeamento sistemático da literatura foi buscar identificar tendências e lacunas sobre o uso da Inteligência Artificial (IA) em Jogos Digitais (JD) aplicados à Reabilitação Respiratória. As técnicas de Inteligência Artificial mais encontradas foram *Intelligent Movement*, *Decision Making* e *Machine Learning*, sendo estes três grupos constituídos de uma coleção de algoritmos que são frequentemente utilizados em diversos gêneros de jogos digitais. Encontrou-se artigos aplicados principalmente para tratamentos da Fibrose Cística e Doenças Pulmonares Obstrutivas Crônicas, sendo que a maioria dos artigos abordou o treinamento muscular respiratório, mas não necessariamente sensoriando o fluxo respiratório (mas sim incentivando atividades físicas aeróbicas) e a maioria dos artigos usou a IA durante o uso (dentro) do JD.

As análises dos resultados permitiram apontar que existe uma lacuna em relação às publicações, tendo poucos artigos

propondo explicitamente o uso de Inteligência Artificial em Jogos Digitais aplicados à Reabilitação Respiratória. Nos demais artigos classificados neste mapeamento, foi possível perceber implicitamente comportamentos inteligentes que permitiram inferir o uso de técnicas de Inteligência Artificial, como por exemplo, *Intelligent Movement* e *Decision Making*. Conclui-se que existem inúmeras oportunidades de uso da IA no desenvolvimento de Jogos Sérios para auxiliar profissionais e pacientes da área da saúde pulmonar.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina - FAPESC 2019TR776 e 2019TR712 e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq-Brasil) pelas bolsas de produtividade DT2.

REFERÊNCIAS

- [1] S. Russell and P. Norvig, *Artificial Intelligence A Modern Approach*, Third Edit. 2010.
- [2] E. A. A. Gunn, B. G. W. Craenen, and E. Hart, "A taxonomy of video games and AI," *Adapt. Emergent Behav. Complex Syst. - Proc. 23rd Conv. Soc. Study Artif. Intell. Simul. Behav. AISB 2009*, pp. 4–14, 2009.
- [3] C. Arzate Cruz and J. A. Ramirez Uresti, "Player-centered game AI from a flow perspective: Towards a better understanding of past trends and future directions," *Entertain. Comput.*, vol. 20, pp. 11–24, 2017, doi: 10.1016/j.entcom.2017.02.003.
- [4] World health statistics, *World health statistics 2018: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals.*, vol. 7. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 2018.
- [5] European Respiratory Society, *The Global Impact of Respiratory Disease- Second Edition*. 2017.
- [6] B. Epidemiológico, "Perfil da morbimortalidade por doenças respiratórias crônicas no Brasil, 2003 a 2013," *Bol. Epidemiológico*, vol. 47, no. 19, pp. 1–9, 2016, doi: 10.5123/S1679-49742014000400002.
- [7] WHO, "WORLD HEALTH ORGANIZATION.," *WHO COVID-19 Dashboard.*, 2020. .
- [8] MS, "Boletins Epidemiológico," 2020. <http://www.saude.gov.br/boletins-epidemiologicos> (accessed May 07, 2020).
- [9] L.-L. Yang and T. Yang, "Pulmonary rehabilitation for patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19)," *Chronic Dis. Transl. Med.*, vol. 6, no. 2, pp. 79–86, 2020, doi: 10.1016/j.cdtm.2020.05.002.
- [10] J. T. C. Néry, Y. A. M. Henrique, M. da S. Hounsell, and A. Karczinski, "Jogos Sérios Multimodais para a Saúde: Um Mapeamento Sistemático da Literatura," *XVIII SBGames, Simpósio Bras. Games e Entretenimento Digit.*, pp. 198–206, 2019.
- [11] R. P. Carbonera, F. M. Vendrusculo, and M. V. F. Donadio, "Physiological responses during exercise with video games in patients with cystic fibrosis: A systematic review," *Respir. Med.*, vol. 119, pp. 63–69, 2016, doi: 10.1016/j.rmed.2016.08.011.
- [12] S. J. Butler, A. L. Lee, R. S. Goldstein, and D. Brooks, "Active Video Games as a Training Tool for Individuals With Chronic Respiratory Diseases: a systematic review," *J. Cardiopulm. Rehabil. Prev.*, vol. 39, no. 2, pp. 85–90, 2019, doi: 10.1097/HCR.0000000000000320.
- [13] J. Simmich, A. J. Deacon, and T. G. Russell, "Active video games for rehabilitation in respiratory conditions: Systematic review and meta-analysis," *J. Med. Internet Res.*, vol. 21, no. 2, 2019, doi: 10.2196/10116.
- [14] Y. Q. Wang *et al.*, "Active Video Games as an Adjunct to Pulmonary Rehabilitation of Patients With Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis," *Am. J. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 99, no. 5, pp. 372–380, 2020, doi: 10.1097/PHM.0000000000001341.
- [15] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba, and M. Mattsson, "Systematic Mapping Studies in Software Engineering," pp. 1–10, 2007.

- [16] K. Petersen, S. Vakkalanka, and L. Kuzniarz, “Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update,” *Inf. Softw. Technol.*, vol. 64, pp. 1–18, 2015, doi: 10.1016/j.infsof.2015.03.007.
- [17] D. Buchinger, G. de S. C. Andriolli, and M. da S. Hounsell, “Mecanismos de busca acadêmica: uma análise quantitativa,” *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, Passo Fundo, pp. 108–120, Apr. 2014.
- [18] R. H. Grimes and M. da S. Hounsell, “Sistema biomédico (com jogo sério e dispositivo especial) para reabilitação respiratória.” Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina, 2018.
- [19] T. Vagg, Y. Y. Tan, C. Shortt, C. Hickey, B. J. Plant, and S. Tabirca, “MHealth and Serious Game Analytics for Cystic Fibrosis Adults,” *Proc. - IEEE Symp. Comput. Med. Syst.*, pp. 100–105, 2018, doi: 10.1109/CBMS.2018.00025.
- [20] M. Kotova and P. Korvas, “Playing computer games for isolated breathing therapy,” *IECBES 2016 - IEEE-EMBS Conf. Biomed. Eng. Sci.*, pp. 175–180, 2016, doi: 10.1109/IECBES.2016.7843438.
- [21] P. F. S. Chacon *et al.*, “Support and rehabilitation of patients with pulmonary expansion deficit by using game therapy,” *Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS*, pp. 5632–5635, 2016, doi: 10.1109/EMBC.2016.7592004.
- [22] A. Oikonomou and D. Day, “Using serious games to motivate children with cystic fibrosis to engage with mucus clearance physiotherapy,” *Proc. - 2012 6th Int. Conf. Complex, Intelligent, Softw. Intensive Syst. CISIS 2012*, pp. 34–39, 2012, doi: 10.1109/CISIS.2012.108.
- [23] S. Rutkowski *et al.*, “Virtual reality rehabilitation in patients with chronic obstructive pulmonary disease: A randomized controlled trial,” *Int. J. COPD*, vol. 15, pp. 117–124, 2020, doi: 10.2147/COPD.S223592.
- [24] S. Rutkowski, A. Rutkowska, D. Jastrzębski, H. Racheniuik, W. Pawełczyk, and J. Szczegielniak, “Effect of Virtual Reality-Based Rehabilitation on Physical Fitness in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease,” *J. Hum. Kinet.*, vol. 69, no. 1, pp. 149–157, Oct. 2019, doi: 10.2478/hukin-2019-0022.
- [25] Y. S. Sutanto, D. N. Makhabah, J. Aphridasari, M. Doewes, Suradi, and N. Ambrosino, “Videogame assisted exercise training in patients with chronic obstructive pulmonary disease: A preliminary study,” *Pulmonology*, vol. 25, no. 5, pp. 275–282, 2019, doi: 10.1016/j.pulmoe.2019.03.007.
- [26] A. A. Parent, V. Gosselin-Boucher, M. Houle-Peloquin, C. Poirier, and A. S. Comtois, “Pilot project: Physiologic responses to a high-intensity active video game with COPD patients—Tools for home rehabilitation,” *Clin. Respir. J.*, vol. 12, no. 5, pp. 1927–1936, 2018, doi: 10.1111/crj.12760.
- [27] T. Del Corral, M. À. Cebrià Iranzo, I. López-de-Uralde-Villanueva, R. Martínez-Alejos, I. Blanco, and J. Vilaró, “Effectiveness of a home-based active video game programme in young cystic fibrosis patients,” *Respiration*, vol. 95, no. 2, pp. 87–97, 2018, doi: 10.1159/000481264.
- [28] T. Legear, M. Legear, D. Preradovic, G. Wilson, A. Kirkham, and P. G. Camp, “Does a Nintendo Wii exercise program provide similar exercise demands as a traditional pulmonary rehabilitation program in adults with COPD?,” *Clin. Respir. J.*, vol. 10, no. 3, pp. 303–310, 2016, doi: 10.1111/crj.12216.
- [29] S. Joo, D. Shin, and C. Song, “The effects of game-based breathing exercise on pulmonary function in stroke patients: A preliminary study,” *Med. Sci. Monit.*, vol. 21, pp. 1806–1811, 2015, doi: 10.12659/MSM.893420.
- [30] S. Mazzoleni *et al.*, “Interactive videogame as rehabilitation tool of patients with chronic respiratory diseases: Preliminary results of a feasibility study,” *Respir. Med.*, vol. 108, no. 10, pp. 1516–1524, Oct. 2014, doi: 10.1016/j.rmed.2014.07.004.
- [31] T. del Corral, J. Percegon, M. Seborga, R. A. Rabinovich, and J. Vilaró, “Physiological response during activity programs using Wii-based video games in patients with cystic fibrosis (CF),” *J. Cyst. Fibros.*, vol. 13, no. 6, pp. 706–711, 2014, doi: 10.1016/j.jcf.2014.05.004.
- [32] H. Holmes *et al.*, “Xbox Kinect™ represents high intensity exercise for adults with cystic fibrosis,” *J. Cyst. Fibros.*, vol. 12, no. 6, pp. 604–608, 2013, doi: 10.1016/j.jcf.2013.05.005.
- [33] R. Wardini *et al.*, “Using a virtual game system to innovate pulmonary rehabilitation: Safety, adherence and enjoyment in severe chronic obstructive pulmonary disease,” *Can. Respir. J.*, vol. 20, no. 5, pp. 357–361, 2013, doi: 10.1155/2013/563861.
- [34] S. S. Kuys, K. Hall, M. Peasey, M. Wood, R. Cobb, and S. C. Bell, “Gaming console exercise and cycle or treadmill exercise provide similar cardiovascular demand in adults with cystic fibrosis: a randomised cross-over trial,” *J. Physiother.*, vol. 57, no. 1, pp. 35–40, 2011, doi: 10.1016/S1836-9553(11)70005-4.
- [35] J. Guirao Aguilar, J. G. Bellika, L. Fernandez Luque, and V. Traver Salcedo, “Respiration tracking using the Wii remote game controller,” *Stud. Health Technol. Inform.*, vol. 169, pp. 455–459, 2011, doi: 10.3233/978-1-60750-806-9-455.
- [36] S. Joo, K. Lee, and C. Song, “A comparative study of smartphone game with spirometry for pulmonary function assessment in stroke patients,” *Biomed Res. Int.*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/2439312.
- [37] P. M. Bingham, T. Lahiri, and T. Ashikaga, “Pilot trial of spirometer games for airway clearance practice in cystic fibrosis,” *Respir. Care*, vol. 57, no. 8, pp. 1278–1284, 2012, doi: 10.4187/respcare.01263.
- [38] H. K. Yuen, J. D. Lowman, R. A. Oster, and J. A. De Andrade, “Home-Based Pulmonary Rehabilitation for Patients With Idiopathic Pulmonary Fibrosis: a pilot study,” *J. Cardiopulm. Rehabil. Prev.*, vol. 39, no. 4, pp. 281–284, 2019, doi: 10.1097/HCR.0000000000000418.
- [39] F. Balli, “Developing Digital Games to Address Airway Clearance Therapy in Children With Cystic Fibrosis: Participatory Design Process,” *JMIR Serious Games*, vol. 6, no. 4, p. e18, 2018, doi: 10.2196/games.8964.
- [40] E. L. F. D. Gomes *et al.*, “Active video game exercise training improves the clinical control of asthma in children: Randomized controlled trial,” *PLoS One*, vol. 10, no. 8, pp. 1–11, 2015, doi: 10.1371/journal.pone.0135433.
- [41] L. Tu, T. Hao, C. Bi, and G. Xing, “BreathCoach: A smart in-home breathing training system with bio-feedback via VR game,” *Smart Heal.*, vol. 16, May 2020, doi: 10.1016/j.smhl.2019.100090.
- [42] N. E. Campos *et al.*, “Evaluation of the exercise intensity generated by active video gaming in patients with cystic fibrosis and healthy individuals,” *J. Cyst. Fibros.*, pp. 1–8, 2020, doi: 10.1016/j.jcf.2020.01.001.
- [43] R. H. Grimes, A. M. dos Santos, and M. da S. Hounsell, “O Processo de Design de um Sistema Biomédico com Jogo Sério e Dispositivo Especial para Reabilitação Respiratória,” *XVII SBGames, Simpósio Bras. Games e Entretenimento Digit.*, pp. 215–224, 2018.
- [44] A. M. dos Santos *et al.*, “I Blue It: Um Jogo Sério para auxiliar na Reabilitação Respiratória,” *XVII SBGames, Simpósio Bras. Games e Entretenimento Digit.*, pp. 179–188, 2018.
- [45] Y. A. M. Henrique, J. T. C. Néry, and M. S. Hounsell, “Desenvolvimento de Dispositivo Híbrido para Jogo Sério Aplicado a Saude,” *XVIII SBGames, Simpósio Bras. Games e Entretenimento Digit.*, pp. 102–110, 2019.
- [46] S. A. Pereira, F. Lago, L. da S. Melo, C. A. Moran, and M. P. Baroni, “Uso do Nintendo Wii e adaptações cardiorrespiratórias agudas em uma criança com Síndrome de Down: relato de caso,” *Simpósio Int. Fisioter. Cardiorrespiratória e Fisioter. em Ter. Intensiva*, pp. 45–50, 2013.
- [47] I. Millington and J. Funge, *Artificial Intelligence For Games*, 2nd ed. 2009.
- [48] C. O. Donovan, P. Grealley, G. Canny, P. McNally, and J. Hussey, “Active video games as an exercise tool for children with cystic fibrosis,” *J. Cyst. Fibros.*, vol. 13, no. 3, pp. 341–346, 2014, doi: 10.1016/j.jcf.2013.10.008.