



**Pontifícia Universidade Católica de São Paulo**  
**PRPG - Secretaria Acadêmica da Pós-Graduação**

**Alberto Cabral Fusaro**

**IA e Criatividade de Máquina na geração da**  
***Ilusão Suficiente* em Videogames**

**Doutorado em Tecnologias da Inteligência e Design Digital**

Tese apresentada à Banca Examinadora da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de Doutor em Tecnologias da Inteligência e Design Digital sob a orientação da Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Lucia Santaella Braga

**São Paulo**  
**2023**

**Banca Examinadora**

---

---

---

---

---

---

---

---

## **AGRADECIMENTO CAPES**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 – processo número 88887.369461/2019-00

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001 – processo número 88887.369461/2019-00.

## **AGRADECIMENTOS**

Em especial à Prof<sup>ª</sup>. Dra. Lucia Santaella, por seu inspirador brilhantismo intelectual, pelas generosas demonstrações de respeito e compreensão compartilhadas ao longo dessa jornada e, principalmente, pela liberdade investigativa decorrente do voto de confiança depositado em minha pesquisa.

À Márcia, pelo amor e pelo companheirismo sempre incondicionalmente oferecidos a cada um de meus passos, incentivando-me com o calor de seu afeto e com a luz clara de sua mente.

A todos os professores do programa de estudos pós-graduados em Tecnologias da Inteligência e Design Digital da PUC-SP, em especial ao Prof. Dr. Sergio Basbaum e ao Prof. Dr. Nelson Brissac Peixoto, pelas importantes contribuições em meu trajeto de pesquisa, ampliando meus horizontes e apresentando novos caminhos possíveis de investigação.

Ao Prof. Dr. Winfried Maximilian Noth e ao Prof. Dr. Marcelo Augusto Vieira Graglia, pelos gentis e significativos comentários e sugestões oferecidos em minha Qualificação.

À Profa. Dra. Ana Maria Haddad Baptista e ao Prof. Dr. Paulo Roberto Prado Constantino, pela generosidade do aceite em participar da minha Banca de Defesa.

À Profa. Dra. Carminda Mendes André e ao Prof. Dr. Marcus Vinicius Fainer Bastos, pela gentileza de aceitarem ser suplentes da minha Banca de Defesa.

## **RESUMO**

Nossa pesquisa se enquadra em um segmento do ramo de estudos de Inteligência Artificial, mais especificamente o das IAs Fracas, investigando o modo como são utilizadas no desenvolvimento de games – jogos que operam em uma plataforma de tecnologia eletrônica. Focalizamos a investigação no modo como um conjunto de agentes de IA, gerando ilusões distintas, sejam de inteligência, de afeto, de realismo ou outra, participam de um sistema ilusório em equilíbrio com cada elemento de game em sua justa medida para formar uma *ilusão suficiente*, um efeito resultante da interação triádica entre o jogador, o contexto do jogar (gameplay) e o game, no qual se forma um espaço virtual de realidade imersiva de modo que a experiência do jogar e as emoções resultantes são reais.

**PALAVRAS-CHAVE:** inteligência artificial, games, aprendizagem de máquina, simulação comportamental, ilusão.

## **ABSTRACT**

Our investigation fits into a branch of Artificial Intelligence research, namely the Weak AIs subset, aiming to figure out the way that these AIs are applied in videogames development – we call it just “games”, referring to all games that run on any form of electronics platform. Our focus bears on how a set of AI agents, generating different illusions, whether of intelligence, affection, realism and so on, participate in an illusory system in balance with each game element in its fair measure to form a *sufficient illusion*, an effect resulting from the triadic interaction between the player, the gameplay and the game, in which a virtual space of immersive reality is formed, so the experience of playing and the resulting emotions are real.

**KEYWORDS:** artificial intelligence, games, machine learning, behavioral simulation, illusion.

# SUMÁRIO

<b>Banca Examinadora</b>	<b>02</b>
<b>Agradecimento CAPES</b>	<b>03</b>
<b>Agradecimentos</b>	<b>04</b>
<b>Resumo</b>	<b>05</b>
<b>Abstract</b>	<b>06</b>
<b>1. Introdução</b>	<b>08</b>
<b>1.1 Retomando o Trajeto em Sobrevo</b>	<b>08</b>
<b>1.2 Game para dois</b>	<b>13</b>
<b>1.3 IAs na Guerra Tríplice</b>	<b>19</b>
<b>1.4 Game aos Pedacos</b>	<b>22</b>
<b>1.5 Agentes do Sistema</b>	<b>25</b>
<b>1.6 A Chegada ao Jogo da Ilusão</b>	<b>26</b>
<b>1.7 Agentes que Aprendem</b>	<b>28</b>
<b>1.8 IAs e Emoções Reais</b>	<b>30</b>
<b>1.9 Aterrissando no Presente Investigativo</b>	<b>31</b>
<b>1.10 E nasce a questão da <i>Ilusão Suficiente</i></b>	<b>34</b>
<b>2. Algumas definições e conceitos</b>	<b>37</b>
<b>2.1 Começaremos pela definição de IA</b>	<b>37</b>
<b>2.2 Definição abreviada de Aprendizagem de Máquina (Machine Learning)</b>	<b>43</b>
<b>2.3 Apresentando o conceito de Algoritmo</b>	<b>45</b>
<b>2.4 Breve conceituação de Sistema</b>	<b>45</b>
<b>2.5 Conceituando Game</b>	<b>46</b>
<b>2.6 Rápido sobrevo sobre a Interatividade</b>	<b>48</b>
<b>2.7 Ousando resumir a definição de Inteligência</b>	<b>50</b>
<b>3. Da História ao Estado da Arte</b>	<b>52</b>
<b>3.1 Um Breve Trajeto Histórico da IA</b>	<b>52</b>
<b>3.2 Sintetizando a Relação Histórica Entre IAs e Games</b>	<b>58</b>
<b>3.3 Chegando ao Estado da Arte</b>	<b>74</b>
<b>4. <i>Ilusão Suficiente</i></b>	<b>81</b>
<b>4.1 Identificando a <i>Ilusão Suficiente</i></b>	<b>93</b>
<b>4.2 <i>Ilusão Suficiente</i> em <i>Mass Effect</i></b>	<b>94</b>
<b>4.3 Ausência da <i>Ilusão Suficiente</i> em <i>Too Human</i></b>	<b>98</b>
<b>5. Considerações Finais</b>	<b>103</b>
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>108</b>

# CAPÍTULO 1 – Introdução

## 1.1 Retomando o Trajeto em Sobrevoos

Nossa investigação a respeito da utilização de IA em games para gerar ilusão não é recente. Começamos a nos envolver por esse trajeto com outro recorte, nascido de nosso interesse por entender o funcionamento dos agentes inteligentes que pilotavam, e ainda pilotam, os veículos controlados pelo sistema nos games de corrida da franquia *Forza* da Microsoft. O modo como desempenhavam seu papel nas partidas nos pareceu algo tão intrigante que acabou se tornando o foco de nosso Mestrado, publicado na íntegra sob o título “Inteligência Artificial e Emoção Real: games que vencem o jogo da ilusão” (Cabral, 2020), em torno do papel das IAs na geração da ilusão do aspecto afetivo nos videogames e, como julgamos se tratar de um excelente exemplo para ilustrar o fenômeno da *ilusão suficiente*, nossa hipótese e foco central da investigação atual, achamos importante sobrevoar aqui, de saída, pelo trajeto que percorremos em tal investida prévia.

Tínhamos por objetivo estudar o uso de elementos de programação e agentes de IA na construção de dispositivos virtuais que simulariam comportamento humano, mais especificamente emulando e replicando artificialmente o modo de agir de praticamente todos os jogadores humanos dos videogames da franquia de games de corrida de carros *Forza*, da Microsoft e da Turn10 Studios, por meio da construção de personagens virtuais chamados de “Drivatars”, que atuavam como participantes e competidores. Além de buscarmos desvendar as técnicas empregadas no desenvolvimento de seus agentes de IA, pesquisamos também as estratégias e os artifícios empregados para envolver emocionalmente os participantes humanos quando essas simulações digitais entravam em ação dividindo as pistas virtuais com jogadores reais.

Foi a partir do título *Forza Motorsport 5*, lançado em 2013, e de *Forza Horizon 2*, lançado um ano depois, que os Drivatars foram implementados para substituir os “bots” – agentes de IA que controlam NPCs que podem ser adversários ou aliados em toda sorte de competição em games – utilizados até a iteração anterior dos games da franquia. Enquanto *Forza 5* era um game de corridas automotivas típicas em pistas ou circuitos de rua fechados, similar a campeonatos de Fórmula 1 ou de *Stock-Car*, o *spin-off* (título derivado) *Forza Horizon* era um game de aventura em mundo aberto híbrido online-offline, girando em torno

de um festival de corridas, no qual poderiam ocorrer competições classificatórias organizadas pelo sistema-festival entre múltiplos competidores, desafios individuais (conhecidos como “rachas”) feitos ou recebidos a qualquer momento e, mais curiosamente, passeios coletivos, reunindo jogadores em uma caravana para explorar cenários sem competir, descobrir trajetos ou passar por certos desafios juntos, muitas vezes formando pequenas equipes colaborativas que competiriam entre si por “direito de bravata” já que, além de acumular vitórias, para progredir na aventura o jogador precisaria tornar seu avatar “popular” com manobras ousadas, estilo diferenciado de pilotar e superando quaisquer obstáculos que o sistema colocasse na jornada.

Ambos os formatos foram pensados para serem jogados online, em modo multijogador, offline, em modo “solo” (apenas 1 jogador), ou nesse mesmo modo individual, mas online. Nessa situação, em vez de utilizar os bots convencionais, agentes de IA baseados em algoritmos de análise de trajeto por meio de estratégias clássicas de decisão, utilizados no modo offline para pilotar os demais veículos, o sistema fazia o download dos Drivatars – agentes de IA especializados, treinados por meio de aprendizagem de máquina para simular outras pessoas que já jogaram anteriormente múltiplas vezes. Um dos pontos centrais desse processo teria sido a coleta de dados constante das partidas online dos títulos anteriores da franquia, pioneira entre os games de corrida para consoles ao começar a oferecer a possibilidade de competir em campeonatos online quase uma década antes. Ou seja, nessa modalidade “solo online”, os demais pilotos seriam simulações de pessoas reais, reproduzindo os comportamentos, hábitos e peculiaridades de modo de dirigir, a despeito de serem relevantes, ou não, para sua eficácia ao dirigir, mas muitas vezes tornando possível reconhecer assinaturas de estilo em suas manobras.

Enquanto joga, o próprio jogador treina seu Drivatar pessoal, que vai se tornando progressivamente melhor em simular o estilo do humano no qual se espelha à medida que mais partidas são jogadas. É possível acompanhar o índice de precisão da simulação e o usuário é até informado a respeito de quais pistas ou tipos de competição específicas deveria participar para contribuir com o treinamento do agente de IA de seu clone virtual. Para “recompensar” e incentivar o humano a colaborar, o sistema transfere para o jogador quaisquer ganhos da moeda virtual do game quando seu Drivatar vence corridas contra outras pessoas, o que pode acontecer a qualquer momento, mesmo enquanto o jogador está dormindo e seu console ou computador está desligado, já que dados e agentes de IA ficam armazenados nos servidores do desenvolvedor.

Outra estratégia que reconhecemos de início, e que chamou nossa atenção, foi a de favorecer o uso de simulações de pessoas que costumam participar das mesmas sessões multijogador online que o jogador, seja competindo ou colaborando, dando preferência àqueles com os quais há troca de mensagens, ou se figuram em suas listas de “amigos”, segundo a plataforma Live da Microsoft, que além de ser a base de integração dos consoles Xbox, é o sistema de rede que integra as funções online da franquia *Forza* e acaba funcionando como uma rede social entre jogadores. Desse modo, o game não apenas inspira a sensação de familiaridade ao preencher o espaço virtual com nomes conhecidos, mas também oferece comportamentos de pilotagem que remetem ao jogador a sensação de estar testemunhando o modo de agir em pista de seus amigos ou rivais habituais, algo que pode ser bastante eficiente como instrumento de imersão emocional no contexto do jogar.

O fato de a complexidade dos comportamentos simulados aumentar na mesma proporção em que as pessoas jogam online, seja em modo solo ou multijogador, parece alimentar ainda mais a ilusão de que são outras pessoas participando das aventuras ou competições, pois o sistema integra novos hábitos, diferencia comportamentos por correlações entre os modos de ação e os contextos nos quais escolhas são feitas, considera as inferências a respeito de estados emocionais a partir das leituras dos sensores disponíveis e oferece, em retorno, um modelo simulado que pode ser bastante convincente.

O sistema não é perfeito e, como pode ser encontrado em relatos nas redes sociais, ocasionalmente foram testemunhadas emergências de comportamentos estranhos por parte dos Drivatars, principalmente quando um jogador não joga online com frequência e, quando o faz, tender a lançar mão de alguma extravagância atípica para interagir com seus pares, o que acaba por treinar seu clone virtual apenas com os comportamentos anômalos, sem uma amostragem de seus hábitos como jogador enquanto pilota normalmente.

Por outro lado, se um Drivatar estiver bem treinado, ou “sincronizado”, segundo o jargão interno do game, contando com dados capturados de múltiplas sessões de *gameplay* em cenários e modos variados, o aspecto preditivo do sistema pode ser bastante surpreendente. Por exemplo, em nossa investigação inicial, revisando gravações de múltiplos casos, compartilhados nos grupos de pilotos de *Forza*, observamos jogadores que estariam experimentando uma pista nova, recém-lançada, contra os Drivatars de seus amigos e oponentes regulares, treinando enquanto aguardavam que os humanos de tais avatares adquirissem tal pista para poderem competir, para então se surpreenderem ao testemunharem

as pessoas reais reproduzirem exatamente os movimentos e manobras executados anteriormente por suas simulações máqunicas. O sistema de criatividade preditiva implementado na tecnologia desses agentes de IA parecia beirar o profético em alguns casos, com alguns movimentos em perfeito sincronismo quando comparados quadro-a-quadro.

Outro fenômeno marcante, cuja experiência própria foi a deflagradora inicial de toda essa jornada investigativa em torno da utilização técnica e estratégica de IAs em videogames para gerar ilusões de todo tipo, foi o de muitos postarem nos grupos de discussão da comunidade de jogadores de *Forza* se determinada pessoa estaria jogando em certa pista em determinado horário, pois quem estava perguntando havia se encontrado com o suposto Drivatar de tal indivíduo naquele intervalo de tempo enquanto jogava em modo solo-online, mas o comportamento observado havia sido tão convincente que fizera surgir tal questionamento, deixando a pessoa em dúvida se o sistema estava inserindo pessoais reais que estivessem online nas partidas que deveriam ser complementadas apenas por pilotos virtuais. Depois de havermos passado pessoalmente por tal situação, e de descobrirmos que tal desconfiança parecia lugar comum, passamos a investigar o ocorrido e a observar as respostas dos “donos” dos Drivatars que levantaram suspeita, e em todas as ocorrências o relato era de que o humano não estava na partida, mas apenas seus simulacros.

Tendo apresentado essa breve síntese a respeito da deflagração de nosso interesse investigativo, vamos para a parte do sobrevoo que inclui nosso trajeto pelos meandros da IA aplicada a games em suas criações de ilusão.

Entramos em contato com a Turn10 Studios e com a Microsoft, explicando nossas intenções de investigação acadêmica, mas, após muitas trocas de e-mails, nosso pedido de acesso às documentações técnicas acabou sendo definitivamente negado. Por se tratar de um produto comercial, todas as informações de engenharia, inclusive as tecnologias específicas desses agentes de IA, estavam protegidos por sigilo industrial, direitos de propriedade intelectual e mesmo autorais, em alguns casos. Contudo, descobrimos diversas patentes registradas pela Microsoft que se referiam aos jogos dessa franquia, sendo uma delas claramente o descritivo do funcionamento básico dos Drivatars (Herbrich et al, 2006), patenteado alguns anos antes de sua implementação em *Forza Motorsport 5*.

Como as patentes são documentos públicos, solicitamos cópias de todas que pudemos encontrar que se relacionavam à franquia *Forza* e esses documentos se tornaram um dos aspectos mais reveladores de nossa investigação.

Mesmo sendo apenas uma informação parcial, e não muito atualizada, ao cruzá-la com dados observacionais e com informações fornecidas voluntariamente pelos próprios desenvolvedores, por meio de materiais de divulgação em geral, como folders, notas e pacotes de imprensa, ou mesmo inadvertidamente, como aconteceu em algumas entrevistas para canais de informação de cunho mais técnico, tornou-se possível inferir heurísticamente muitos dos elementos algoritmos e estratégias de aplicação de IA envolvidos na criação dos Drivatars, o que se tornou o corpo daquela investigação, tendo sempre o cuidado de manter a análise aos elementos externos e visíveis do game, sem enveredarmos pelos meandros do código proprietário ou da exploração de algum tipo de engenharia reversa, algo que descobrimos ser um tipo de “passatempo perigoso” para muitos programadores e analista de sistemas.

Empenhamo-nos em desvendar as estratégias abertamente reconhecíveis do uso de componentes de programação e de inteligência artificial que tornaram possível que os Drivatars causassem nos jogadores humanos um tipo de ilusão de comportamento humanizado convincente o suficiente para provocar reações, respostas e processos emocionais característicos das relações inter-humanas.

Passamos então a estudar estruturas e modelos básicos, mas fundamentais, da construção de games em geral, para então focar especificamente nos de corridas automotivas. Tratamos também dos modelos de construção dos NPCs (*non-playable characters*), os personagens controlados pelo sistema e não pelo jogador, bem como as estratégias algorítmicas utilizadas quando aplicados como oponentes ou como aliados virtuais, as técnicas utilizadas para torná-los previsíveis ou imprevisíveis, as variações de comportamentos pré-programados, as utilizações de elementos pseudoaleatórios e outras variações de modelagem de agentes de IA.

Tendo definido a amplitude do breve recorte dedicado a games que faríamos dentro do vasto campo de estudos acadêmicos e comerciais de IA, descobrimos que conceitos gerais de IA, sistema e interatividade, por exemplo, possuíam recortes específicos que os definiam dentro do universo dos videogames, e nos debruçamos sobre seu entendimento, além de tratarmos de outras definições e conceitos que se mostraram fundamentais em nosso trajeto, para então focarmos nossa lente investigativa no desenvolvimento de games, começando por seu trajeto histórico.

## 1.2 Game para Dois

Começamos por descobrir que muitos consideram o primeiro “videogame” (Bakie, 2010, p. 4-5) (Novak, 2012, p. 8) (Herman, 2001, p. 31) como sendo um projeto de um físico que havia trabalhado no Projeto Manhattan e participado da criação das primeiras bombas atômicas, William Higinbotham, que, no final dos anos 1950, havia assumido a divisão de instrumentação do Laboratório Nacional de Brookhaven, pertencente ao Departamento de Energia dos Estados Unidos. Como responsável pelo “dia do visitante”, quando o laboratório abria as portas para o público interessado em testemunhar os avanços tecnológicos de sua divisão, Higinbotham decidiu que queria fazer algo diferente para a apresentação de 1958, algo que não apenas chamasse atenção, mas que fosse de algum modo interativo, que as pessoas pudessem tocar e se entreter, em vez de apenas olhar e esquecer em seguida ao se afastarem. Decidido a fazer um jogo, algo não violento que demonstrasse que a tecnologia poderia ser divertida, criou um game que chamou de *Tennis for Two*, um jogo de tênis visualizado na tela de um osciloscópio, visto de lado, em que os oponentes precisavam sincronizar suas interações para mandar a “bola” para o lado do oponente.



Figura 1 – À esquerda, sobre o tecido preto, o osciloscópio com o game *Tennis for Two* na tela de poucos centímetros de diâmetro. Ao centro, ampliação da tela do osciloscópio. (fonte: ELSNER, Ore. *Tennis for Two*, The Creation of the First Videogame. Blogspot, 02 de set. de 2016. Disponível em: <<https://404-notfound279.blogspot.com/2016/09/tennis-for-two.html>> Acesso em: 26 de set. de 2023.

Osciloscópios são instrumentos de medição com uma pequena tela, utilizados para mostrar graficamente variações de tensões elétricas medidas em seus terminais em determinado

intervalo de tempo, tendo seus parâmetros ajustáveis a partir de um painel. Os osciloscópios da época eram analógicos, bem como todos os circuitos eletrônicos utilizados para simular o desenho da quadra (uma linha vertical na parte inferior) da rede (uma pequena linha vertical ao centro) e os movimentos da bola (um ponto que se movia como se tivesse massa e estivesse sendo submetido à gravidade). A limitação tecnológica não pareceu interferir nos resultados, tornando *Tennis for Two* a atração de maior sucesso de todos os eventos do laboratório até então. Atendendo a pedidos, a “engenhoca” teria sido remontada no evento do ano seguinte.

Ressaltamos que Higinbotham construiu computadores analógicos para fazer sua simulação, um tipo de dispositivo que não opera com zeros e uns, nem executa programas. Trata-se de um conjunto de circuitos eletrônicos que representam equações matemáticas com componentes arranjados em configurações específicas, como o de segmentos de reta para desenhar a “quadra” e a “rede”, ou a trajetória de um projétil submetido à gravidade, no caso da “bola” (Figura 1). Embora esse tipo de computador tenha sido superado na relação custo-benefício pelo modelo digital com o qual estamos habituados, sua tecnologia continua em uso nos sistemas atuais como componentes, por exemplo, os conversores analógico-digitais necessários na construção de toda sorte de sensores do mundo externo ao computador, como a medição da quantidade de luz, a captação de sons e imagens, por exemplo, e o inverso, conversores digital-analógicos, como a saída de som dos computadores (mesmo que de origem digital, os sons que ouvimos são analógicos quando chegam até nós).

Com toda sua simplicidade gráfica, o sistema de *Tennis for Two* já dava indícios de que a ilusão de imersão que sustenta o engajamento do jogador não requer tanta sofisticação assim. Ao mesmo tempo, ficou demonstrado que os jogadores fazem inferências próprias e enxergam atributos não planejados por quem cria um game. Um comentário crítico de um jovem teria sido o de que, em certos momentos, o som da bola vinha do lugar errado. O cientista demorou alguns instantes para reconhecer que os sons dos relés, que comutavam quando da mudança de estado das equações para mudar os circuitos analógicos que comandavam a bola, ocorriam em sincronismo com a simulação da rebatida na “quadra” e nas “raquetes” invisíveis, acionadas pelo jogador ao interagir com o sistema. Para os leigos, aqueles sons pareciam vir das colisões e a experiência teria se tornado audiovisual.

Costuma-se atribuir a criação do primeiro game digital a Steve Russel, em 1961, estudante do MIT que criou um game chamado *SpaceWar* no computador DEC PDP-1 da universidade como projeto em uma de suas disciplinas (Bakie, 2010, p. 5) (Novak, 2012, p. 4-

5) (Baer, 2005, p. 1-2) (Herman, 2001, p. 31, 41-42). O game em que duas “espaçonaves” trocavam “tiros” na tela teria se tornado um sucesso entre os estudantes, e, no ano seguinte, foram adicionados um fundo estrelado, uma estrela com forte campo gravitacional ao centro e um portal de teletransporte para as “naves”, adendos programados por colegas de Russel. Ao considerar o game como pronto, e ciente de que não haveria como ganhar dinheiro com um game para uma plataforma caríssima como aquela, ele distribuiu o programa gratuitamente pela ARPAnet (precursora da Internet) para todas as universidades com plataformas compatíveis e para o fabricante do PDP-1, que passou a incluir *Spacewar* no pacote de programas básicos distribuídos com seus computadores.

Essa seria a semente para o surgimento dos videogames digitais de Arcade, pois Nolan Bushnell, estudante de Engenharia da Universidade de Utah, em meados dos anos 1960, tornou-se ávido jogador de *Spacewar* em seu tempo livre, e ficou fascinado ao estudar sua programação. Como trabalhava com manutenção de máquinas de fliperama e outros tipos de máquinas que operam com moedas, tinha contatos com os fabricantes desses equipamentos e, depois de algumas tentativas frustradas de lançar *Computer Space*, uma versão modificada e mais comercial do *Spacewar* de Russel, teve sucesso ao fundar sua própria empresa, que chamou de Atari, criando o game de arcade chamado *Pong*, no começo dos anos 1970, sucesso imediato que viria a ser a semente de toda uma indústria (Bakie, 2010, p. 5) (Novak, 2012, p. 4-5) (Baer, 2005, p. 1-2) (Herman, 2001, p. 31-32, 40-41).

Paralelamente a isso, Ralph Baer, um engenheiro projetista de televisores que trabalhava em uma empresa contratada pelas forças armadas dos EUA para desenvolver soluções tecnológicas, concebeu e desenvolveu um sistema de game que se ligava em uma TV doméstica para jogar, algo inédito, mas que havia se tornado um projeto de interesse pessoal. Conseguindo apoio de um dos diretores da empresa, patentearam as tecnologias em 1968 e terminaram o desenvolvimento nos anos seguintes, para então conseguir parceria com a fabricante de televisores, e inventora dos autofalantes, Magnavox, e lançaram o que seria o primeiro console de videogame doméstico, o Odissey, em 1972 (Baer, 2005, p. 3-92) (Herman, 2001, p. 31, 43-48) (Novak, 2012, p. 14) (Bakie, 2010, p. 6). Embora precário, algo similar ao console Telejogo lançado pela Philco-Ford no Brasil no final dos anos 1970, apresentou também o conceito de “cartões de game”, um sistema precursor dos “cartuchos de videogame” que vieram depois e permitiam mudar de jogo, embora se tratasse ainda de um sistema predominantemente analógico e o cartão fosse, na verdade, apenas um conjunto de trilhas de cobre, parte do roteamento dos circuitos que mudavam o comportamento do sistema.

O paradigma por trás do Odyssey era o mesmo dos jogos de tabuleiro, então o console era acompanhado por apetrechos que os jogadores deveriam manipular. Por exemplo, o “cenário” dos games eram folhas de celofane desenhadas e coloridas que se deveria colocar diante dos televisores e, entre outras coisas, havia um rifle de plástico com o qual se poderia acertar um ponto luminoso que se movia na tela (Figuras 2 e 3).

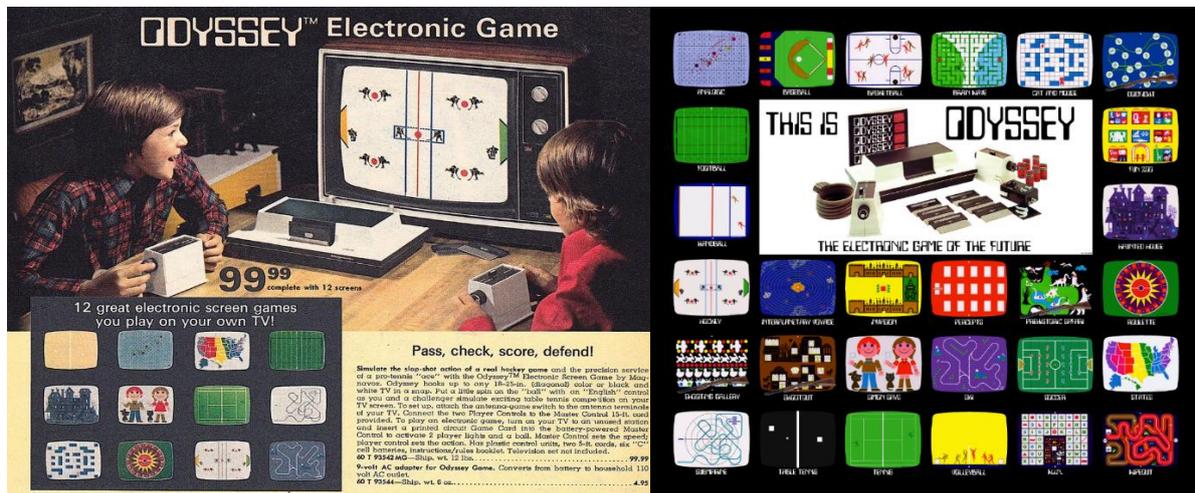


Figura 2 – O primeiro console doméstico de videogames utilizava telas de acetato como cenário (fonte, à esq.: LOWBROW, Yeoman. Atari to Nintendo: Home Electronic Games (1975-1986). Flashbak, 01 de dez. de 2017. Disponível em: <<https://flashbak.com/atari-nintendo-home-electronic-games-1975-1986-390812/>> Acessado em 26/09/2023) (fonte, à dir.: DE CHANTAL, Sylvain. Merry Christmas to everyone!. OdySim Blogspot, 25 de dez. de 2020. Disponível em: <<https://odysim.blogspot.com/2020/12/merry-christmas-to-everyone.html>> Acessado em: 26 de set. de 2023)

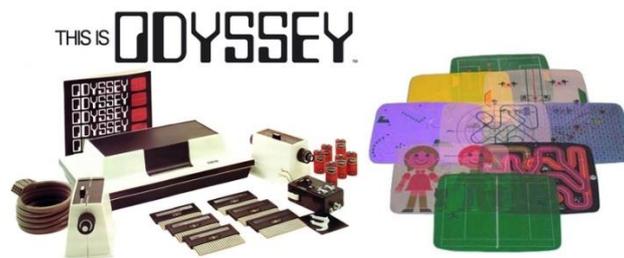


Figura 3 - Detalhe das telas-cenário de acetato à direita, recortadas no tamanho das TVs mais comuns do período, aderiam ao vidro, devido à carga eletrostática nativa à tecnologia CRT (fonte: Mr. Glitch's Retro Reviews. The Magnavox Odyssey. MrGlitchReviews Blogspot, 31 de maio de 2013. Disponível em: <<https://mrglitchreviews.blogspot.com/2013/05/the-magnavox-odyssey.html>> Acessado em: 26 de set. de 2023)

Com a popularização do console, lançado em 1972, pareceu aos usuários que o jogo *Table Tennis* (tênis de mesa) do Odyssey era uma cópia do jogo de arcade *Pong* da Atari, de 1970, mas a Magnavox já detinha as patentes de diversos conceitos usados sem registro por

Bushnell, e as empresas acabaram entrando em acordo, em 1976, a favor de Baer, com a Atari pagando pelo licenciamento perene de todos os itens em disputa (Bakie, 2010, p. 7).

Já com todas as licenças necessárias pagas, a Atari lançou seu primeiro console de videogames domésticos em 1977, o Atari Video Computer System que seria depois renomeado como Atari 2600, um ano antes de a Magnavox lançar o Odyssey 2, ambos muito similares tecnicamente. Mas a situação se inverteu e a Atari detinha as patentes dos sistemas de placar na tela, dos controles do tipo Joystick, entre outras tecnologias, o que acabou tornando a continuidade do Odyssey inviável para a empresa, deixando a empresa de Bushnell praticamente sozinha no mercado de consoles, que então se popularizou com uma enxurrada de títulos (Bakie, 2010, p. 6-9) (Novak, 2012, p. 14-18).

Descobrimos naquela investigação que o mercado de games começou com muitas disputas e contratemplos, e suas origens conturbadas quase levaram ao colapso dessa indústria em 1984, quando a empolgação com a popularidade passou dos limites e a quantidade de games malfeitos, incapazes de cativar os jogadores, chegou em seu máximo. Já com alguma experiência e apreciando bons jogos, os usuários não estavam mais comprando todo e qualquer lançamento. O título *ET*, de 1982, inspirado no filme homônimo de Steven Spielberg, havia sido um licenciamento caro e arriscado para a Atari, mas suas falhas em diversos aspectos o tornaram um fracasso (Bakie, 2010, p. 9). Gráficos e sons estavam dentro das capacidades do console, mas careciam de esmero na execução, assim como a resposta aos controles era ruim, a narrativa ficara desconexa e havia locais nos quais o protagonista poderia ficar preso por erro de projeto, o que forçava o jogador a recomeçar tudo do início. Ao invés de ilusão imersiva, o jogo gerou indignação e devoluções em massa, o que, por consequência, culminou com o encerramento das atividades da Atari em 1984. Encerrava-se assim (Novak, 2012, p. 18) o que hoje chamamos de “segunda era” dos videogames domésticos (a primeira teria sido a do Odyssey original).

Acompanhamos e detalhamos muitos movimentos da indústria de games, tanto de arcade, como tentativas de incursão no mercado de videogames domésticos por diversas empresas, que culminariam na entrada da Nintendo no mercado norte-americano de consoles domésticos em 1985 (Bakie, 2010, p. 9-11) (Novak, 2012, p. 18-20), iniciando a terceira geração dos videogames.

Ocorreram muitas mudanças tecnológicas de meados dos anos 1980 em diante que viabilizaram tal retorno, e abordamos uma teia complexa de conquistas técnicas e

oportunidades mercadológicas que não são tão relevantes para nosso fio condutor atual. Então, nosso sobrevoo ganha aqui altitude e uma visão mais geral em muitos momentos dessa retomada, além do que apresentaremos mais adiante em um histórico diferente dos games, relacionado com o uso de agentes de IA, focado em nosso recorte atual, para o doutorado, da *ilusão suficiente*.

Contudo, achamos interessante complementar que, com origem similar à da Atari, a Sega também nasceu de uma empresa que dava manutenção em máquinas de arcade operadas com moedas, a Service Games (SErvice GAMES = SEGA), que, diferentemente do que muitos pensam, foi criada por dois estadunidenses que foram para o Japão para aproveitar as oportunidades geradas pela recuperação da economia japonesa no pós-guerra (Bakie, 2010, p. 11-13). Inicialmente focados em oferecer serviços de manutenção para as máquinas dos arcades que atendiam as proximidades das bases militares mantidas pelos EUA no Mar do Japão, associaram-se a uma das fabricantes de máquinas eletromecânicas e a uma desenvolvedora de games formando a SEGA Enterprises, lançando inicialmente máquinas de videogame de arcade, com versões “similares” a games de diversas outras empresas, até que decidiram lançar um console doméstico, que, em seu lançamento mundial, ficou conhecido como Sega Master System, em 1985, em concorrência direta com a Nintendo (Novak, 2012, p. 21-22).

A primeira “guerra dos consoles” (Novak, 2012, p. 22-23) traria muitas inovações ao mercado, bem como financiamento de investidores. Havendo investimento, surgiu espaço para pesquisa e desenvolvimento. Muitas das técnicas de programação e de implementação otimizada de IAs que vemos até hoje serem utilizadas em desenvolvimento de games foram refinadas durante o travamento daquele confronto na indústria. Citamos como alguns exemplos os sensores de colisão de elementos na tela, sobreposição de objetos para ação interpolada e princípios de programação para processamento paralelo em plataformas de pequeno porte, já que os consoles domésticos começaram a usar processadores de centrais, de vídeo e de áudio em separado antes dos computadores domésticos.

As gerações de consoles se sucederam, empresas mudaram de direção, de rumo e de donos, novos nomes entraram no mercado enquanto outros se retiraram.

Nos anos 1990, a revolução do armazenamento ótico mudou as capacidades dos consoles, que antes se limitavam ao que seria viável armazenar em um cartucho que precisava utilizar caros chips de memória programável não volátil. Ao custo de um cartucho de poucas dezenas de megabytes de armazenamento passou a ser possível produzir dúzias de CDs com

pelo menos dez ou vinte vezes mais capacidade. Games muito maiores, com mais conteúdos de áudio e vídeo, com mais qualidade gráfica e mais complexidade narrativa passaram a ser possíveis. Novos referenciais foram estabelecidos e novas trocas de protagonistas na indústria se sucederam. Do contrato feito e cancelado pela Nintendo junto à Sony, para desenvolver um console com tecnologia de CD-ROM, resulta uma transferência de know-how que deflagrou a criação dos consoles Playstation (Bakie, 2010, p. 13) (Novak, 2012, p. 22-23). Da parceria da Sega com a Microsoft para desenvolvimento do sistema operacional Windows CE com conexão de dados do console Dreamcast, seguido pelo abandono pela Sega do mercado de hardware na virada dos anos 2000, e na esteira do abandono do computador Microsoft X (conhecido como MSX) no Japão, nasce na Microsoft o projeto que resulta nos consoles Xbox (Bakie, 2010, p. 14).

### 1.3 IAs na Guerra Tríplice

Após a virada para o terceiro milênio, a “guerra dos consoles” se estabelece com três polos (Novak, 2012, p. 40-41), sendo a Nintendo a única sobrevivente da guerra anterior, passando a confrontar a gigante dos eletrônicos Sony, praticamente inserida nessa indústria por ela mesma, e a gigante do software Microsoft, em certa medida como herdeira tecnológica de sua oponente anterior, a Sega.

Nessa geração aparece o primeiro game *Forza Motorsport*, em 2005, para o Xbox original, com a desafiadora meta de competir com a já bem estabelecida e aclamada série de games de corrida *Gran Turismo* da Sony para Playstation. Como o título da Sony já explorava ao máximo os recursos computacionais dos consoles daquele momento, o que tornava difícil superá-la com qualidades técnicas como realismo gráfico ou recurso de jogabilidade solo, a estratégia da Microsoft e da Turn10 Studios foi a de investir no fator social como diferencial para atrair os jogadores e aumentar o fator de imersão.

Para isso, utilizaram o maior diferencial oferecido pelo console Xbox naquele momento, a plataforma Live de interconexão online para games multijogador. Suas estratégias de utilização de rede gerenciadas por filtros de IA que otimizavam o uso de banda pela aplicação de agentes preditivos e de priorização escalonada multiponto, participar de corridas online em tempo real contra outras pessoas na Internet. Participar de jogos online se tornara não apenas viável, mas algo relativamente simples na plataforma Xbox, enquanto o game *Gran*

*Turismo 4 Online*, lançado logo em seguida para o PS2, não obteve os resultados esperados, ainda demoraria alguns anos para a Sony alcançar tal tipo de eficácia online com seu console seguinte (PS3) na próxima iteração da franquia com o *GT5*.

Paralelamente, diante do sucesso limitado de seu console GameCube, de 2001, a Nintendo inova com o console Wii em 2006 (Novak, 2012, p. 41), uma plataforma tecnicamente desatualizada, mas que aposta na integração game-corpo ao desenvolver um sistema de controles com sensores de movimento giroscópicos e óticos, que permitiam controlar precisamente os movimentos de objetos ou cursor na tela ao apontar com o controle, mas também controlar diversos tipos de movimento replicando na tela os movimentos livres feitos com o mesmo controle, sem precisar apontá-lo. Além disso, desmembraram o controle em dois, ficando uma parte na mão esquerda e outra na direita, ligadas por um cabo. Juntamente ao console, lançaram acessórios como a Balance Board, uma prancha com múltiplos sensores de pressão que permitia ao sistema “ler” a posição e os movimentos do corpo da pessoa que ficasse de pé ou se sentasse sobre ela. A despeito dos gráficos “de geração anterior”, a novidade dos controles e o relativo baixo custo do console o tornaram um sucesso imediato de vendas.

A Sony tentou responder com sua câmera PS-Eye em 2007, uma releitura da câmera EYE-Toy de 2003, mas com qualidade suficiente para integrar alguns elementos de AR (realidade aumentada) a alguns jogos. A despeito dos avanços em agentes de IA especializados em visão computacional até aquele momento, e da impulsão que a injeção de capital da Sony provocou nessa área, a implementação só era possível em alguns títulos específicos, nenhum deles com apelo para atrair grandes massas de jogadores. Apenas com o lançamento do sistema Playstation Move, em 2010, que operava em conjunto com a PS-Eye, a Sony conseguiu um sistema que se equiparava em jogabilidade ao Nintendo Wii.

A Microsoft respondeu ao desafio no mesmo ano de 2010, com o acessório Kinect para o Xbox360, que já estava no mercado havia 5 anos. O Kinect era um conjunto de câmeras e microfones que incluía um sistema sensor de profundidade tridimensional, com um transmissor IR (Infra-Red – infravermelho), uma câmera IR com sensor de profundidade e uma câmera colorida com sensores de movimento, além de uma matriz de 4 microfones e um sistema motorizado de ajuste de inclinação. Essa “câmera robô” permitia aos agentes de IA do sistema ler movimentos do jogador e traduzi-los em comandos dentro da interface do console e em muitos jogos que foram atualizados para tal. Foram lançados também títulos exclusivamente para interface de movimento. Em termos técnicos, o Kinect parece ter contribuído mais para

os avanços de visão computacional (Figura 4) em meio à comunidade acadêmico-científica do que a indústria dos games. Por utilizar interface USB e seu pacote de desenvolvimento rodar em Windows, não tardou para que se tornasse lugar-comum em projetos de robótica, figurando como sensor em diversas demonstrações tecnológicas.

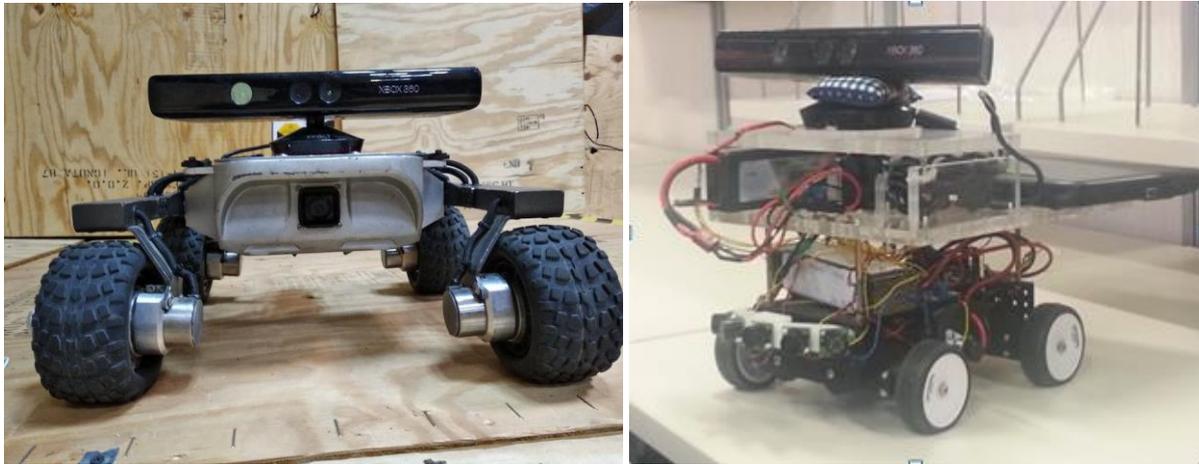


Figura 4 - Exemplos de robôs com Kinect (fonte, à esq.: TWARDAK, Marcin. Human-Following Robot with Kinect. Hackster, 10 de ago. de 2017. Disponível em: <<https://www.hackster.io/turtle-rover/human-following-robot-with-kinect-efb3cd>>. Acessado em: 01 de out. de 2023) (fonte, à dir.: PANG, Yinzi; WANG, Yingzheng. Projects:2014S1-31 Autonomous Robot Navigation using a Movable Kinect 3D sensor. The University of Adelaide, 30 de out. de 2014. Disponível em: <[https://projectswiki.eleceng.adelaide.edu.au/projects/index.php/Projects:2014S1-31\\_Autonomous\\_Robot\\_Navigation\\_using\\_a\\_Movable\\_Kinect\\_3D\\_sensor](https://projectswiki.eleceng.adelaide.edu.au/projects/index.php/Projects:2014S1-31_Autonomous_Robot_Navigation_using_a_Movable_Kinect_3D_sensor)>. Acessado em: 01 de out. de 2023)

As gerações de console que se seguiram foram aprimoramentos de hardware que viabilizaram softwares maiores, mais pesados, mais completos. Contudo, a Nintendo não teve muito sucesso com o Wii-U, de 2012, sucessor do Wii. Aparentemente, a maioria das pessoas que poderia se interessar pensou se tratar apenas de um acessório muito caro para o próprio Wii, por incluir um híbrido entre um tablet e um controle destacados do console base Wii-U, que no material de divulgação parecia ser um Wii convencional. O fracasso de vendas foi tão grande que a empresa decidiu se voltar para a divisão de portáteis, que precedeu a de consoles e teve uma trajetória praticamente sem grandes fracassos, para desenvolver seu próximo console e lançaram um produto híbrido, em 2017, chamado Nintendo Switch, que consistia em uma base que atuaria como interface com os dispositivos de áudio e vídeo como qualquer console, mas também como carregador para uma unidade destacável com tela própria, que funcionava como um console portátil com controles destacáveis. Com capacidades técnicas apenas ligeiramente acima das oferecidas pelo Wii-U, estava mais do que uma geração atrás dos consoles contemporâneos lançados pela Sony – PS4 Pro de 2016 – e Microsoft – Xbox One X/S de 2017. Voltado para um público diferente, e a despeito do bom volume de vendas

impulsionado pela base de fãs da marca e seus personagens mascote, muitos consideram que a Nintendo se retirou da guerra dos consoles para reinar sozinha no mercado dos portáteis.

Os consoles PS5 da Sony e Xbox Series X (e S na versão econômica), lançados em 2020, representam apenas incrementos em capacidades já esperadas de processamento, memória, velocidade de armazenamento e praticamente todos os recursos já conhecidos, mas sem grandes inovações tecnológicas. Com um aparte para o sistema de realidade virtual (VR) da Sony chamado PS-VR, para PS4, lançado em 2016, que operava em conjunto com o sistema PS-Move, que ganhou a versão PS-VR2 para o PS5 em 2023. A Microsoft anunciou diversos projetos de VR para seus consoles, mas nunca os lançou, optando, em vez disso, pela tecnologia de realidade aumentada HoloLens, que seria compatível com Xbox, mas acabou sendo voltada para o mercado de computadores pessoais em aplicações profissionais.

Achamos relevante ressaltar que nosso sobrevoo histórico, aqui sintetizado, foi baseado mormente nos artigos *A Brief History of Video Games*, de Robert Bakie (2010), *Historical Elements: How Did We Get Here* do livro *Game Development Essentials* (Novak, 2012) e nos livros *Videogames: in the Beginning* (Baer, 2005) e *Phoenix: the Fall and Rise of Videogames* (Herman, 2001), mas também acrescentado de diversas fontes pontuais complementares, detalhados em nossa já publicada pesquisa anterior (Cabral, 2020, p. 37-84).

#### **1.4 Game aos Pedacos**

Nossa investigação pelo trajeto histórico dos videogames ilustrou as muitas transformações que ocorreram em seu formato, tecnologias e muitos outros de seus aspectos, o que revelou também abordagens dos mais variados tipos no que diz respeito a seu desenvolvimento. Além disso, reconhecemos que, a depender do ponto de vista, podemos considerá-lo como uma manifestação sociocultural, uma obra de arte, uma ferramenta, como um programa de computador, um passatempo, um produto, ou mesmo um brinquedo, que, para aqueles mais desatentos, pode ser entendido como a primeira e única categoria passível de ser atribuído a um game.

O fio condutor daquela pesquisa do mestrado (Cabral, 2020, p. 86-91) nos levou a um viés focado nos elementos modulares de games vistos como programas (Llopis, 2010b, p. 239-270), realçando os aspectos de utilização de agentes de IA na construção de entidades de comportamento autônomo controladas pelo sistema.

Perpassamos o conceito de níveis de linguagem computacional, esclarecendo que aquelas ditas de “baixo-nível” assim são chamadas por estarem próximas do código de máquina das unidades de processamento, comumente chamadas pelo nome comercial do processador, como “linguagem de máquina Z80”, quando tratamos do antigo processador Zilog-80, ou “linguagem de máquina x86”, quando nos referimos aos processadores que seguem a arquitetura desenvolvida pela Intel, após o lançamento do processador 286, e que virou padrão de mercado em 32 bits, assim como “linguagem de máquina X64” seria seu equivalente em 64 bits.

Há quem chame linguagem de máquina de *assembler*, mas este é um nome genérico, dado à ferramenta de programação básica desenvolvida pelo fabricante de um processador para poder programá-lo em sua linguagem específica. Cada processador tem sua linguagem e sua ferramenta *assembler* específicos, mas são coisas distintas.

Nesse ponto, gostaríamos de não apenas detalhar, mas expandir esse tópico e reapresentá-lo, pois nosso trajeto atual de pesquisa durante o doutorado nos revelou novos detalhes que não haviam ficado claros anteriormente.

Há linguagens de programação ainda bastante próximas do código de máquina, mas já estruturadas com sintaxe geral para funcionar com quaisquer processadores para os quais tenham sido traduzidas (Llopis, 2010a, p. 189-208). Citamos, como exemplo, a linguagem C original, que é considerada de baixo-nível. Já as variações C+ ou C++ são consideradas de médio-nível, e C# ou Python são linguagens de alto-nível. Quanto mais elevado seu nível, mais distante do processador e menos eficiente é a execução da linguagem, dependendo de mais camadas de tradução para operar. Entretanto, tendem a ser as mais fáceis de usar, por possuírem mais funções “prontas”. Alguns comandos isolados de linguagens de altíssimo nível, como no caso de Java e outras linguagens-script, executam dezenas de milhares de instruções no nível de máquina.

Contudo, se um programador de linguagem de máquina tiver de resolver a mesma situação que tal comando em linguagem script está sendo aplicada, é provável que o fizesse com uma pequena fração das instruções, talvez umas poucas centenas de instruções, o que economizaria tempo de processamento, recursos de máquina e espaço de armazenamento do programa, mas o custo de desenvolvimento e de manutenção de tal software seria muito mais elevado, o que tem limitado o uso de linguagens de baixo nível apenas para o desenvolvimento

de linguagens de médio ou alto nível, que, por sua vez, são usadas para criar linguagens de altíssimo nível, acessível a pessoas com conhecimentos mais gerais de programação.

Por exemplo, muitos games hoje são desenvolvidos em Unity ou plataformas similares, algo que algumas décadas atrás não seria considerada uma linguagem, mas um assistente de montagem de blocos prontos pré-programados que operam em conjunto. Um game simples, desenvolvido em Unity em 1 dia que ocupe 1 milhão de bytes (1 MB), demoraria provavelmente mil dias (~3 anos) e ocuparia 10 mil bytes (10KB) para fazer a mesma coisa, gastando menos memória e menos energia, se escrito diretamente em linguagem de máquina. Em comparação, o custo de programar assim acabou ficando inviável, por isso os games (e programas em geral) atualmente são tão grandes e ineficientes, exigindo computadores com processadores mais poderosos e complexos, que acabam usando linguagens de máquinas ainda mais esotéricas e inacessíveis, aumentando o número de camadas de tradução em um ciclo que vem se repetindo nas últimas décadas.

Ganhando altitude novamente em nosso sobrevoo rumo à conjunção de nossa pesquisa prévia com a investigação atual, observamos como algoritmos eram transformados em programas, e como a inclusão de agentes de IA bem estruturados modificavam a dinâmica dos fluxogramas dos sistemas, possibilitando níveis de complexidade decisória muito mais ricos em estruturas mais fáceis de operar e manter. Deciframos os processos de entrada de dados, as operações de sensores internos ao game (Wade; Rabin, 2010, p. 367-385), ou seja, estudamos as possibilidades de lidar com todas as etapas de um fluxo de programa desde seu início até sua finalização.

Como nosso recorte anterior eram estratégias de programação ligadas a games de corridas automotivas, voltamos-nos aos elementos de tal tipo de software, observando suas variações desde as versões mais antigas até as mais contemporâneas àquela investigação, fazendo um trajeto da história algorítmica dos games de corrida de carros, levantando os traços de programação que foram apenas se adaptando, mas permaneceram até os games da época da efetivação da pesquisa.

Estabelecemos noções gerais como “ambiente virtual” ou “espaço de ação” Ernest (Adams, 2014, p. 439-470), (Schuytema, 2008, p. 277-307), (Selbig, 2010, p. 679-685) e (Novak, 2012, p. 222-232) e “rotinas sensoras” (Rabin, 2010, p. 367-385) (Millington; Funge, 2009, p. 39-191), entre outras, para montar um panorama dos componentes fundamentais de um game de corrida, para então analisar como o uso de agentes de IA vinha modificando a cena

do desenvolvimento de games e dando mais poder aos desenvolvedores quando focados em melhorar a qualidade da ilusão de realidade do contexto do jogar.

## 1.5 Agentes do Sistema

Com a finalidade de decifrar o que havia de especial nos Drivatars, analisamos os tipos de NPCs (*non-playable characters*) os personagens controlados pelo sistema do game (Stirling, 2010, p. 156), suas formas de funcionamento e diversas de suas possíveis aplicações, diferenciando os NPCs coadjuvantes dos títulos de narrativa dos NPCs que atuam como oponentes ou mesmo como assistentes em determinados contextos e gêneros de game.

Diferenciamos os bots, que tendem a ter um nível maior de inteligência embarcada em seu código do que os NPCs convencionais, sendo, em geral, agentes de IA mais complexos e, se não dedicados para um bot específico, são agentes de múltiplas configurações que podem ser personalizados para diferentes aplicações em múltiplas instâncias no contexto do game (Adams, 2014, p. 67-85).

Apontamos também que, assim como a complexidade aumenta a ilusão de realidade, ela aumenta também o consumo de recursos do sistema, o que torna necessário ajustar a escala de complexidade operacional dos bots conforme o necessário, sem criar desequilíbrios no sistema (Rabin, 2010, p. 157-158) (Schuytema, 2008, p. 346-352).

Delineamos o trajeto dos pilotos virtuais dos games de corrida ao longo de seu desenvolvimento histórico, começando pelos trajetos pré-programados de resposta reativa dos primeiros títulos, passando pelos agentes simples de movimento baseado em sensores de perímetro, para então abordar estruturas mais complexas que passaram a fazer cálculos de trajetória que consideravam a posição dos outros veículos e calculavam um percurso para evitar colisões, até sistemas com agentes de IA que incluíam massa, forças de atrito, variações causadas por desgaste e até mesmo danos virtuais.

Tal complexidade crescente, eventualmente, nos levou aos primeiros bots de IA complexa dos games *Gran Turismo* e das primeiras versões de *Forza Motorsport* até o de número 4, com capacidades excelentes de configuração que permitia ajustá-los dinamicamente para reagir aos humanos de maneira bastante adequada, sem parecerem bons demais nem fracos demais. Até os geradores aleatórios de erros podiam ser bem calibrados. Mas mesmo sem

padrões de comportamento passíveis de serem reconhecidos como máquinas repetindo instruções, não havia como imbuí-los de algum tipo de âncora empática. Qualquer tentativa de utilizar esses bots gerava tédio ou frustração, a depender do tipo de ajuste.

Ao analisar a aplicação dos Drivatars de *Forza Motorsport 5* e *Forza Horizon 2* em diante nos cenários dos games, pareceu-nos claro o salto qualitativo dos aspectos emocionais resultantes, com mais engajamento e imersão, extraído do jogador tipos de reação comumente reservados a outros humanos, não a bots, por mais sofisticados que fossem.

## **1.6 A Chegada ao Jogo da Ilusão**

Em nossa investida anterior (Cabral, 2020, p. 83) estabelecemos que os próprios desenvolvedores, segundo suas próprias afirmações e múltiplos exemplos, focam a construção dos agentes de IA do game em oferecer ao jogador a ilusão de inteligência (Schuytema, 2008, p. 347), pois se ele acredita que está se deparando com inteligência, isso já seria suficiente.

Um dos exemplos mais relevantes que encontramos envolveu um teste (Buckland, 2005, p. xx) no qual, em um evento para jogadores avaliarem a qualidade da IA controlando os oponentes em um game inédito, após terem chegado em um ajuste de “inteligência” com o qual os testadores ficaram satisfeitos, pararam de mexer nesse parâmetro, mas diminuíram a resistência dos oponentes aos tiros, tornando-os mais fáceis de matar. Segundo Buckland, a maioria dos jogadores reclamou que a IA havia ficado menos inteligente. Ao aumentar a resistência dos inimigos virtuais acima do nível original, tornando-os muito difíceis de matar, a maioria dos jogadores reclamou que a IA estava inteligente demais. Ou seja, nem sempre é necessário que algo seja realmente inteligente para que os usuários tenham a ilusão de inteligência, e é preciso olhar para o contexto do jogar para atuar eficientemente sobre os fatores que oferecerão o efeito desejado.

Nos debruçamos então por decifrar como um conjunto de IAs fracas eram combinadas estrategicamente para gerar a ilusão desejada, começando pelos elementos especializados mais simples, como as máquinas de estados finitos (Buckland, 2005, p. 43-83), que isoladamente podem executar tarefas básicas mas em princípio inteligentes, como acender a luz da geladeira quando a porta é aberta e apagá-la quando a mesma se fecha, mas quando muitas operam em conjunto podem ser suficientes para, por exemplo, controlar veículos virtuais num game de corridas de maneira inteligente o bastante para fazer curvas, evitar colisões e até mesmo manter

o veículo próximo ao do jogador, mas não muito mais do que isso (Tomlinson; Melder, 2014a, p. 471-479).

Teria sido necessário desenvolver agentes mais complexos para aprimorar suas capacidades de gerar ilusão de inteligência, incluindo vários traços “humanizados” como a imitação dos ciclos de desatenção e de fadiga dos jogadores, usando uma base estatística e tornando os intervalos ligeiramente aleatórios, entre outras abordagens.

Uma descoberta relevante que fizemos foi a importância do estabelecimento de percursos para os personagens dos games (Bourg e Seeman, 2004) (Champanard, 2004). Mais de um terço de todos os artigos que encontramos sobre desenvolvimento de agentes de IA para games diziam respeito ao deslocamento dos personagens dentro do ambiente de games, mais do que qualquer outro tópico isolado. Como o comportamento de um veículo de corrida é o de se deslocar, tivemos vasto material para investigar.

Estudamos diversas das técnicas utilizadas, dos mais básicos, como a da linha média (Lecky-Thompson, 2008, p. 38-41) definida por sensores de bordas de pista ou a da projeção de segmentos a partir da tangência simples das curvas, até a sistemas sofisticados com uso complexo de visão computacional incluindo representações realistas das leis da física, como cinemática, aerodinâmica, atrito e outras. Os agentes de IA de tais sistemas complexos consomem tantos recursos quanto suas atuações forem precisas, o que começa a ter um efeito cumulativo no sistema quando há vários veículos sendo controlados (Buckland, 2005), (Mark, 2009).

A premissa de que a ilusão de inteligência seria suficiente para o jogador parecia ser a definidora da grande maioria dos projetos de desenvolvimentos de games, o que resultava no uso estratégico de agentes de IA operando estruturalmente de maneira cooperativa e complementar.

Quando encontramos o tópico da representação do conhecimento para a IA operar dentro do sistema (Mark, 2004, p. 24-41), o que implica na quantificação de tudo que é observável em dados numéricos, ficou muito claro para nós que a fidelidade do algoritmo ao comportamento sendo quantificado deve ser equilibrado pela exigência mínima possível da quantidade de recursos consumidos para alcançá-la. Cabe ao desenvolvedor especificar a linguagem de representação com a qual o sistema irá operar, para então delimitar seus parâmetros e garantir que todos os agentes de IA sejam criados adequadamente (Tomlinson; Melder, 2014b, p. 481-489).

Investigamos então em detalhes os atributos dessa representação computacional do conhecimento dentro de sistemas em geral, para podermos recortar os aspectos relevantes ao desenvolvimento de games e, mais precisamente, focalizamos os tipos utilizados para construir pilotos virtuais, delineando o modo pelo qual os agentes de IA estabelecem contato com a realidade interna ao espaço do game no sistema, bem como deveriam responder dinamicamente aos estímulos múltiplos e complexos aos quais poderiam ser expostos durante a interação com veículos controlados por outros agentes de IA e por jogadores humanos (Yannakakis e Togelius, 2017, p. 43). Ponto no qual nos deparamos com a importância da utilização eficiente da aprendizagem de máquina.

### **1.7 Agentes que aprendem**

Como games são sistemas dinâmicos (Salen; Zimmerman, 2004, p.2), há um constante autoajuste em andamento para corresponder aos comportamentos do jogador. São utilizados filtros que selecionam quais dados de input são relevantes para cada parte do sistema reagir em seus devidos momentos, mas o todo do sistema é mantido em estado de aprendizagem constante, já que a cada resposta do sistema emergem novos comportamentos captados a partir do usuário em um ciclo constante.

Debruçamo-nos então sobre as estratégias de criação de agentes de IA (Yannakakis; Togelius, 2018, p. 29-88) para compreender como ocorria a integração com aprendizagem de máquina e a transição do uso de bots com algoritmos auto adaptativos para o modelo dos Drivatars, que integravam a resposta imediata aos estímulos situacionais com a simulação de comportamentos dos pilotos humanos que deveriam simular.

Relatamos diversas técnicas utilizadas para desenvolver agentes inteligentes e realçamos aquelas que descobrimos serem as mais usuais na construção de pilotos automotivos virtuais. Abordamos a questão da “função de utilidade”, e sua relação com o proporcionamento da escolha racional na Teoria dos Jogos, e seu papel na avaliação de ganhos e perdas para determinar quais seriam as melhores e as piores ações possíveis, bem como seu papel no processo de aprendizagem do sistema. Verificamos as diferenças de resultado ao aplicar estratégias de máquinas de estados finitos, árvores de decisão em suas diversas modelagens e variações com escalonamento de filtros condicionais, árvores de busca com seus múltiplos estados e modos de operar, como o Minimax e sua busca pela ação favorável a “perdas mínimas e

ganhos máximos”, incluindo também as situações nas quais ocorre indeterminação ou as informações estão incompletas, quando se costuma utilizar as MTCS – Monte Carlo Search Tree, ou árvores de busca Monte Carlo.

Realçamos então os traços relevantes ao processo de aprendizagem de máquina relevantes à criação dos Drivatars, enumerando as dificuldades e possíveis soluções, partindo para a análise das informações e explicações disponíveis a partir da investigação das patentes registradas pela Microsoft (Herbrich et al, 2006), principalmente no que dizia respeito à utilização dos dados coletados dos jogadores, com a especificação dos parâmetros da aprendizagem supervisionada relativa à simulação do comportamento humano, como estratégias, táticas, habilidades, deficiências entre outras.

A despeito de haver um intervalo de dez anos entre o depósito da patente central ao sistema dos Drivatars, tempo mais do que suficiente para ocorrer muita pesquisa e desenvolvimento, reconhecemos nos detalhes das descrições dos conceitos propostos originalmente um grande número dos traços presentes nos agentes imitadores que estudávamos. Vale salientar que não havia aspectos preditivos (Yannakakis; Togelius 2018, p. 154-155) que dessem conta dos comportamentos testemunhados em pistas inéditas, que, por vezes, antecederiam com precisão as ações que seriam tomadas pelos humanos quando experimentavam tal circuito pela primeira vez, indicando que tal capacidade teria sido uma das implementações feitas nessa década de investimento tecnológico por parte dos desenvolvedores.

Curiosidade que salientamos foi a de que no documento de registro aparecem descritos como “emuladores de estilo personalizado de seres humanos ... como um amigo ou algum competidor famoso do mundo real” (Herbrich et al, 2006, p. 8), e depois foram citados como “*virtual impersonators*” em coletivas de imprensa e nos materiais de divulgação dos games da franquia Forza. Tal expressão é difícil de traduzir de maneira sintética, pois “*impersonators*” são aqueles que querem se fazer passar por outras pessoas, quer seja para enganar ou para entreter, logo são considerados mais do que meros imitadores, como é a tradução sugerida pelos dicionários. No campo do entretenimento são considerados artistas que dão vida aos personagens que assumem, incorporando tantos traços quanto possível a seu ato.

## 1.8 IAs e Emoções Reais

Descobrimos à época que, a despeito de haver grande volume de aplicações de games em educação, treinamento, e outras atividades profissionais, praticamente todos os autores consultados (Adams, 2014), (Novak, 2012), (Millington e Funge, 2009), (Schuytema, 2008), (Lecky-Thompson, 2008), (Buckland, 2005) concordam que a grande maioria das pessoas joga games pela diversão, buscando entretenimento, o que reforça a perspectiva de que cabe ao sistema manter o jogador engajado depois que começa a jogar.

A justificativa dos inventores da patente-base dos Drivatars argumenta que a competição entre humanos nos games de corrida de carros era um fator que tornava a atividade muito mais divertida, que as peculiaridades e imperfeições criavam um fator de imprevisibilidade desafiador que os oponentes controlados por IAs convencionais não eram capazes de criar ou reproduzir até então (Herbrich et al, 2006, coluna 1, linha 54).

Buscando definir o papel das emoções na diversão, encontramos estudos que nos levaram a uma relação daquelas que são as mais apreciadas por quem joga videogames (Adams, 2014, p.21), entre elas, divertimento, contentamento, maravilhamento, excitação, curiosidade, triunfo, surpresa, alívio, êxtase e *naches*. Não encontramos tradução adequada desta última palavra, que corresponde ao prazer que alguém sente ao ver um filho, ou um aprendiz, sair-se bem em algum desafio. Segundo dados de pesquisas, há jogadores veteranos de games de aventura online de grande porte que são considerados “viciados” nessa emoção por ficarem parte de seu tempo parados próximos dos portais de entrada dos novatos, ensinando, auxiliando e depois acompanhando de longe o desempenho desses jogadores para sentir *naches* quando testemunham algum sucesso.

Encontramos também estudos de como os elementos do game afetam a percepção e alteram as emoções dos jogadores, algo sabido em detalhes pelos desenvolvedores que usam a capacidade de o sistema controlar tais elementos para conduzir as situações à obtenção do estado emocional desejado (Schuytema, 2008, p. 183-200), bem como os cuidados para manter o espaço de ilusão bem definido e intacto e o favorecimento consequente ao estado de fluxo, ou transe, do qual um jogador pode imergir durante a experiência do jogar.

Os aspectos sociais dos jogos de corrida também foram considerados e a passionalidade demonstrada nas interações entre jogadores deixou claro que a competição entre humanos costuma gerar mais prazer, mais satisfação e é conducente a mais imersão, resultando com

maior frequência, e sustentando por mais tempo, o estado de fluxo, se comparado com partidas disputadas contra bots controlados por agentes de IA convencional.

Nesse ponto, encontramos os registros de partidas e campeonatos disputados contra Drivatars revelando que são atingidos níveis muito próximos das respostas emocionais, e da ocorrência e sustentação de fluxo das partidas contra conhecidos e amigos, algo que corroborou nossas impressões iniciais da investigação de que tais agentes de IA seriam capazes de provocar *ilusão suficiente* para enganar o percepto afetivo.

Outro fenômeno que investigamos foi o de muitos jogadores considerarem seus Drivatars como se fossem seus aprendizes e protegidos, demonstrando *naches* ao postarem narrativas orgulhosas sobre as conquistas e vitórias de seus simulacros nos grupos de competidores.

Ao final daquela investigação, enumeramos as estratégias que os desenvolvedores dos Drivatars utilizaram para provocar o efeito de ilusão que havia nos intrigado inicialmente, apontando nos exemplos suas aplicações e resultados.

As repetidas referências à “suficiência” de elementos como inteligência, realidade, imersão, complexidade e outros, nos levou à investigação presente da *ilusão suficiente* que parecia emergir da confluência equilibrada de outros fatores com uma existência própria, uma espécie de ponto de avalanche a partir do qual um movimento de imersão e credibilidade se iniciaria na relação entre o game, o jogador e o contexto do jogar, algo que decidimos desvendar na pesquisa de doutorado.

## **1.9 Aterrissando no Presente Investigativo**

Conforme apresentado em nosso sobrevoo, quando os primeiros videogames foram criados, a complexidade da inteligência embutida no sistema era mínima, baseada em sistemas de decisão condicionais “se...então”, suficiente para criar respostas reativas convincentes para um público ainda não treinado na expectativa de respostas complexas dentro do ambiente virtual do game.

Em se tratando de produtos comerciais, esses games precisavam agradar e atrair consumidores, o que resultava, naturalmente, em um movimento na direção de aprimorar a experiência do jogador e estimulá-lo a não apenas querer jogar mais, mas a desejar novos

games, mais divertidos, mais agradáveis, mais envolventes... sempre “mais”, e essa adição foi conducente ao crescimento da complexidade de todos os aspectos dos videogames.

Segundo o veterano de pesquisa e desenvolvimento de videogames Steve Rabin (2020), programar sistemas de IA para games tem se tornado uma tarefa progressivamente mais complexa, conforme os jogadores de console exigem mais entretenimento pelo valor investido. Ao mesmo tempo, jogos menores, para plataformas móveis, apareceram repentinamente na cena e estão exigindo dos programadores de IA que eles saibam como obter os melhores resultados em sistemas novos, variados e limitados em um intervalo muito curto de tempo.

Games complicados, rodando em computadores poderosos, costumam exigir personagens controlados pelo sistema (NPCs – *non-playable characters*) que podem ir desde simples animais, pelos quais o Avatar do jogador passa sem interação direta, até personagens que devem atuar como companheiros durante uma partida, dos quais se esperam respostas humanizadas durante suas interações. Por mais que cada um desses exemplos de IA possa seguir o ciclo “sentir-pensar-agir”, a definição do “pensar” nesse movimento não costuma ser tão objetiva quanto a fórmula deixa parecer. Há uma miríade de algoritmos possíveis que podem ser implementados para atender tal função, mas a melhor escolha para implementar um personagem humano nos consoles de última geração pode não ser adequada para criar um personagem adversário em um game de tabuleiro online.

Cada situação requer uma aplicação adequada dos tipos de IA que controlarão os elementos da cena-de-jogo, para que se obtenha um resultado não apenas plausível para o contexto do game, mas também emocionalmente envolvente, a fim de manter o engajamento do jogador. E atualmente as IAs não controlam apenas personagens, mas praticamente todos os aspectos estruturais de um game.

Por exemplo, definir o nível de detalhamento (*level-of-detail* – LOD) costuma ser uma tarefa tão exigente que requer múltiplos algoritmos complexos e bem orquestrados para se alcançar o ponto de equilíbrio necessário para manter a ilusão de realismo da experiência para o jogador. Sunshine-Hill (2020) ressalta que não é possível que todos os detalhes de um ambiente virtual sejam sempre tratados pelo sistema como se o usuário estivesse olhando para eles, muito menos renderizar as imagens como se estivessem sendo observadas com lente de aumento. Há limitações nos recursos do sistema e, até o presente momento, os consoles e computadores domésticos não dariam conta de tal tipo de processamento.

Jacopin (2020) nos lembra que a complexidade do planejamento necessário para que os eventos do game ocorram se tornou mais dinâmica à medida que a exigência por mundos virtuais maiores e uma ampliada liberdade de ações passou a ser uma expectativa comum para manter uma *ilusão suficiente* de realismo em muitos tipos de videogames, e não apenas para aqueles da categoria “mundo aberto”. A complexidade dos planos – resultantes do planejamento das sequências de ações – se tornou tão ampla que surgiram assistentes algorítmicos de IA de criação algorítmica de IAs, especialistas dedicadas ao planejamento dinâmico, capazes de criar planos internamente ao game, em tempo real e dentro do contexto do roteiro geral, criando respostas inovadoras sem sair do plano geral dos criadores.

Assumindo a conexão de origem do termo “emoção” como força de movimento ou motora, ao questionar o motivo de as pessoas jogarem videogames, Bateman (2016, p. 3-20) sugere que, de modo geral, há prazeres estéticos e outras experiências do jogar que parecem ir ao encontro de algumas profundas necessidades humanas e de nossos instintos animais, propondo que para caracterizarmos suas motivações deveríamos identificar as experiências emocionais associadas a elas.

A primeira emoção listada pelo autor seria aquela gerada pela incerteza como motivação para querer jogar um game, mas observando que o game compreenderia a atividade que deve gerar as situações de incerteza do jogar, que seria uma espécie de estado mental de participação em tal atividade.

Segundo tal linha de raciocínio, o game deve oferecer condições para que o jogador encontre motivações, como a incerteza, ao entrar no estado mental do jogar em busca das emoções resultantes dos motivadores oferecidos.

Haveria ainda diversos gatilhos emocionais possíveis dentro desse tipo de experiência, como motivações sociais, a busca por surtos de adrenalina, curiosidade, bem como as sensações de vitória, de resolver problemas, de assumir funções ou papéis, de depender da sorte, de sentir medo, de participar de uma narrativa, de se sentir representada(o), de adquirir coisas e de se sentir capaz de agir no contexto oferecido.

Para um game ser imersivo, deve oferecer *ilusão suficiente* para capturar as emoções de um público amplo, logo se faz necessário abranger o máximo possível dessas motivações em sua elaboração.

A respeito do papel da ilusão em games, uma das considerações que se repetem entre os pesquisadores e desenvolvedores de IAs para games, como mencionado por Schuytema (2008, p. 347), Lecky-Thompson (2008, p. 5-8), Scott (2002, p. 16-20) e Rabin (2010, p. 521-530), entre outros, é o de que basta que os elementos do game pareçam bons o suficiente, demonstrem inteligência suficiente, desafio suficiente e que, em qualquer que seja o contexto do game em questão, o conjunto mantenha equilíbrio suficiente entre seus componentes para que o sistema sustente uma ilusão imersiva.

### **1.10 E nasce a questão da *Ilusão Suficiente***

Primeiramente, devemos ressaltar que não se trata de coincidência o fato de que nossa proposta possa soar semelhante ao princípio da “razão suficiente”, que figura nas filosofias de Leibniz (1974, p. 66, §32), que foi o primeiro a nomeá-lo em sua *Monadologia*, e Schopenhauer (1974), que tomou tal princípio como foco de sua tese de doutorado, mas sim por termos sido influenciados pelo modo como ambos operaram com a “suficiência” em seus escritos. Não almejamos, no entanto, abordar os aspectos da razão tal como trabalhados por esses pensadores, mas apenas tomar de empréstimo a similaridade entre as expressões e o conceito de que algo precisa apenas “ser suficiente” para mudar seu estado de relevância em um sistema.

Nossa hipótese é a de que os videogames mais bem-sucedidos, os mais cativantes mental e emocionalmente, assim o seriam por consistirem em um conjunto de elementos capazes de gerar estímulos cognitivos que, combinados, atingiriam um patamar no qual ocorreria uma *ilusão suficiente* de realismo emocional, dentro do espaço virtual e temporário de uma conexão que constitui uma tríade entre o game, o contexto do jogar (*gameplay*) e o jogador. Dentro desse “espaço de ilusão” triádico, tal realismo emocional da interação não pareceria estar necessariamente vinculado ao fotorrealismo das imagens, à qualidade do som ou à perfeição da narrativa, em termos de coesão e/ou coerência, mas a um conjunto de elementos que formariam um todo crível o suficiente, dentro de tal enlace, para a situação se tornar momentaneamente real para o jogador. Embora pareça óbvio, achamos relevante lembrar que a verossimilhança entre o que o game oferece ao sistema cognitivo do usuário e as expectativas convencionais em relação à realidade cotidiana não parece ser um fator predominante para que a suficiência da ilusão seja alcançada ou mantida. De maneira similar ao que ocorreria em outras mídias, predominantemente de obras ficcionais, pareceria acontecer algo similar ao pacto ficcional mencionado por Umberto Eco (1994) na literatura.

Inclusive, o semiótico (1994, p. 137) afirma que “a ficção tem a mesma função dos jogos” ao diferenciar o papel da ficção para adultos e para crianças, e no que diz respeito à realidade dos objetos e personagens de ficção, menciona que:

Os lógicos e filósofos da linguagem tem discutido com frequência o problema do status ontológico das personagens de ficção (e também dos objetos e acontecimentos ficcionais), e não é absurdo perguntar o que significa dizer que ‘*p é verdadeiro*’, quando *p* é uma proposição que se refere não ao mundo real, e sim ao ficcional (Eco, 1994, p. 110).

Quando o jogador entra em uma partida de videogame, o engajamento emocional, a imersão atencional e tanto a aceitação quanto a sustentação desse “pacto ficcional” parecem depender do atingimento e da manutenção de nossa hipotética *ilusão suficiente*, cuja construção será apresentada adiante.

Investigamos, assim, o uso de agentes de IA na criação de conteúdos e personagens no desenvolvimento de videogames, suas combinações com outras estratégias criativas e os modelos algorítmicos mais comuns encontrados nesses softwares, focando nas diversas estratégias utilizadas para alcançar o efeito de convencimento de naturalidade aparente, independentemente de a aparência gráfica ser altamente estilizada ou foto-realística, mas que geram, conjuntamente, o efeito de *ilusão suficiente* que propomos em nossa hipótese. Visamos verificar tal hipótese demonstrando que usos de sistemas algorítmicos clássicos, combinados com estratégias de aprendizagem de máquina, não são apenas ferramentas para agilizar a produção ou complementar o trabalho artístico, mas podem ser cúmplices na geração da ilusão imersiva de maneira autonomamente criativa no desenvolvimento de games, situação em que sua transparência ao usuário é confirmação de sua suficiência. Como fundamentação teórica, usamos o conceito de fluxo de Csikszentmihalyi, nos referimos ao pacto ficcional mencionado por Eco, assumimos elementos históricos e práticos de desenvolvimento de videogames, como mineração de dados (El-Nasr, Drachen e Canossa), modelagem de jogadores (Yannakakis, Spronck, Loiacono e Andre), emoção e afetos nos videogames (Yannakakis e Paiva); (Karpouzis e Yannakakis), estudos de desenvolvimento de games (Bycer e Rabin), narrativa computacional (Riedl e Bulitko), neuro-evolução nos videogames (Risi e Togelius) e utilização de IAs de diversos tipos na produção de videogames (Riedl e Zook). Mais especificamente, de Lecky-Thompson usamos o conceito de vida artificial e sua análise sobre comportamentos emergentes originários de interações entre agentes inteligentes. De Ben Sunshine-Hill, aproveitamos a proposta do sistema de criação dinâmica de álibis. Nos referimos a Mark

Brockington a respeito do detalhamento do conteúdo gerado dinamicamente sob demanda, e a Chris Bateman quanto à utilização de elementos de incerteza e aleatoriedade no processo de criação autônoma de elementos pelo sistema do game, bem como a Ernest Adams sobre a estruturação algorítmica que restringe e viabiliza o uso controlado de elementos pseudoaleatórios. O foco à reação emocional do usuário apresentada por Togelius e Yannakakis serve como um dos argumentos em torno de nossa hipótese. Sobre a geração da ilusão em games recorreremos a diversos autores já mencionados, dada a rica disponibilidade de referências ao assunto por parte desses e outros autores, como Rabin, Koster e Schuytema. Adotamos um caminho metodológico misto: a pesquisa bibliográfica e a análise, tanto de elementos conhecidos de IA aplicados à criação de componentes de games, quanto das ferramentas de criação dos mesmos, sendo estes referentes à seleção de softwares a serem estudados. No tocante à pesquisa bibliográfica, fazemos uso das obras de Lucia Santaella, Nick Bostrom, Guy W. Lecky-Thompson, Ben Sunshine-Hill, Mark Brockington, Chris Bateman, Martin Ford, Georgios N. Yannakakis, Julian Togelius, Steve Rabin, Katie Salen, Ethem Alpaydin, Murray Shanahan, Eric Zimmerman e Alex J. Champandard, entre outros.

Como já fizemos a apresentação de nosso tema e hipótese, no capítulo 1 apresentaremos algumas definições e conceitos começando pela de inteligência artificial, ou IA, seguindo para a aprendizagem de máquina, então conceituaremos algoritmo, sistema e game antes de dar um breve sobrevoo sobre interatividade, para então resumir ao máximo a definição de inteligência de modo suficiente ao nosso trajeto.

No capítulo 2, traremos um caminho que leva da história ao estado da arte da inteligência artificial, iniciando por um breve histórico da IA, pinçando seus tópicos principais mais relevantes para nosso trajeto investigativo, para então sintetizar a relação histórica entre as IAs e os games, até chegarmos ao estado da arte e também ao estado da prática, como se diz na indústria de videogames quando se trata do melhor que existe nesse mercado.

Dedicaremos o capítulo 3 ao foco de toda nossa investigação e de nossa hipótese central, a *ilusão suficiente*, parada final de nosso fio condutor que apresentará uma série de argumentos em torno de estudos de casos em games e apresentações teóricas que justifiquem nossas análises, antes das considerações finais.

## **CAPÍTULO 2 – Algumas Definições e Conceitos**

Como se deve esperar, ao longo de uma investigação são encontrados diversos conceitos e definições relevantes a seu trajeto e que passam a fazer parte de seu fio condutor. Optamos por condensar aqui uma sintética e objetiva apresentação de alguns deles, por considerarmos não apenas um ponto de partida adequado, mas também uma base estrutural para sustentar a argumentação que virá a seguir e que, invariavelmente, deverá requerer novas e mais minuciosas conceituações e delimitações de significados.

### **2.1 Começaremos pela definição de IA.**

Russel e Norvig (2010, p. 1-5) se engajam na tarefa de definir IA dividindo as definições preexistentes, que eles julgam como sendo válidas, em quatro categorias qualificadas por eles pelas combinações de suas supostas oposições entre pensar e agir, e entre o que chamam de “humano” em oposição ao “racional”.

A despeito de contrapor “humano” a “racional”, os autores afirmam que não consideram humanos irracionais, mas apenas que a aplicação prática da razão não é feita com perfeição pela espécie humana como um todo: se o fossem, por exemplo, todos os jogadores de xadrez seriam grão-mestres, pois, segundo os autores, bastaria o jogador conhecer suas regras e aplicá-las, uma vez que estaria ciente de todas as possibilidades para cada movimento da partida. Do mesmo modo, nem todas as pessoas que sabem matemática conseguem resolver todas e quaisquer equações com as quais se deparam. Segundo os autores, essa característica falha resultaria de erros sistemáticos da racionalidade humana.

A primeira combinação proposta pelos autores seria a de “pensar humanamente”, o que implicaria em uma abordagem de “modelagem cognitiva”. Se o que se pretende criar for uma inteligência capaz de pensar como um ser humano, precisaríamos decodificar o modo pelo qual humanos pensam, primeiramente pela introspecção, observando o processo interno de pensamento, depois usando experimentos psicológicos para observar ações e, por fim, pelo mapeamento de imagens cerebrais enquanto o sujeito sob estudo pensa.

Se uma teoria a respeito de como o ato de pensar funciona chegasse a atingir precisão suficiente, deveria ser possível transcrevê-la como um algoritmo e, eventualmente, como um programa de computador.

Segundo essa dupla de pesquisadores, existe, desde a década de 1960, uma linha de desenvolvimento e pesquisa voltada à criação de inteligências artificiais focadas em resolver os problemas de modo similar aos seres humanos, em vez de operar de modo supostamente mais rápido ou eficiente, visando chegar a resultados mais aproximados daqueles alcançados pelos humanos. Ao restringir a tarefa e sua execução a uma atividade análoga ao funcionamento do sistema cognitivo humano, este ramo da IA estaria profundamente envolvido com as ciências cognitivas.

Uma IA baseada em um “pensar racional” operaria com foco nas regras e no modo como o pensamento lógico se estrutura.

O filósofo grego Aristóteles foi um dos primeiros a tentar codificar o “pensamento correto”, ou seja, processos irrefutáveis de raciocinar. Seus silogismos ofereceram padrões para estruturar argumentos de modo que eles sempre chegassem às conclusões corretas diante da oferta de premissas corretas – por exemplo, “Sócrates é homem; todos os homens são mortais; logo, Sócrates é mortal.” Supostamente, estas leis do pensamento deveriam reger as operações da mente e seu estudo criou o campo chamado Lógica<sup>1</sup> [tradução nossa] (Russel; Norvig, 2010, p. 4).

Criado dentro da Filosofia, esse ramo no conhecimento teria se desenvolvido ao longo do tempo e crescido significativamente após os movimentos Renascentista e Iluminista. Os efeitos dessa abordagem filosófica se espalharam pela Europa, juntamente com a expansão transnacional desses movimentos, influenciando fortemente as nações vizinhas e indo além de locais onde haviam se originado, até que lógicos – especialistas em lógica – do século dezanove viessem a criar um sistema de notação que, supunha-se, deveria viabilizar a expressão precisa de afirmações e argumentos, bem como de suas interrelações. Surgiriam assim as funções proposicionais (Copi, 1981, p. 281-310), que seriam a conversão e expressão de argumentos em notação lógica, algo familiar aos matemáticos, por meio da utilização de quantificadores

---

<sup>1</sup> “The Greek philosopher Aristotle was one of the first to attempt to codify “right thinking,” that is, irrefutable reasoning processes. His syllogisms provided patterns for argument structures that always yielded correct conclusions when given correct premises—for example, “Socrates is a man; all men are mortal; therefore, Socrates is mortal.” These laws of thought were supposed to govern the operation of the mind; their study initiated the field called **logic**” (Russel; Norvig, 2010 p. 4).

(variáveis e constantes) e de operadores, conforme necessário, com a finalidade de representar ações argumentativas.

O chamado “problema da representação” ficou muito claro ao longo dessa investida. Na década de 1960, começaram a surgir algoritmos, e seus respectivos programas de computador, que resolveriam teoricamente quaisquer problemas que pudessem ser expressos em notação lógica (Russel; Norvig, 2010, p. 4). Os pesquisadores de IA que se dedicaram a tal método julgaram que seria uma mera questão de tempo e investimento até a criação de sistemas inteligentes, contando com um avanço incremental desses algoritmos. Contudo, as coisas não prosseguiram como o que seria coletivamente esperado e, entre outros problemas encontrados, a dificuldade em converter conhecimento informal e analógico em estruturas formais, algo que pudesse ser convertido em notação lógica e, principalmente, operar com conhecimento que não implique em garantia de certeza, ou seja, com indeterminação, provou-se algo demasiado desafiador e, eventualmente, concluiu-se que não poderia ser feito, pelo menos não naquele momento e sob os paradigmas vigentes.

Outro obstáculo que ficou claro para essa abordagem foi a do problema superar a capacidade computacional. Ao se incluir poucas centenas de fatos já convertidos em notação adequada nas funções proposicionais, mesmo argumentos bem expressos logicamente, acabavam causando toda sorte de problemas. Também ocorriam loops (ciclos que se repetem indefinidamente), mesmo quando os dados estavam dentro da capacidade estimada de processamento dos computadores tornou-se lugar comum ocorrerem redundâncias lógicas inerentes aos problemas representados, travando o sistema.

Uma IA que seja voltada a “agir humanamente” nos remete ao “Teste de Turing”, proposto por Alan Turing (1950) em seu artigo seminal na revista *Mind*, “Computing Machinery and Intelligence”, com a finalidade de oferecer uma definição operacionalmente satisfatória da manifestação de inteligência dentro do contexto de seu “jogo da imitação”.

Em resumo, um computador passaria no teste se conseguisse enganar um avaliador humano ao responder suas perguntas. O teste original consistia em tal avaliador, isolado em um cômodo, colocar suas perguntas por escrito em uma fresta na parede, sem saber quem as responderia do outro lado, para então avaliar o conteúdo da resposta impressa que lhe seria devolvida. A meta da pessoa seria definir se a resposta havia sido criada por um humano ou por um computador. O computador acabaria sendo “aprovado” no teste após certo número de repetições, passando a ser considerado uma máquina operacionalmente inteligente.

O isolamento audiovisual, Segundo Russel e Norvig (2010, p. 3), seria parte da premissa de que ver e ouvir sua contraparte não deveriam ser significativos para determinar se um comportamento é inteligente ou não. Contudo, com o passar do tempo e as mudanças de referências, passou-se a pensar em uma versão mais abrangente que passaria a ser chamada de versão “completa” desse teste, ou “Teste de Turing Ampliado” (*Full Turing Test*) – vale observar que há publicações em português que usam a tradução “Teste de Turing Completo”, mas apenas raramente, já que ela tende a ser evitada por ser passível de ser confundida com a expressão “Turing Completo” (*Turing Complete*), uma classificação que indicaria que tal algoritmo ou sistema deveria ser capaz de responder humanamente a qualquer problema proposto.

Para ser capaz de passar em um teste completo de Turing, uma IA apresentaria uma lista de exigências muito taxativa aos sistemas de computação, como, por exemplo, as capacidades de processar linguagem natural, algo que atualmente já é realidade mas continua sendo uma tarefa desafiadora, e de criar representações para o conhecimento apresentado de modo a poder armazená-lo, o que seria diferente das capacidades atuais de capturar e guardar as informações que contém conhecimento, bem como as habilidades de aprender a partir de experiências, detectar padrões e extrapolar possibilidades, e de raciocinar autonomamente, por meio do uso repertório adquirido para alcançar novas conclusões, propondo respostas criativas – a aprendizagem de máquina atual está cumprindo em parte e simulando razoavelmente essas características. Para passar na tal versão completa do teste, ainda mais recursos de sistema seriam necessários, como os de processamento audiovisual e formas de interface de interação física com o ambiente e com objetos, envolvendo, por um lado, sofisticação na tecnologia de sensores e, por outro, avanços em robótica.

O agente de IA incumbido de “agir racionalmente” seria o agente racional, mas precisamos esclarecer que, para cumprir seu papel, espera-se que esse “agente” apresente diversas capacidades referentes à ação, o que envolve a percepção de seu meio, a atuação autônoma, adaptabilidade suficiente para lidar com mudanças, além de precisar identificar metas e persegui-las. Tal agente deveria obter sempre o resultado ideal, o mais desejável, e no caso de contextos de incerteza, chegar sempre na melhor solução possível para cada caso.

Se considerarmos que uma conclusão acertada pode estabelecer a meta para o curso de ação mais adequado, devemos assumir que pensar racionalmente pode ser uma etapa no trajeto de agir racionalmente. Contudo, se não for possível traduzir a inferência correta no formato do

melhor resultado de uma ação, fica claro que não se trata apenas disso. Ao ocorrerem situações nas quais não se possa comprovar a existência de soluções, ou que não seja possível determinar qual solução seria melhor, o pensar racional entraria em um impasse e não seria capaz de inferir a melhor solução, deixando a ação em suspenso, o que contradiz a expectativa de que o agente racional deveria estar capacitado a atuar em todas as situações sugeridas.

Existem diversas definições resumidas e pontuais de IA, de acordo com abordagens e recortes distintos, então incluiremos mais algumas que nos parecem pertinentes a nossa investigação.

Artero, por exemplo, passa primeiro por diferentes definições de IA e de inteligência para então chegar em sua formulação sintética de que “IA é o estudo de como fazer os computadores realizarem tarefas que, no momento, as pessoas fazem melhor, o que inclui a capacidade de adquirir e aplicar conhecimentos aprendidos” (Artero, 2009, p. 19).

Complementarmente, Lima, Pinheiro e Santos (2014, p. 1), abordam IA nos seguintes termos:

Esta área de pesquisa da ciência da computação tem como objetivo buscar métodos ou sistemas computacionais que possuam ou reforcem a capacidade de comportamentos inteligentes do ser humano, como a de resolver problemas, adquirir e representar conhecimentos, reconhecer padrões etc. [...] Um sistema inteligente é aquele que apresenta capacidades como: aquisição de conhecimento, planejamento de eventos, resolução de problemas, representações de informações, armazenamento de conhecimento, comunicação através de linguagens coloquiais, aprendizado.

Russel e Norvig (2010, p. 1020-1040) apresentam também um viés filosófico em suas definições, sugerindo uma divisão em duas categorias abrangentes de IA, que nomeiam como sendo “forte” e “fraca”. Se um sistema maquínico apresentar inteligência em um nível que revele se tratar de uma mente própria, e não simplesmente uma simulação, isso caracterizaria uma IA Forte. Já uma máquina que seja capaz de agir de modo inteligente, mas apenas por meio de uma simulação que alcance uma ilusão de inteligência, seria considerada uma IA Fraca.

Consideramos relevante apontar que ação e comportamento inteligentes são algo diferente daquilo que consideramos ser inteligência a partir de sua capacidade não apenas de agir, mas também de entender e compreender o que está sendo feito e da capacidade de justificar tais ações.

Está claro que os computadores conseguem fazer muitas coisas melhor do que os humanos, inclusive coisas que as pessoas acreditam requerer profundos entendimento e compreensão humanos. Isso não significa, naturalmente, que os computadores tenham entendimento ou compreensão ao executar tais tarefas – *comportamento* não requer tais características [...] – mas a questão relevante é que nossa primeira impressão a respeito dos processos mentais necessários para produzir certo tipo de comportamento costuma estar errada<sup>2</sup> [tradução nossa] (Russel; Norvig, 2010, p. 1022).

A investigação da IA conduz ao levantamento da possibilidade de emergência de uma consciência maquina que poderia advir da conquista da IA Forte. Tal pesquisa caminha rumo à hipótese da singularidade tecnológica (Shanahan, 2015), bem como aos argumentos do trans-humanismo e do pós-humanismo, entre outros. Nossa pesquisa, entretanto, focaliza apenas aplicações de agentes de IA Fraca atuando na criação de conteúdos e ações em videogames, especificamente como cúmplices na construção de uma ilusão, delimitando claramente nosso recorte. No que se refere à IA Forte, limitar-nos-emos aqui a acrescentar que tem se tornado cada vez mais comum chamá-la de IA Geral (*Artificial General Intelligence* – AGI). Similarmente, a IA Fraca pode também ser encontrada muitas vezes nomeada como IA Estreita (*Artificial Narrow Intelligence* – ANI).

Embora possamos notar uma mudança nos últimos anos, ainda existe uma divisão significativa entre a investigação acadêmica a respeito das IAs e a pesquisa feita por empresas voltadas para quaisquer mercados ou indústrias. Se por um lado a academia parece focada em explorar as possibilidades da IA Geral, ou Forte, utilizando as IAs Fracas, ou Estreitas, apenas como instrumentos, a pesquisa “comercial” visa atingir metas específicas voltadas a suprir necessidades “de mercado”, que giram primordialmente em torno de IAs Fracas, mas não necessariamente dando relevância ao tipo teórico que está sendo pesquisado e utilizado, focando mais no atingimento de resultados.

---

<sup>2</sup> “It is clear that computers can do many things as well as or better than humans, including things that people believe require great human insight and understanding. This does not mean, of course, that computers use insight and understanding in performing these tasks—those are not part of behavior, and we address such questions elsewhere—but the point is that one’s first guess about the mental processes required to produce a given behavior is often wrong” (Russel; Norvig, 2010 p. 1022).

## 2.2 Definição abreviada de Aprendizagem de Máquina (*Machine Learning*)

Enquanto o modelo de IA que consideramos “clássico” parte de uma pré-programação algorítmica e de algum nível de operação simbólica que determinam quais operações uma suposta IA irá realizar, numa abordagem *top-down* (de cima para baixo), o que especifica e limita aquilo que o sistema irá aprender, o modelo de IA da aprendizagem de máquina consiste em um sistema no qual os algoritmos interagem mutuamente, mas também com uma base de dados, e inserida em um contexto determinado, em uma abordagem *bottom-up* (de baixo para cima), em geral com uma amostragem grande e com diversas repetições. Seu foco é o de reconhecer padrões, operando em um processo de autoajuste no qual os algoritmos interagem e podem até alterar uns aos outros, ou o modo como acessam a base de dados, para alcançar os resultados desejados.

O modo como tal IA reconhece, ou identifica, seus resultados seria, no entanto, determinado previamente e incluído nos algoritmos, o que pode incluir também a capacidade de aprimoramento interno para obtenção de melhor eficiência. Isso torna possível que, dadas as condições adequadas, tal sistema possa até reconhecer relações que não estavam estruturadas originalmente nos algoritmos e apontar aspectos relacionais não incluídos pelos programadores.

Steven Finlay (2017, p.5) faz ainda uma síntese dessa definição segundo sua utilização:

Aprendizagem de máquina é o uso de procedimentos matemáticos (algoritmos) para analisar dados. A meta é descobrir padrões úteis (relações e correlações) entre diferentes conjuntos de dados. Quando tais relações são identificadas, elas podem ser utilizadas para fazer inferências a respeito do comportamento de novas situações, quando essas ocorrerem<sup>3</sup> [tradução nossa].

Podemos aplicar essa definição tanto a IAs que operam com algoritmos fixos, que ajustam as variáveis em um sistema simbólico para modificar o próprio comportamento, utilizando um viés *top-down*, quanto a IAs com algoritmos que se entrelaçam e mutuamente modificam suas estruturas em função do que identificam como padrões nas bases de dados que estão analisando, em um viés *bottom-up*.

---

<sup>3</sup> “*Machine Learning is the use of mathematical procedures (algorithms) to analyze data. The aim is to discover useful patterns (relationships or correlations) between different items of data. Once the relationships have been identified, these can be used to make inferences about the behavior of new cases when they present themselves*” (Finlay, 2017, p. 05).

A perspectiva de Ethem Alpaydin (2016, p.17) é a de que a aprendizagem de máquina não seria apenas uma questão de base de dados ou de programação, mas sim algo mais fundamental, sob o argumento de que, para uma IA atuar em um ambiente dinâmico, tal sistema de aprendizagem seria um pré-requisito, sem o qual não conseguiria se adaptar a seu meio operacional.

Aprendizagem de máquina (ou, como preferem alguns tradutores, “aprendizado de máquina”), parece ter sido dividida originalmente em duas categorias principais, a “supervisionada” e a “não-supervisionada” (Chapman, 2017, p. 3-4); (Artero, 2009, p. 215), mas há muitas outras possíveis categorias. As mais mencionadas costumam ser a “aprendizagem por reforço”, que é normalmente considerada um tipo de aprendizagem supervisionada, e a “semisupervisionada”, que seria uma variação da supervisionada. (Russel; Norvig, 2010, p. 694-695).

A aprendizagem supervisionada implica na exposição do agente de IA a conjuntos de dados que incluam os resultados desejados e que tenham sido previamente ajustados e classificados, em geral com a identificação de o que seriam entrada (*input*) e saída (*output*) de modo a treinar o algoritmo no reconhecimento dos padrões desejados de maneira clara.

Quando se deseja treinar um agente de IA por meio da aprendizagem não-supervisionada, o procedimento implica na exposição do mesmo aos dados sem tratamento ou classificação antecipada, em forma bruta, para que os algoritmos internos que o operam possam encontrar todos os padrões que foram estruturados para identificar. Dependendo de como os algoritmos tenham sido concebidos, o agente pode não apenas reconhecer padrões, mas também estabelecer relações e correlações que geram mais de uma saída para um banco de dados de entrada.

Os agentes de IA sob foco de nosso recorte de investigação são voltados para games e, em geral, utilizam os tipos de aprendizagem de máquina supervisionada e por reforço, e muito comumente ocorre o que costuma ser chamado de aprendizagem híbrida, na qual os dados da saída de um agente IA, que opere com um tipo de aprendizagem, acabam se tornando a entrada para outro agente que se enquadre em outra classificação.

### 2.3 Apresentando o conceito de Algoritmo

Podemos resumir o que é algoritmo afirmando se tratar de uma sequência de ações ou passos pré-definidos necessários para que se resolva um problema ou que se execute uma ação.

Para os lógicos, seria uma sequência de operações que permitiria o trajeto entre pressupostos, ou premissas, à conclusão, ou inferência.

Para os matemáticos, algoritmos costumam ser modelos de solução para equações.

Para os profissionais de computação, trata-se de um sistema de ações interligadas que operam com dados recebidos em sua entrada, resultando na obtenção de dados em sua saída.

Para Chapman (2017, p.1), seria um conjunto de comandos de alto-nível, passíveis de serem aplicados em diferentes situações e, se conjugados corretamente, dariam aos computadores a habilidade de aprender e de se adaptar.

### 2.4 Breve conceituação de Sistema

Salen e Zimmermann (2012, p. 66) oferecem uma conceituação bastante sintética de sistema que nos servirá bem como ponto de partida: “um *sistema* é um conjunto de coisas que afetam umas às outras em um ambiente para formar um padrão maior que é diferente de qualquer uma das partes individuais”.

Ao focarem seu recorte ao tema dos games, afirmam mais adiante que “um sistema é um conjunto de peças que se inter-relacionam para formar um todo complexo. Há muitas maneiras de enquadrar um jogo como um sistema: sistema matemático, sistema social, sistema de representação etc.” (Salem; Zimmermann, 2012, p. 71).

Segundo os autores, seria possível identificar os elementos de um sistema segundo seus tipos e possíveis enquadramentos, começando por enumerar quatro elementos: objetos, atributos, relações internas e meio ambiente.

Quando focalizam em um game, apontam três enquadramentos, o formal, o experimental e o cultural, que devem estar incorporados uns nos outros. Já os tipos de sistema, nesse foco seriam apenas dois, os abertos e os fechados.

A perspectiva aplicada na análise de um sistema determina seu enquadramento, então é possível assumir um viés puramente formal ao observar um game, assumindo suas partes e

elementos como objetos conhecidos e fixos, as regras como atributos determinados e fixos, as interações entre objetos do game como relações funcionais e lógicas, e o contexto e desenrolar do game como seu ambiente determinante.

Mas se assumirmos um viés experimental ao analisar o mesmo game, os próprios jogadores seriam os objetos, os elementos do game sob controle dos humanos seriam os atributos, as interações mútuas de todo e qualquer tipo entre esses jogadores-objetos seriam formariam a relações internas do sistema e, finalmente, o contexto do jogar, formado pelo game que se desenrola e pelo alcance de todos os elementos intrínsecos a ele, seria o ambiente do sistema de tal game.

É possível assumirmos o viés de um sistema cultural voltado para o modo como o game se situa na cultura como um todo. Podemos estabelecer muitas ligações entre cultura e elementos do game a partir de uma perspectiva mais ampla, realçando influências ideológicas, apropriações referenciais de design e arquitetura, da história, de modelagem estética e conceitual, entre outros. Seguindo o mesmo viés, mas com foco nos elementos do game, seu papel cultural seria o objeto, os fundamentos socioculturais e a designação de seus componentes seriam os atributos, as ligações entre o game e a representatividade de seus objetos com a cultura seriam suas relações internas, e o contexto cultural que conduziu à existência do game a partir de um mero potencial até sua realização seria seu ambiente, algo não limitado ao entorno imediato dos jogadores.

Levando em conta que sistemas culturais são considerados de tipo aberto, os formais são de tipo fechado e os experimentais podem se apresentar tanto como sendo de um tipo como de outro, observamos que jogos em geral, e games em especial, têm a capacidade de conter internamente sistemas componentes múltiplos, abertos e fechados, em função do enquadramento assumido (experimental, cultural ou formal). Contudo, podem ser classificados como sendo de apenas um dos tipos em relação ao ambiente geral.

## **2.5 Conceituando Game**

Como estamos tratando da aplicação de IAs como componentes fundamentais na construção de games, precisamos definir o que são e apresentar alguns fundamentos sobre como funcionam e a respeito do modo como são criados.

Começemos por uma definição:

Um game é uma atividade lúdica composta por uma série de ações e decisões, limitado por regras e pelo universo do game, que resultam em uma condição final. As regras e o universo do game são apresentados por meios eletrônicos e controlados por um programa digital. As regras e o universo do game existem para proporcionar uma estrutura e um contexto para as ações de um jogador. As regras também existem para criar situações interessantes com o objetivo de desafiar e se contrapor ao jogador. As ações do jogador, suas decisões, escolhas e oportunidades, na verdade, sua jornada, tudo isso compõe a “alma do game”. A riqueza do contexto, o desafio, a emoção e a diversão da jornada de um jogador, e não simplesmente a obtenção da condição final, é que determinam o sucesso do game (Schuytema, 2008, p. 07).

Há muitas definições para games, e apresentaremos também aquelas que nos parecem complementares à proposta por Schuytema, como a de Santaella e Feitoza (2009, p. IX) de que “quando dizemos ‘games’, estamos nos referindo a jogos construídos para suportes tecnológicos eletrônicos ou computacionais”.

Consideramos que tal referência a “jogos” como um conjunto maior ao qual pertencem os games nessa sintética definição é algo muito relevante em nossa linha de raciocínio, pois os componentes usados por Schuytema na elaboração de sua definição dão a entender que se trata de uma combinação de diversas definições para o conceito de jogo em si, de diferentes autores, partindo de uma categoria mais geral para, então, atualizá-las e adaptá-las em uma versão compatível com o mundo digital.

Não almejamos retrair os passos já dados e competentemente compilados por pesquisadores como Salen e Zimmermann (2012, p. 87-99), que coligiram uma comparação de múltiplas definições distintas atribuídas a “jogo” previamente estabelecidas por autores como Bernard Suits, Brian Sutton-Smith, Chris Crawford, Clark C. Abt, David Parlett, Elliot Avedon, Greg Costikyan, Johann Huizinga e Roger Caillois, antes de sintetizar sua própria conceituação: “um jogo é um sistema no qual os jogadores se envolvem em um conflito artificial, definido por regras, que implica em um resultado quantificável” (Salen; Zimmermann, 2012, p. 95).

Observamos que a definição acima teria sido elaborada ainda no início dos anos 2000, quando foi originalmente publicada, e assumia o jogo em geral e não especificamente os games, o que se torna relevante para considerarmos a refutação parcial de Isaac Barry, como apresentada em seu artigo “*Game Design*” (Barry, 2010, p. 61-138), no qual realça que a ação

de jogar – to play – um game não retrata obrigatoriamente uma simulação de conflito. Aproveitamos esse momento para realçar que games nem sempre implicam em competição.

O advento dos videogames permitiu o surgimento de diversas categorias de games não competitivos e isentos de conflito. Jogos solitários, como o de Paciência, ainda envolvem uma competição da habilidade contra a sorte, mas há games solo e coletivos completamente isentos de competitividade. Em alguns casos, podem ser de origem oposta à competição e a situações de oposição. Por exemplo, games cooperativos em que a meta seja criar algo conjuntamente e por comum acordo, são desprovidos de ambos os traços e envolvem múltiplos jogadores.

Há também os games de caminhada, ou “*walking games*”, em que o objetivo é simplesmente andar livremente pelo cenário e descobrir, por prazer, as paisagens e trajetos possíveis em um ambiente virtual, sem limites de tempo ou placar de pontos. Há os games de narrativa de múltipla escolha, cujo objetivo seria o de participar de uma história como um dos personagens como se estivesse dentro de uma aventura de algum tipo, podendo haver múltiplas escolhas e diversas consequências, sem haver a possibilidade de fazer algo “errado”.

## **2.6 Rápido sobrevoo sobre a Interatividade**

Traremos aqui uma breve síntese segundo a abordagem de Salen e Zimmerman (2012a, p. 73-85) a respeito de interatividade. Grosso modo, poderíamos resumi-la somente como uma relação ativa entre duas coisas.

Tal abordagem, contudo, não daria conta das complexidades que esse conceito apresenta quando se trata do estudo de games, bem como a questão da emergência da interatividade a partir de sistemas.

Numa primeira abordagem, algo seria interativo quando da existência de uma relação de reciprocidade entre dois elementos dentro de um sistema, o que enquadraria tanto um diálogo quanto um game. Em seguida, Salen e Zimmerman incluem o conceito de representação e definem que a interatividade acontece quando indivíduos atuam como agentes dentro de um contexto representacional, dando ênfase ao componente interpretativo das experiências de interação e classificando tal atividade como um espaço representacional.

Ainda em outra abordagem, acrescentam um valor de significância de uma intervenção dentro da representação em si como sendo condição necessária para a habilidade de interagir

ser realizada, estabelecendo uma conexão entre a interatividade e a ação explícita, algo que se enquadra muito bem aos games, pois esses momentos de ação explícita e significativa poderiam vir a ser elementos importantes na percepção da experiência de jogar um game.

Há ainda a questão de diferenciar sistemas interativos de reativos, e a possibilidade de as vias de comunicação dos interagentes não ser da mesma categoria, gerando um tipo de interação híbrida.

No artigo sobre interatividade apresentado por Primo (2000, p. 85), quando “aponta uma diferenciação fundamental entre o que é interativo e o que é reativo” em seu estudo sobre interações, abordando as modalidades mútua e reativa, ele afirma que um sistema interativo deveria oferecer autonomia completa ao usuário, enquanto se deveria chamar de reativo se um sistema limitasse o leque de opções disponíveis.

Uma relação reativa, segundo esse preceito, se caracterizaria pela limitação da liberdade de escolha, apresentando traços determinísticos que a desqualificariam como algo interativo. Entretanto, ao examinar os termos em outras linhas de investigação, esse autor se depara com os termos comunicação, interação e relação sendo usados de maneira sinônima, inferindo então que deveria existir um tipo “não completo”, limitado, de interação.

Partindo de tal referência, propõe a utilização de duas categorias para as interações, uma mútua, outra reativa, apresentando os seguintes termos a serem considerados para tipificá-las: operação; processo; fluxo; interface; sistema; relação; *throughput* – que é o que acontece entre ação e reação, o trajeto pelo qual entrada se transforma em saída.

A interação mútua seria, em resumo: uma operação de ações interdependentes, o que a torna emergente; um processo de negociação entre os agentes; um fluxo não-linear, dinâmico e em desenvolvimento; uma interface virtual, geradora da diferença e da repetição, do movimento da atualização; um sistema aberto e que evolui, no qual cada parte afeta o todo e ocorre interação entre suas partes, dentro de um contexto relevante; uma relação negociada; um *throughput* caracterizado pelo confronto da complexidade do interagente com a mensagem recebida, gerando uma resposta imprevisível.

Já a interação reativa seria: uma operação fechada na ação e na reação; um processo de estímulo-resposta que deve ser sempre o mesmo; um fluxo linear, predeterminado em eventos isolados, mecânico; uma interface potencial, geradora de pseudomovimento (limitado pelo possível); um sistema fechado, com relações lineares e unilaterais, o reagente tem limites ou

não consegue afetar o agente, o contexto é ignorado e o sistema não evolui; um *throughput* automático ou de reflexo, predeterminado pela programação; uma relação causal.

A investigação original de Primo se deu em um período no qual as características da Internet limitavam grandemente a conectividade aos dispositivos interativos e aos consoles de videogame, e mesmo os computadores pessoais enfrentavam limitações de velocidade e tempo de resposta que não viabilizavam experiências interativas satisfatórias. Como os avanços da tecnologia de telecomunicações e informação digital, a interatividade mediada passou a ser não apenas possível como também altamente eficiente, originando novos ambientes de interação mútua integrada em ambientes com características típicas de contextos reativos, oferecendo a seus agentes uma nova categoria de experiências híbridas. Para dar conta de tais situações, reconhecemos uma terceira opção nas formas de interação, a da “interação mútua mediada reativamente”.

Segundo as mesmas exigências, esse sistema híbrido seria: uma operação de ações interdependentes entre agentes humanos, mediada ou não por uma operação fechada na ação e reação com os agentes e elementos simulados; um processo de negociação entre os agentes humanos, mediado ou não por um processo de estímulo-resposta com os agentes simulados ou virtuais; um fluxo híbrido, de engajamento linear, mas de desenvolvimento não-linear, dada a mediação do ambiente reativo; uma interface inicialmente potencial, mas de desenvolvimento virtual, capaz de gerar movimentos de atualização, a despeito de a interface inicial permanecer limitada ao pseudomovimento; um sistema híbrido, com um conjunto de regras fechadas, mas possibilitando a interação aberta entre agentes humanos, o contexto é considerado e pode ser alterado pelos agentes humanos, dentro das regras, o sistema evolui, mas com limitações; uma relação negociada, mas com aspectos de manifestação limitados pela relação causal com os elementos de mediação (ambiente e agentes simulados); um *throughput* caracterizado pelo confronto da complexidade do interagente com a mensagem recebida, gerando uma resposta imprevisível, mas pode ser limitada pelas regras de mediação reflexa ou automática do meio e dos agentes simulados.

## **2.7 Ousando resumir a definição de Inteligência**

Nossa investigação nos leva a encontrar repetidas vezes o conceito de “inteligência”, logo, sentimos a necessidade de pesquisá-lo.

Encontramos uma quantidade imensa de definições para tal conceito, realçando suas características, listando atributos distintos e expondo seus supostos elementos constituintes. Existem ainda trabalhos em maior quantidade que simplesmente abordam e citam inteligência sem definir com clareza quais de seus aspectos estariam envolvidos ou delineando separações entre aspectos filosóficos, biológicos, clínicos ou quaisquer outros. Pareceu-nos claro que tal tarefa fugiria do escopo e da monta requerida por nosso trabalho, logo, sintetizaremos aqui uma pequena parte de nossos achados.

A busca por definir conceitualmente a inteligência pareceu ser impulsionada, e se tornar um amplo palco para novos conflitos intelectuais e acadêmicos, com o lançamento da obra *The Bell Curve* por Hemstein e Murray (1994), na qual ambos associaram, em meio a teorias diversas, os sistemas de classificação de inteligência e uma suposta estratificação da sociedade norte-americana. Encontramos muitas publicações se referindo a esse trabalho, tanto apoiando quanto criticando ou mesmo rejeitando tal estudo, mas muitos consideram o relatório “Intelligence: Knowns and Unknowns” (Neisser et al, 1996, p. 77-101), de 1995, que acabou sendo publicado pela *American Psychologist*, em 1996, como sendo a resposta mais relevante ao contradizer diversas das propostas apresentadas em *The Bell Curve*, principalmente por ter recebido a assinatura corroborativa de muitos acadêmicos de renome em sua elaboração.

Acrescentamos ainda que em dezembro do mesmo ano do lançamento da controversa obra de Hemstein e Murray, um grupo de cinquenta e dois pesquisadores especialistas no estudo da inteligência assinaram em conjunto um editorial no *The Wall Street Journal* sob o título “Mainstream Science on Intelligence” (Gottfredson, 1994), também abordando de maneira crítica as teorias, propostas e definições utilizadas em *The Bell Curve*.

3Conforme já mencionado, não é objetivo da presente pesquisa resolver tal imbróglio acadêmico. Limitar-me-ei à sintética, e mais que suficiente para nossos fins, definição oferecida inicialmente pelo filólogo e filósofo André Lalande (1999, p.579), na primeira entrada do verbete “inteligência” em seu vocabulário técnico-filosófico:

[Inteligência é o] conjunto de todas as funções que têm por objeto o conhecimento no sentido mais amplo da palavra (sensação, associação, memória, imaginação, entendimento, razão, consciência). Este termo serve para designar uma das três grandes classes (ou faces) dos fenômenos psíquicos, sendo as duas outras as dos fenômenos afetivos e a dos fenômenos ativos ou motores.

## CAPÍTULO 3 – Da História ao Estado da Arte

### 3.1 Um Breve Trajeto Histórico da IA

Sem a pretensão de alcançar a abrangência de um levantamento detalhado como o de Nilsson (2010), ou a atenção aos detalhes de Wooldridge (2021), apresentaremos aqui um breve histórico da IA, limitando-nos aos pontos-chave que nos parecem relevantes a nosso percurso investigativo e, mais adiante, delinearemos um recorte a respeito do entrelaçamento das histórias da computação e dos jogos e, mais especificamente, entre IAs e games. Seguiremos referencialmente o trajeto proposto por Santaella (2023) nesse primeiro momento, escolhendo pequenas inserções dos trabalhos dos autores supracitados quando nos parecer relevante à nossa abordagem específica.

Assumiremos o ponto de partida escolhido por Wooldridge (2021, p.17-20) de que a história da IA se iniciou em meados dos anos 1930, quando Alan Turing era um estudante de Matemática na Universidade de Cambridge e descobriu um problema matemático postulado por David Hilbert, em 1928, chamado *Entscheidungsproblem* que, em síntese, questionava se haveria quaisquer problemas matemáticos decisórios que não pudessem ser respondidos por simplesmente seguir uma receita. Esses problemas seriam questões matemáticas que são respondidas apenas por sim e não, como “é verdade que  $2+2=4$ ?”, “é verdade que  $4 \times 4=16$ ?” ou “é verdade que 7919 é um número primo?”.

Embora as respostas para todos os exemplos acima sejam “sim”, a terceira questão requer mais complexidade de cálculo do que as duas primeiras, mas continua sendo uma “receita” de passos a serem tomados que, dado tempo suficiente, poderia responder se qualquer número é primo ou não. Turing resolve o postulado de Hilbert em 1935, em uma proposição de poucas linhas, mas como ele percebeu que os passos para resolver tais tipos de problemas precisariam ser seguidos com precisa exatidão, ele inventou uma máquina (naquele momento ainda um modelo teórico em vez de físico) de resolver problemas que representava exatamente a descrição da tal “receita”. Embora a inteligência de tal sistema estivesse na elaboração da receita, sendo sua execução uma sequência mecânica, ao executar tal receita a máquina gera uma ilusão de inteligência bastante convincente, assim como uma pessoa não conhecedora das teorias matemáticas, mas capaz de efetuar operações básicas, pareceria ser uma especialista no assunto ao seguir uma receita invisível para determinar se um número é primo. Hoje,

chamamos tais máquinas de “Máquinas de Turing”, em sua homenagem e, em certa medida, conhecemos tais receitas pelo nome de “algoritmos”.

Seguindo o trajeto proposto por Santaella (2023), encontramos as conferências que ocorreram no Dartmouth College, em 1956, cujo tópico predominante seria o de usar o modelo do computador digital para estabelecer as bases que poderiam levar a um novo tipo de ciência da mente:

Dessa ideia de que o computador poderia ser tomado como um modelo para entender a mente e o cérebro humanos brotou a IA, cuja expansão interdisciplinar deu origem àquilo que passou a ser chamado de ciências cognitivas ou ciência cognitiva, como querem alguns (Santaella, 2023, loc. 340).

Embora diversos nomes que viriam a se tornar importantes no então iniciante campo da computação digital, como Marvin Minsky, Allen Newell e Herbert Simon, atribui-se a John McCarthy o nome “Inteligência Artificial” para essa nova área do conhecimento.

O desenvolvimento da IA se concentrou, desde seus primórdios, no Instituto de Tecnologia de Massachusetts e nas Universidades Carnegie Mellon e Stanford, que continuam como líderes nesse campo de investigação até o presente, embora existam atualmente muitos outros centros de pesquisa ao redor do mundo, nem todos submetidos a um regime acadêmico, investindo fortemente na busca de novas conquistas.

Começaremos abordando o ramo dos sistemas baseados em regras nos referindo a seu exemplo mais citado, o programa Eliza, um software de conversação que, mesmo não obtendo grande sucesso foi um marco seminal de onde surgiram os “Sistemas Especialistas”, que se tornariam predominantes na década de 1980 e início dos anos de 1990. Estruturados em árvores de decisão baseados em sistemas condicionais no formato de regras dedutivas “se...então”, alguns programas chegavam a ter centenas ou milhares desses filtros condicionais organizados de maneira rizomática (Deleuze e Guattari, 1995, p. 11-37).

Se, por um lado, tais sistemas eram muito estáveis e menos propensos a erros, por outro dependiam largamente do conhecimento humano gerado por especialistas para elaborar seus filtros condicionais. Com o surgimento de novas estratégias de IA, essas técnicas deixaram de ser centrais e passaram a ser instrumentais, continuando a existir contextos especializados, como sistemas de comando e controle utilizados em agricultura, manufatura e diversas áreas da engenharia.

Um ramo que se entremeia com o da IA é o dos games, foco de nossa investigação, por isso dedicaremos um segmento mais detalhado a esse tópico mais adiante, mas para manter a linha proposta por Santaella (2023), faremos aqui uma menção resumida ao interesse dos desenvolvedores de IA pelos computadores que jogam games. Exemplo disso seria a tentativa de mimetizar o modo humano de jogar xadrez, pela utilização de técnicas estatísticas para escolher quais movimentos fazer utilizando os registros de jogos anteriores. O sucesso dessa técnica foi consagrado pela vitória do sistema Deep Blue da IBM sobre o então campeão de xadrez Boris Kasparov. Essa e outras estratégias de programação de IA foram aplicadas não apenas ao xadrez, mas também a outros jogos de tabuleiro, como o Go, cujo marco de superação da capacidade humana se daria com a vitória de DeepMind, do Google, sobre o jogador número 1 no ranking mundial, Lee Sedol.

Um dos ramos que devemos destacar é o da visão computacional. Logo de início os pesquisadores reconheceram que seria necessário criar modelos simplificados de “mundo” para investigar e utilizaram formas básicas em ambientes controlados, mas os esforços iniciais em identificar até mesmo simples cantos, margens e blocos de face falharam. Depois de um longo desenvolvimento, com a implementação de sistemas de Aprendizagem Profunda, sistemas computacionais passaram a detectar e processar formas e movimento, identificando objetos em imagens de vídeo com resultados cada vez mais satisfatórios, mimetizando a interpretação humana. Além de reconhecer objetos e padrões em imagens, houve muito avanço no ramo específico de reconhecimento facial e de expressões faciais, algo deveras desafiador dadas não apenas as variações das expressões emocionais, mas também de variáveis situacionais como posicionamento, perspectivas, obstáculos, resolução gráfica das imagens e fator de movimentação em imagens de vídeo.

Outro ramo mencionado por Santaella (2023, loc. 358-380) é o que se refere ao processamento de linguagem natural, que, no início, focava principalmente a tradução entre diferentes idiomas. Apesar de as línguas terem uma estrutura subjacente estável, as diferenças nas maneiras e formas como se apresentam são muito grandes, com diversas ambiguidades e um ciclo aparentemente interminável da necessidade de criar repetidamente novas regras para dar conta das exceções às regras anteriores.

Apesar de tais obstáculos, atualmente as redes neurais artificiais, utilizadas com estratégias híbridas de modelagem de IA, não apenas processam texto e voz, como também são capazes de analisar e classificar os sentimentos que tais manifestações expressam.

Encontramos exemplos práticos da utilização de tais modelos nos chat-bots que, em 2023, têm se proliferado numa escala vertiginosa, demonstrando aptidão para entender e responder aceitavelmente a perguntas e comentários apresentados pelas pessoas.

O cotidiano está agora permeado por aplicações de IA difusas em sistemas que integram dispositivos de computação pessoal fixos e móveis, dispositivos “inteligentes/*smart*” e tudo que faz parte da Internet das Coisas. Esses agentes, dotados de sensores diversos, físicos e virtuais, acompanham as rotinas da maioria das pessoas, operando coisas corriqueiras como a filtragem de SPAM, a recomendação de produtos e conteúdos de mídia para consumir, a correção ortográfica nos aplicativos de comunicação e redes sociais. Muitos serviços fundamentais ao funcionamento da sociedade, como serviços legais, financeiros, médicos e jornalísticos, entre outros, também passaram a operar por meio de agentes de IA, quer seja de maneira direta ou indireta, indicando sua pervasividade nas mais diversas áreas.

Seguindo o trajeto proposto pela autora, usaremos também o trabalho de Lee (2018, p. 116-117) citado por ela. Encontramos uma abordagem que sintetiza a revolução da IA em quatro ondas que diferem entre si quanto ao modo como tiramos proveito de suas capacidades, mas que convergem no aspecto de se inserirem cada vez mais profundamente em nossa vida diária. Já nos encontramos imersos nas ondas da IA de Internet e da IA de negócios, as duas primeiras, e não é tão fácil detectar as mudanças já ocorridas e em andamento, mas a automação dos serviços prestados a nós está sendo intensificada, tanto que algoritmos estão substituindo consultores, operando como corretores de ações e gerando diagnósticos médicos.

Estamos experimentando os estágios iniciais da terceira onda, a da IA da percepção, que implica na digitalização do mundo físico, no reconhecimento facial e em toda aprendizagem que acompanha tal processo, no entendimento de linguagem refinado o bastante para reconhecer nossos pedidos e solicitações, na capacidade de “enxergar” o mundo que nos cerca. E isso está em andamento, o modo como experimentamos e interagimos com nosso entorno está sendo modificado, a linha que separa o físico do digital está cada vez menos definida.

A quarta onda seria a de maior impacto, a da IA autônoma. Veículos autônomos não parecem tão distantes de nosso cotidiano no momento, e drones autônomos não tardarão a seguir. Nas fábricas, os robôs estão ganhando cada vez mais autonomia. A substituição do trabalho braçal humano por máquinas autônomas inteligentes mudará nossa experiência no mundo como um todo.

Santaella (2023, loc. 391) sugere que, se Lee estivesse compondo sua lista hoje, “estaria certamente acrescentando na sua quarta onda o Metaverso com suas dobras de realidades paralelas”.

Outra abordagem seria a relação entre hardware, software e informação armazenada.

Há uma conexão intrínseca entre IA e o par-casado dados e algoritmos, que representam a informação armazenada e o software no relacionamento em questão, faltando então o hardware, que na tecnologia da informação é essencialmente representado pelos chips de computador.

Segundo Sejnowski (2018, p. 205), estamos testemunhando o surgimento de uma nova arquitetura de chips de computador graças à corrida para conseguir novas gerações de computadores que sejam capazes de executar novos e mais complexos algoritmos de aprendizagem de máquina milhares de vezes mais depressa do que as arquiteturas anteriores, consideradas “de uso geral”, eram capazes.

Os novos chips fabricados em escala de integração muito grande (*very large-scale integration* – VLSI) usam arquiteturas de processamento paralelo, passaram a incorporar partes do computador que antes eram externas, como as memórias operacionais e de armazenamento temporário rápido, para aliviar o engarrafamento de dados que tende a ocorrer quando uma unidade central de processamento (*central processing unit* – CPU) começa a operar mais rapidamente e precisa enviar e receber dados para a memória de acesso aleatório do sistema (*random access memory* – RAM), principalmente quando se passou a utilizar processamento paralelo. Aos poucos, a indústria está sendo forçada a evoluir e tem buscado diversas soluções para suplantar as limitações do sistema de processamento sequencial, chamado de “von Neumann”, em homenagem ao cientista que o concebeu, que predominou durante mais de meio século. Tudo isso impulsionado principalmente pela necessidade de executar algoritmos complexos que precisam perscrutar e processar bases de dados muito grandes chamados de big data.

Para nossa investigação, é relevante apontar que os sistemas de processamento paralelo estão sendo utilizados não apenas nos grandes centros de processamento com bases de dados gigantescas, mas que já estão nos computadores domésticos, dispositivos móveis e consoles de videogame. Quando vemos algum material de marketing anunciando um certo dispositivo com processador “octa-core” devemos entender que se tratam de oito processadores trabalhando em computação paralela, em uma arquitetura híbrida que em seu bojo ainda opera como se fossem

oito sistemas de arquitetura linear von Neumann (1993, p. 1-4) operando lado a lado, processando paralelamente mas compartilhando recursos como memória operacional e armazenamento de longo prazo, mas a cada geração nos afastamos um pouco mais do processamento linear. Videogames com processadores de múltiplos núcleos vêm sendo comercializados já desde 2005 e computadores pessoais desde 2001. Conforme as novas gerações de programadores vão se habituando com processamento distribuído e paralelo, mais os modelos de pensar vão se afastando do modelo anterior. E as exigências do mercado de games têm sido uma forte impulsão no desenvolvimento de novas plataformas.

Os consoles de videogame, e as placas de vídeo para computadores voltados para games, produzidos nas últimas duas décadas possuem uma unidade processadora gráfica dedicada, chamada de GPU – *Graphics Processing Unit* – um tipo de processador de dados que tem evoluído vertiginosamente e que opera como se fosse um computador em separado e de arquitetura independente, instalado dentro do próprio ambiente no qual opera, possuindo sua própria memória operacional (VRAM – *Video Random Access Memory*), memória cache ultra veloz (V-Cache – *Video Cache*) e uma grande quantidade de unidades especialistas de processamento. E essas GPUs têm sido utilizadas nas mais diversas aplicações, não apenas em processamento gráfico, devido a seu poder de processar grandes quantidades de dados em paralelo (Lopes e Ribeiro, 2011, p. 355-362).

Por exemplo, um GPU de última geração<sup>4</sup>, nesse momento de nossa investigação em meados de 2023, possui mais de 16 mil unidades de processamento dedicadas apenas para calcular sombreamento nas imagens (*shading units*), 512 processadores de mapeamento de texturas (TMUs – *texture mapping units*), 176 ROPs (*raster output pipelines*) unidades que convertem as informações de contorno dos objetos em pontos (pixels) na tela, 128 unidades multiprocessadoras de fluxo (SM – *Streaming Multiprocessors*), 512 núcleos de processamento tensorial (TC – *tensor cores*) e 128 núcleos de cálculo de trajetória de raios de luz (RT – *ray-tracing*). Como referência de capacidade dessas especificações, alguns desses processadores dedicados são muito simples, como as unidades de cálculo de sombreamento, e seu poder reside no volume de trabalho paralelo que executam. Contudo, algumas das unidades que aparecem às dezenas e centenas nesse GPU são individualmente tão poderosos quanto um dos núcleos

---

<sup>4</sup> Disponível em: <<https://www.techpowerup.com/gpu-specs/geforce-rtx-4090.c3889>>. Acesso em: 19/05/2023.

do computador no qual operam. Não é raro que uma placa de vídeo que sustente um GPU dessa categoria custe, sozinha, mais do que todo o restante do computador na qual está operando.

Essas GPUs, originalmente desenvolvidas para games, estão por trás de muitos progressos científicos nas mais diversas áreas, da saúde (Pandit et al, 2022) a aplicações, e foram também a força motriz de processamento por trás de algumas das ondas de cripto-moeda (Tan et al, 2021 p. 1-18), e no momento estão se tornando a base de testes novas arquiteturas<sup>56</sup> em ascensão no processamento de aprendizagem de máquina.

### 3.2 Sintetizando a Relação Histórica Entre IAs e Games

Segundo Yannakakis e Togelius (2018, p. 8-13), as tecnologias de IA compartilham uma interação profunda com a história dos games desde muito cedo em sua concepção. No Simpósio *Faster than Thought*, Alan Turing (1953, p. 283-310) apresentou sua reinvenção do algoritmo Minimax em uma aplicação para o game de Xadrez com a apresentação de seu artigo *Digital Computers Applied to Games*.

Além de demarcar no tempo a antiguidade da relação entre IA e games, Turing (1953, p. 289), ao argumentar “Poderia alguém fazer uma máquina de jogar xadrez que melhorasse seu jogo, jogada-a-jogada, tendo ganhos com suas experiências? (...) Isso certamente pode ser feito. Se não fizeram ainda é apenas porque há coisas melhores a se fazer”<sup>7</sup>, apresenta sua confiança na possibilidade de virem a ser criadas máquinas que poderiam melhorar seu desempenho ao aprender a cada nova execução de sua tarefa, tirando proveito da experiência para aprimorar seus resultados seguintes, algo que hoje é caracterizado pela Aprendizagem de Máquina.

Retomando o trajeto do entrelaçamento histórico entre games e pesquisa em IA proposto por Yannakakis e Togelius (2018, p. 8-15), o game de Jogo da Velha, escrito por A. S. Douglas em 1952, como parte de sua tese de Doutorado sobre as interações entre máquinas e humanos, seria não apenas um dos primeiros games digitais – senão o primeiro – a realmente

---

<sup>5</sup> Disponível em: <<https://www.nvidia.com/en-us/data-center/a100/>>. Acesso em: 16/06/2023.

<sup>6</sup> Disponível em: <<https://www.amd.com/en/graphics/instinct-server-accelerators>>. Acesso em: 16/06/2023.

<sup>7</sup> Tradução nossa de: “*Could one make a machine to play chess, and to improve its play, game by game, profiting from its experience? (...) This certainly can be done. If it has not been done already it is merely because there is something better to do*” (Turing, 1953, p. 289)

desafiar seus oponentes humanos, como também seria considerado o primeiro software a atingir total maestria em um jogo.

Uma relevante interação posterior seria a do game de Jogo de Damas, criado por Arthur Samuel, ao final da década de 1950, reconhecido como sendo o primeiro modelo funcional de algoritmo de aprendizagem de máquina, num formato que hoje chamamos de aprendizagem por reforço, poucos anos após a proposta de sua possibilidade ser aventada por Turing no supracitado simpósio.

Outro marco importante na pesquisa de IA teria sido o desenvolvimento do game TD-Gammon por Gerald Tesauro, em 1992, que utilizava uma rede-neural artificial treinada com um sistema de aprendizagem por diferença temporal. Essa IA aprendeu jogando gamão contra ela mesma milhões de vezes, até atingir a capacidade de superar os melhores jogadores humanos.



*Figura 5 - Equipe Chinook (1992). Da esquerda para a direita: Duane Szafron, Joe Culberson, Paul Lu, Brent Knight, Jonathan Schaeffer, Rob Lake, and Steve Sutphen. (fonte: SCHAEFFER, Jonathan. Chinook: Twenty Years Later. Blogspot, 22 de ago. De 2012. Disponível em: <<http://jonathanschaeffer.blogspot.com/2012/08/chinook-twenty-years-later.html>>. Acessado em: 12 de out. de 2023.)*

Em 1994, o campeão mundial de Jogo de Damas foi vencido pelo software Chinook Checkers (Figura 5), um game baseado em um sistema de árvore de decisões, 13 anos antes desse jogo ter seu funcionamento básico completamente decodificado em 2007.

Conforme delineado pelos autores, os jogos de xadrez e de damas estão entre os mais comumente focados pelos matemáticos em suas experimentações algorítmicas desde muito antes da computação tecnológica, e esses mesmos jogos se tornaram uma das plataformas experimentais mais utilizadas pelos cientistas de IA para novos modelos computacionais, sob o preceito de que suas possíveis complexidades matemáticas, exploradas longamente, seriam uma representação do pensamento lógico humano.

A criação de softwares capazes de superar jogadores humanos de xadrez mudou o direcionamento do foco dos pesquisadores de IA, marco este atingido publicamente em 1997 com a vitória do sistema Deep Blue da IBM – que a despeito de toda sua sofisticação, ainda era baseado em um algoritmo Minimax modificado, similar ao elaborado por Touring nos anos 1950 – sobre o renomado campeão e mestre Garry Kasparov, levando a investigação do estágio de “como superar” ao de “como fazer melhor”. Menos de duas décadas depois já era possível encontrar games gratuitos, com código aberto e em domínio público, desenvolvidos como forma de passatempo por programadores amadores para computadores pessoais, capazes de vencer qualquer ser humano nesse jogo.

O marco seguinte da IBM em IA envolvendo jogos seria o sistema Watson, compreendendo um software especializado capaz de responder perguntas feitas em linguagem natural, que participou em 2011 de um programa de televisão do tipo “*quiz game show*” – perguntas e respostas – sobre temas pré-definidos chamado *Jeopardy!*, vencendo dois oponentes que eram os antigos campeões humanos do jogo, ganhando um milhão de dólares.

A pesquisa de IA apresentou mais uma conquista na área dos jogos de tabuleiro quando Lee Sedol, um jogador profissional de Go do mais alto grau, foi vencido em um confronto de 5 partidas contra o software AlphaGo, uma aplicação de aprendizagem profunda por reforço do Google DeepMind. O confronto, ocorrido em 2016, antecipou um muito as expectativas em torno da capacidade de algum sistema algorítmico dominar esse jogo, dada sua complexidade de mapeamento ser muitas vezes maior do que a do jogo de xadrez.

Segundo Yanakakis e Togelius (2018), a vitória de AlphaGo sobre Ke Jie, então campeão de Go em primeiro lugar no ranking mundial, em um confronto de 3 partidas em maio de 2017, marca a conquista das IAs de capacidade sobre-humana nos principais jogos clássicos de tabuleiro. A despeito de provavelmente existirem, e de poderem ser criados, jogos mais complexos do que o de Go na categoria tabuleiro, isso não invalidaria tal argumento, pois não

se enquadrariam na categoria de “clássicos” por serem novos, desconhecidos ou ambas as coisas.

No que tange ao desenvolvimento de IAs que jogam não apenas jogos de tabuleiro, os autores realçam o marco alcançado pelo Google DeepMind, em 2014, com o desenvolvimento de algoritmos capazes de jogar diversos videogames do clássico console Atari 2600 com habilidades sobre-humanas, partindo apenas das informações do posicionamento dos pixels na tela.

Segundo a publicação desse grupo de pesquisadores na revista *Nature* no ano seguinte (Mnih et al, 2015), o objetivo de tal empreitada seria o de elaborar algo que ainda não havia sido executado com sucesso na área de IA: criar um único algoritmo que fosse capaz de desenvolver uma ampla faixa de competências em tarefas variadas e desafiadoras. Ao criarem um novo agente – o DQN = Deep Q-network – que combinava Aprendizagem Profunda (AP = DL ou *Deep Learning*) com Redes Neurais Artificiais (RNA = ANN ou *Artificial Neural Networks*) da categoria de Redes Neurais Profundas (RNP = DNN ou *Deep Neural Networks*), chegaram a uma arquitetura de sucesso, uma Rede de Convolução Profunda (RCP = DCN ou *Deep Convolution Network*) capaz de explorar as correlações espaciais presentes em imagens e lidar com mudanças de pontos de vista e escala.

A arquitetura do DQN não apenas resolvia essa questão fundamental da captação de dados, mas, com as devidas implementações algorítmicas das estratégias supracitadas em diferentes combinações, alcançou a meta desejada ao não apenas “enxergar” a tela dinâmica do videogame e reconhecer seus elementos, mas como de decifrar sua lógica e jogabilidade, utilizando como reforço de aprendizagem os mesmos elementos utilizados por jogadores humanos para definir suas ações. Embora alguns games, cujas correlações “ação-recompensa” se mostraram demasiado indiretas para o sistema, como, por exemplo, o título *Ms Pac-Man*, de 1982, da empresa japonesa Namco, o sistema teve sucesso por si só ao jogar a maior parte da biblioteca de games disponíveis para testes no console Atari 2600. Segundo Yannakakis e Togelius (2018), isso tornaria o DQN em um marco significativo não apenas para a criação de IAs capazes de jogar videogames, mas no conjunto geral do desenvolvimento de IAs de modo mais amplo. Partindo desse trabalho, a jogabilidade do videogame *Ms Pac-Man* seria resolvida em 2017 pela equipe Maluuba da Microsoft, utilizando uma arquitetura híbrida com múltiplas técnicas de aprendizagem por reforço.

Continuando com nossa breve correlação entre as histórias dos videogames e das IAs segundo esses autores, mudaremos o foco da criatividade de máquina voltada a criar a ilusão de que há um super-humano jogando para o da criação maquínica de partes dos videogames, começando pela Geração Procedural de Conteúdo (GPC = PCG ou *Procedural Content Generation*).

No começo dos anos 1980, alguns videogames começaram a utilizar algoritmos para criar parte de seus conteúdos durante sua execução, com o game “rodando”, em lugar de utilizar apenas conteúdos criados por humanos, principalmente como uma estratégia para conseguir economizar espaço de armazenamento na mídia de distribuição dos games, mas também, em alguns casos, para poder incrementar um fator de diversidade no conteúdo, permitindo experiências variadas a partir de um mesmo software criando situações distintas entre si dentro do game.



Figura 6 - cada ponto no “painel” é um sistema estelar completo, gerado em tempo real pelo algoritmo pseudo-aleatório. 1984. (fonte: GAZZARD, Alison. *The Platform and the Player: exploring the (hi)stories of Elite*. *Game Studies*, vol. 13 num. 2, dez. de 2013. Disponível em: <<https://gamestudies.org/1302/articles/aggazzard>>. Acessado em: 12 de out. de 2023.)

Dentre os diversos títulos que utilizaram tais técnicas em sua vanguarda, dois deles se destacaram por terem sido muito influentes sobre as futuras aplicações de tais estratégias. *Rogue*, de Toy e Wichmann, lançado em 1980, tinha suas masmorras, bem como a localização de objetos e criaturas que apareciam dentro delas, gerados algorítmicamente a cada vez que o game era iniciado. *Elite* (Figura 6), da Arcorsoft, lançado em 1984, que apresenta um universo enorme a partir de um conjunto de regras seminais, ricas em elementos aleatórios (ou pseudo-aleatórios, como será argumentado adiante), capazes de gerar sistemas estelares na medida do que seria necessário para implementar a experiência desejada para o jogador, enquanto o game estava sendo jogado.

Além de abrir a possibilidade de se conseguir muito conteúdo de maneira automática, sem a necessidade de criar tudo à mão e de economizar espaço ao substituir arquivos de conteúdo potencialmente grandes por arquivos de algoritmos muito menores, a GPC gerou outros benefícios, sendo o de auto-renovação da jogabilidade um dos mais significativos, pois ao oferecer uma experiência variada para o usuário, o game passa a ser mais valorizado pelo jogador, instigando-o a jogar novamente.

Entre os diversos videogames recentes que implementam atualizações das estratégias algorítmicas desses dois exemplos iniciais podemos ressaltar os games da franquia *Diablo*, da Blizzard Entertainment, bem como as masmorras de *Bloodborne*, da Sony Computer Entertainment, como herdeiros diretos de *Rogue*, enquanto o game *Elite* original de 1984 deixou seu legado não apenas os games da própria franquia *Elite* em suas variantes *Frontier* e *Dangerous*, mas também games como *No Man's Sky* da Hello Games, lançado em 2016 e que continua sendo ampliado até o momento da revisão desse texto, em julho de 2023.

Eventualmente, IAs passaram a ser utilizadas para analisar a jogabilidade de games e a criar modelos dos jogadores, algo que vem se tornando mais relevante e comum à medida que os videogames passaram a contar com a interconectividade, viabilizada pela ubiquidade da Internet, criando a possibilidade desses softwares permanecerem em contato com os servidores dos desenvolvedores, gerando um fluxo quase constante de coleta de dados de tudo que se refere ao jogar.

Em nossa já mencionada investigação anterior (Cabral, 2018), focalizamos nossos esforços justamente nesse ponto e analisamos os Drivatars, pilotos virtuais da franquia de videogames de corrida de carros *Forza* da Turn10 Studios, implementados a partir do game de competição em circuitos *Forza Motorsport 5*, em 2013, e da série derivada de aventura

automotiva em mundo aberto *Forza Horizon 2*, em 2014. Há rumores de que o primeiro *Forza Horizon*, de 2012, teria servido de maneira não divulgada como plataforma de testes para a nova tecnologia, permitindo refiná-la antes de implementá-la à série principal, considerando que o EULA (*End User License Agreement* – o acordo de licenciamento com o qual o jogador concorda pelo simples fato de jogar um game, a despeito de ter lido ou não tal contrato) que acompanhava o título mencionava a captura dos dados do *gameplay* (tudo que acontece no contexto do jogar) durante todas partidas, em todas modalidades.

Novos títulos da franquia *Forza* vêm sendo lançados periodicamente, todos com inovações, inclusive na implementação dos Drivatars. A modelagem desses pilotos virtuais se dá enquanto o jogador está em *gameplay* e o dispositivo, originalmente apenas o console, mas agora também o computador pessoal, está conectado à Internet, independentemente de a partida ser em modo solo (quando se é o único humano na partida) ou multijogador, todas informações a respeito da pilotagem, que envolve o contexto da pista, rua ou trajeto selvagem pelo qual o veículo transita e as reações relativas ao cenário e às ações dos outros jogadores, e também os dados detalhados do modo como os comandos são acionados, registrando minuciosamente velocidades de reação, intervalos entre ações, pressão aplicada nos botões e gatilhos (ou volante e pedais), toques acidentais em botões ou teclas indevidos e quaisquer outras leituras de sensores disponíveis no dispositivo controlador. Essa avalanche de dados coletados permite também um levantamento relativo ao estado emocional do jogador.

Um dos elementos centrais ao efeito de ilusão convincente desses games foi uma mudança na estratégia de implementação da tecnologia dos Drivatars, que havia originalmente sido desenvolvida para capturar em laboratório o estilo e modo de dirigir de pessoas de destaque no mundo automotivo e oferecer uma experiência de competir com simulações realistas desses indivíduos, mas que, com a crescente disponibilização de conexão de banda larga à Internet e com o aumento progressivo da capacidade de processamento dos consoles, passar a modelar todos jogadores, permitindo reunir simulações realistas de todas pessoas contra as quais o jogador costuma competir nas partidas online, causando um efeito de reconhecimento e um estímulo à imersão.

Lembramos aqui que o fator mais significativo que desencadeou nossa pesquisa sobre essa tecnologia foi justamente o impacto emocional demonstrado pelos jogadores ao trocarem mensagens nas redes sociais, pedindo confirmação se determinada partida, em tal data e horário, havia sido contra as pessoas reais ou seus Drivatars. Essa dúvida persistia a despeito

de, dentro do game, tais simulacros estarem sempre identificados como tal, algo que pode ser visualizado a qualquer momento (além de aparecer um identificador D no mapa – conforme Figura 7 – que pode ser visualizado a qualquer momento, pode-se optar por deixar visível uma legenda flutuante sobre cada veículo, onde consta o nome do piloto, seu nível classificatório de habilidade e, em se tratando de um Drivatar, um logotipo estilizado inconfundível). O convencimento de que aquele suposto agente de IA estaria agindo como sua contraparte humana era tão grande que muitas pessoas duvidavam da informação do sistema e buscavam confirmação direta com as pessoas. Podemos dizer que, se dirigir automóveis simulados em um ambiente virtual fosse uma espécie de Teste de Turing (1950, p. 433-460) modificado, consideramos que essas IAs provavelmente teriam sido aprovadas.



Figura 7 – Os Drivatars podem ser reconhecidos pelo D estilizado que os representa no mapa. A seta branca indica a localização e a orientação do veículo do jogador. (fonte: r/ForzaHorizon. Drivatar AI is still a joke in 5. Reddit, 08 de nov. de 2021. Disponível em: <[https://www.reddit.com/r/ForzaHorizon/comments/apczpf/drivatar\\_ai\\_is\\_still\\_a\\_joke\\_in\\_5/](https://www.reddit.com/r/ForzaHorizon/comments/apczpf/drivatar_ai_is_still_a_joke_in_5/)>. Acessado em: 12 de out. de 2023.)

Há muitos outros exemplos de modelagem de jogadores e captura de dados em tempo real em games, como apontado por Yannakakis e Togelius (2018, p. 8-15). *Farmville*, do estúdio Zynga, lançado em 2009, foi um dos primeiros entre muitos games que viriam em

seguida que se estruturariam em torno dessa capacidade de permanecer em contato com os servidores dos desenvolvedores durante as partidas, permitindo que seus agentes de IA analisassem e modificassem, o sugerisse modificações aos operadores do sistema, a experiência de jogabilidade do game, muitas vezes em tempo real. Em 2016, por exemplo, o estúdio Flying Mollusk lançou o título *Nevermind*, outro game que consegue rastrear o estado emocional do jogador e se adaptar conforme necessário.

Segundo os supracitados autores, o desenvolvimento de agentes de IA convincentes para atuar como personagens em videogames tem aberto inúmeras possibilidades antes inviáveis, e uma das estratégias para conquistar credibilidade para tais agentes é o de criá-los de modo a passarem em versões gamificadas do Teste de Turing. Essa variação do teste implica em um grupo de juízes avaliadores acompanharem as ações dos personagens em partidas e identificar quais são controlados por humanos e quais são controlados por agentes de IA (Hingston, 2010); (Shaker et al., 2013).

Um caso que merece nota é o de dois *bots* – personagens controlados por algoritmos do sistema – experimentais, testando agentes neuroevolutivos de IA voltados a mimetizar comportamentos humanos (Schrum et al., 2011), passaram por essa variação do Teste de Turing durante a celebração do Centenário de Turing, em 2012, em uma série de partidas do videogame *Unreal Tournament 2004* da Epic Games, em uma demonstração de que agentes especializados de IA já estariam conseguindo se passar por humanos, gerando tal ilusão de maneira suficiente.

Yannakakis e Togelius (2018) realçam que, no âmbito acadêmico, há duas ramificações com pesquisas distintas sendo feitas no que tange IA voltada para o jogar, a de jogos de tabuleiro e a de videogames. Continuaremos seguindo o fio condutor proposto por eles para estabelecer o paralelo cronológico e os eventuais momentos de entrelaçamento dessas áreas.

Os jogos de tabuleiro clássicos como xadrez, damas e Go, não foram apenas instrumentais no estabelecimento de novas estratégias de IA nos primórdios das pesquisas nessa área, como também estão entre os tipos de jogos que mais se beneficiam dos avanços técnicos e tecnológicos, principalmente quando apresentados sob a forma de videogames, já que computadores modernos conseguem simular milhões de movimentos por segundo, algo crucial para muitas das estratégias aplicadas por agentes de IA.

Se levarmos em consideração a teoria de Raph Koster (2013), a respeito do fator de diversão inserido no desenvolvimento de games, jogos muito fáceis deixam de ser atraentes muito depressa se não se renovarem automaticamente, e jogos muito difíceis desanimam o

jogador se não oferecerem recompensas que o mantenham engajado. Ao mesmo tempo, jogos mentais com regras simples e estratégias complexas como os mencionados clássicos de tabuleiro tem a característica de continuar gerando oportunidades de aprendizagem por um longo tempo para o jogador, como se o próprio jogo o estivesse ensinando continuamente e, segundo o autor, parte da diversão do jogar reside em aprender sua solução, em decodificar seu funcionamento e descobrir o que mais há para ser descoberto. A diversão costuma terminar quando cessa o processo de aprendizagem/descoberta e ocorre a perda de interesse pelo game, por não haver mais prazer/recompensa a se obter.

Para os autores que assumimos como nosso fio condutor neste segmento histórico, Yannakakis e Togelius (2018), isso leva a crer que games bem desenvolvidos, com essas características presentes, seriam não apenas uma boa plataforma de testes para IAs, como também um interessante instrumento de treinamento para sistemas de Aprendizagem de Máquina, tanto que jogos de tabuleiro continuam em foco entre os pesquisadores de IA, a despeito da popularidade dos videogames a partir do início dos anos 1980 ter arrebanhado parte da atenção dos investigadores acadêmicos e, em 1983, haver ocorrido a primeira conferência oficial a respeito de videogames na Universidade de Harvard, focada no impacto social positivo e nos benefícios educacionais que poderiam ser proporcionados pelos games.

A despeito de os desenvolvedores de games virem utilizando árvores de decisão e filtros “se...então” desde os primeiros títulos de videogames para infundi-los com comportamentos que simulassem inteligência, é bastante comum encontrar o nascimento do campo de IA em games como sendo algo em torno de 2001, com a publicação do artigo seminal *Human-level AI's killer application: Interactive computer games* de Laird e Van Lent (2001) na revista AI Magazine, estabelecendo os fundamentos do que seria IA em games dali por diante e inspirando várias das primeiras investigações que encontramos nessa área, como as de Thureau, Bauckhage e Sagerer, de Graepel, Herbrich e Gold, de Alexander Nareyek, de Isla e Blumberg, e de Michael Mateas, apenas para citar alguns exemplos de sua influência.

Como a parte de geração de conteúdo procedural (PGC) utilizando algoritmos clássicos em combinação com segmentos pré-programados e geração pseudo-aleatória já estava bem estabelecida, aqueles primeiros momentos da aplicação de IA em games ficou muito focada nas arquiteturas para agentes de comportamento de NPCs, ou *non-playable characters*, os personagens controlados pelo sistema, mas também houve empenho em agentes que criassem

dramas interativos e ainda agentes especializados em descobrir as rotas adequadas dentro dos cenários dos games (*pathfinding*).

A quase totalidade desses trabalhos de primeira geração de IA para games pode ser encontrada nos anais dos simpósios e conferências da AAAI – *Association for the Advancement of Artificial Intelligence*, da AIIDE – *Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment* e da então IEEE-SCIG - *Institute of Electrical and Electronics Engineers Symposium on Computational Intelligence and Games*, agora chamado apenas de CIG.

Esses programadores pioneiros eram, em geral, pesquisadores da área de IA comercial fora da área de games, com experiência em sistemas de controle e otimização que se especializaram em comportamentos adaptativos, robótica e sistemas com múltiplos agentes. Ao mesmo tempo, os investigadores acadêmicos de IA que viam videogames como ratos digitais de laboratório utilizaram o que havia de melhor na época em termos de inteligência computacional e todas as ferramentas de IA disponíveis para aprimorar o comportamento de NPCs em projetos em geral simples, não escaláveis, orientados para pesquisa e, em uma postura descolada do mercado da época, eram também de baixo valor comercial e sem perspectiva de aplicações em ambientes domésticos, dada suas exigências operacionais.

Conforme já mencionado, os primeiros games dos anos 1970 incluíam muito pouca IA embarcada, e mesmo assim em seu formato mais rudimentar. Os comportamentos dos NPCs eram roteirizados e baseados em regras, em parte por conta da pesquisa de IA em games estar engatinhando, mas principalmente por causa das limitações dos equipamentos nos quais os games seriam executados. Paralelamente à pesquisa acadêmica, mesmo que com investimentos muito mais modestos, o desenvolvimento de IA em games comerciais obteve progresso e deu passos importantes rumo à integração de IAs mais sofisticadas ao longo dos primeiros anos dos videogames que conduziam à virada do milênio.

Yannakakis e Togelius (2018) sugerem uma relação de alguns títulos que representariam o “estado-da-prática” da IA aplicada a games em seus respectivos momentos de lançamento. Embora limitada, tal lista dá uma boa referência e a maioria dos títulos fez sucesso suficiente para não ser difícil encontrar relatos de quem os experimentou e comentou sobre suas experiências ao interagir com seus agentes de IA. Alguns dos títulos ganharam continuações e as séries novas iterações e, após verificar a continuidade das características, fizemos as devidas atualizações quando cabíveis.

Em ordem cronológica:

- *Civilization* (toda a série) – MicroProse, Activision, Infogrames Entertainment, 2K Games, 1991~2016 – mundos inteiros gerados proceduralmente (Figura 8)



Figura 8 - parte do mundo virtual gerado proceduralmente pelo algoritmo do game *Civilization VI*. 2016. (fonte: 2K Games. *Civilization VI: 10 Tips to Start Playing*. *Civilization*, [s.d.]. Disponível em: <<https://civilization.com/news/entries/civilization-vi-10-tips-to-start-playing/>>. Acessado em: 12 de out. de 2023.)

- *Creatures* – Millennium Interactive, 1996 – com as IAs que modelavam os comportamentos das criaturas
- *Blade Runner* – Virgin Interactive, 1997 – comportamento de todos os elementos do jogo é baseado em IA
- *Half-Life* – Valve, 1998 – táticas avançadas dos oponentes controladas por IA
- *Thief* – Eidos, 1998 – com sistema avançado de IA dos sensores dos guardas
- *Black and White* – EA, 2000 – fusão de técnicas de aprendizagem de máquina como uso de percéptrons, árvores de decisão e aprendizagem por reforço em conjunto com um modelo cognitivo do tipo crença-desejo-intenção
- *The Sims* (toda a série) – EA, 2000~2022 – agentes de IA convincentes
- *Halo* (toda a série) – Microsoft Studios, 2001~2021 – agentes de IA das táticas de equipe tornando críveis as cenas de combate desde o 1º jogo da série.
- *Halo 2* – Microsoft Studios, 2004 – reinventa o uso de árvores de comportamento em games e o novo modelo vira padrão na indústria.

- *F.E.A.R.* – Sierra Entertainment, 2005 – geração de comportamentos sensíveis ao contexto via Plano de Ação Orientado por Metas (GOAP – *Goal Oriented Action Planning*) por agentes de IA desenvolvidos especificamente para o título
- *Dwarf Fortress* – Bay 12 Games, 2006 – mundos gerados proceduralmente (Figura 9)



Figura 9 - Mundo gerado proceduralmente pelo algoritmo de Dwarf Fortress. 2006. (fonte: DAVIS, Justin. IGN, 15 de mar. de 2019. Dwarf Fortress Is the Craziest Game You've (Probably) Never Heard Of. Disponível em: <<https://www.ign.com/articles/2019/03/16/dwarf-fortress-steam-story>>. Acessado em 15/10/2023.)

- *Left 4 Dead* – Valve, 2008 – agente de IA como diretor
- *Red Dead Redemption* – Rockstar Games, 2010 – agentes de IA dos NPCs proporcionam tiroteios convincentes
- *Silent Hill: Shattered Memories* – Konami, 2010 – IA adapta o game à personalidade do jogador
- *Heavy Rain* – Quantic Dream, 2010 – a representação cinematográfica de múltiplas câmeras é feita por um agente de IA de base afetiva
- *Supreme Commander 2* – Square Enix, 2010 – treinamento neuroevolucionário dos pelotões
- *Forza Horizon (toda série)* – Turn10 Microsoft Studios, 2012~2021 – agentes de IA simulam todos os pilotos modelados em humanos quando em modo solo, inclusive os amigos do jogador, usando aprendizagem de máquina
- *The Last of Us* – Sony Computer Entertainment, 2013 – a IA parceira Ellie

- *Spelunky* – Mossmouth, 2013 – mundos gerados proceduralmente por IAs
- *BioShock Infinite* – 2K Games, 2013 – IA personagem companheira Elizabeth
- Forza Motorsport 5 a 7 – Turn10 Microsoft Studios, 2013~2017 – agentes de IA simulam todos os pilotos modelados em humanos quando em modo solo, inclusive os amigos do jogador, usando aprendizagem de máquina
- *Blood & Laurels* – Emily Short, 2014 – narrativas interativas agenciadas por IA
- *Alien: Isolation* – Sega, 2014 – comportamento adaptativo do agente de IA do alien ajusta estratégia de caça em função da habilidade do jogador
- *No Man's Sky* – Hello Games, 2016 – mundos gerados proceduralmente por IAs
- *Red Dead Redemption 2* – Rockstar Games, 2018 – agentes de IA dos NPCs proporcionam tiroteios convincentes

O uso de agentes de IA nos títulos listados não se limita aos destaques atribuídos, esses foram apenas seus pontos inovadores, porque muitos outros componentes de cada um deles utilizou algum aspecto de inteligência maquina em sua criação e/ou execução.

Praticamente todos os games citados acima tiveram sucesso, bastando para isso consultar os relatórios anuais dos estúdios nos respectivos anos em que os lançaram. O que nos interessa desse aspecto comercial é a comprovação de que houve aceitação do game pelo público, logo podemos inferir que a integração dos agentes de IA no processo criativo parece não apenas ter sido transparente ao usuário, mas haver colaborado para tornar a obra mais atraente.

Conforme Yannakakis e Togelius (2018), ao observar a lista, caso a caso, pode-se reconhecer um critério-chave que pode ser identificado na utilização de IA em games que alcançaram bom sucesso comercial: um nível de integração em que a IA fica entrelaçada com o design do game. Um acoplamento malsucedido no design entre o game e a IA pode levar a comportamentos inaceitáveis do NPC, o que pode quebrar a “suspensão da descrença” (Coleridge, 2014, p. 208) e reduzir de imediato a imersão do jogador. Um exemplo típico dessa incompatibilidade entre o design do game e a IA é um problema na navegação dos NPCs que os deixa presos em um beco sem saída em algum ponto. Quando isso acontece, ou o design do nível não é elaborado adequadamente para funcionar em conjunto com a IA, ou a IA não foi suficientemente testada, ou ambas as coisas. Por outro lado, quando ocorre uma integração bem-sucedida da IA no processo de desenvolvimento do game, é muito mais provável que os resultados sejam satisfatórios e que haja ganhos na experiência do jogar. O processo de

desenvolver de personagens, por exemplo, deve sempre considerar as limitações da IA e, por sua vez, evitar tal tipo de falha.

Como estamos em uma era conectada, há também casos em que os desenvolvedores conseguem reverter uma situação na qual um título tenha sido lançado com falhas, mesmo que sejam graves, por meio de atualizações posteriores à publicação do título.



Figura 10 - segundo os desenvolvedores, Cyberpunk 2077 teria sido a implementação mais complexa de IAs entrelaçadas em um videogame até seu lançamento. 2020. (fonte: Gaming Guides. How to Fix the Screen Glitch Effect in Cyberpunk 2077. We Game Daily, 27 de set. de 2023. Disponível em: <<https://www.wegamedaily.com/how-to-fix-the-screen-glitch-effect-in-cyberpunk-2077/>>. Acessado em: 15 de out. de 2023.)

Caso que pinçamos como exemplar é o título Cyberpunk 2077 do estúdio CD Project RED, lançado em 2020 (Figura 10). Anunciado inicialmente em 2012<sup>8</sup> e houve publicação de vídeo de divulgação, demonstrando suas tecnologias e atributos audiovisuais em janeiro de 2013<sup>9</sup>, chegou ao mercado oito anos depois com uma promessa de ser a epítome da implementação de IA em um game. Apesar de as avaliações iniciais publicadas por muitos especialistas de mídia dedicados a games no entorno da data de lançamento terem sido positivas, conforme compilado pelo site GamesRant<sup>10</sup> e resumido a seguir, em poucos dias

<sup>8</sup> Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Cyberpunk\\_2077](https://en.wikipedia.org/wiki/Cyberpunk_2077)>. Acesso em: 10/07/2023.

<sup>9</sup> Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=P99qJGrPNLs&ab\\_channel=Cyberpunk2077](https://www.youtube.com/watch?v=P99qJGrPNLs&ab_channel=Cyberpunk2077)> ou <<https://youtu.be/P99qJGrPNLs>>. Acesso em: 10/07/2023.

<sup>10</sup> Disponível em: <<https://gamerant.com/cyberpunk-2077-review-roundup/>>. Acesso em: 12/07/2023.

verificou-se que a opinião dos jogadores era bastante diferente<sup>11</sup>, pois o game possuía tantos problemas técnicos<sup>12</sup>, em todas as plataformas para as quais foi lançado, que se iniciou um movimento de devolução e pedido de ressarcimento em massa junto às lojas físicas e virtuais<sup>13</sup>.

- GamesRadar (Sam Loveridge) – avaliação: 5 de 5
- VGC (Andy Robinson) – avaliação: 5 de 5
- VG24/7 (James Billcliffe) – avaliação: 5 de 5
- TheGamer (Kirk McKeand) – avaliação: 5 de 5
- PCGamesN (Richard Scott-Jones) – avaliação: 9 de 10
- Game Informer (Andrew Reiner) – avaliação: 9 de 10
- IGN (Tom Marks) - avaliação: 9 de 10
- GameSpot (Kallie Plagge) – avaliação: 7 de 10

A Sony Computer Entertainment (SCE), por exemplo, criou uma página<sup>14</sup> em sua loja online dedicada a cuidar dos pedidos de reembolso pelas compras online, e posteriormente suspendeu as vendas do título em sua loja virtual, que permite aos usuários comprar games a partir de qualquer plataforma com acesso à Internet, inclusive nos consoles de videogame da marca.

Apesar de, em termos financeiros, o estúdio relatar<sup>15</sup> que as devoluções não haviam sido significativas, estabeleceram um plano de atualizações e complementos, comprometendo-se a atender as expectativas dos jogadores. E, em um caso raro nessa indústria, a empresa cumpriu a promessa, o que pode ser verificado pela taxa de aprovação desse título pelos jogadores na plataforma de vendas Steam<sup>16</sup>, onde mais de meio milhão de pessoas que

---

<sup>11</sup> Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/davidthier/2020/12/07/cyberpunk-2077-early-review-scores-are-falling-a-little-short/>>. Acesso em: 12/07/2023.

<sup>12</sup> Disponível em: <<https://www.washingtonpost.com/video-games/reviews/cyberpunk-impressions/>>. Acesso em: 12/07/2023.

<sup>13</sup> Disponível em: <<https://www.usatoday.com/story/tech/gaming/2020/12/14/cyberpunk-2077-studio-apologizes-ps-4-xbox-bugs-offers-refunds/6537056002/>>. Acesso em: 12/07/2023.

<sup>14</sup> Disponível em: <<https://www.playstation.com/en-us/cyberpunk-2077-refunds/>>. Acesso em: 12/07/2023.

<sup>15</sup> Disponível em: <<https://arstechnica.com/gaming/2021/04/cyberpunk-2077-refunds-barely-dented-cd-projekt-reds-bottom-line/>>. Acesso em: 12/07/2023.

<sup>16</sup> Disponível em: <<https://store.steampowered.com/>>. Acesso em: 12/07/2023.

adquiriram lá esse game deixaram suas opiniões até o momento da revisão desse texto. Considerando todas as avaliações<sup>17</sup> desde o início de sua comercialização, incluindo o pico negativo ocasionado pela decepção de mal ser possível jogar devido aos defeitos apresentados, a impressão geral é 80% positiva. Considerado apenas o último mês, até 15 de julho de 2023, as opiniões estão 88% positivas.

Mas não somente grandes estúdios, com orçamentos milionários, criam títulos marcantes. Há uma efervescente comunidade de desenvolvedores independentes (*indies*) que vem crescendo há décadas e, como podemos ver no estudo de Freeman e McNeese (2019), a formação de comunidades online permitiu uma nova onda de criatividade compartilhada com sua apropriada dose de dificuldades.

Um exemplo muito interessante que conjuga desenvolvimento *indie* com o processo de entrelaçamento bem sucedido entre IA de desenvolvimento de videogames foi a criação do personagem central do game *Façade*, do estúdio independente Precedural Arts dos pesquisadores Mateas e Stern (2003), lançado publicamente em 2005, que se baseou justamente nas limitações da época, tanto de tecnologia de hardware quanto de uso de aprendizagem de máquina, que impediam que se implementasse uma interface com reconhecimento de linguagem natural, incluindo tais dificuldades no roteiro e transformando os obstáculos em uma parte central da narrativa.

### 3.3 Chegando ao Estado da Arte

Vinte anos depois da apresentação acadêmica do projeto pelos criadores numa conferência em 2003, o panorama do reconhecimento de fala natural se apresenta transformado de maneira muito significativa, e talvez uma nova versão de *Façade* acabasse gerando um drama completamente diferentes.

Como vimos, as tecnologias de Inteligência Artificial, ou IA, vêm tocando tangencialmente a cultura popular há décadas por meio das aplicações em teoria dos jogos e, mais especificamente, nos videogames.

---

<sup>17</sup> Disponível em: <[https://store.steampowered.com/app/1091500/Cyberpunk\\_2077/#app\\_reviews\\_hash](https://store.steampowered.com/app/1091500/Cyberpunk_2077/#app_reviews_hash)> consulta verificada em 17/07/2023.

Agentes de IA vinham participando do cotidiano muito antes do surgimento dos projetos experimentais de linguagem natural com LLM (*Large Language Models*) serem abertos via internet a quaisquer interessados por meio de aplicações que entendem linguagem natural e interagem por meio de uma aproximação bastante convincente de comportamento humano, como ChatGPT<sup>18</sup> para conversar, ou DALL-E 2<sup>19</sup> para criar arte visual, ambos da OpenAI, ou Bard<sup>20</sup>, o conversador do Google.

Contudo, esse tipo de aplicação é algo chamativo e novo para o público não especializado, que não viu os pequenos passos sendo dados nessa direção ao longo dos anos, o que acabou dando destaque a tais tecnologias em todas mídias de notícias e redes sociais, causando alarde ao realizar tarefas até então consideradas exclusivamente “humanas”, como sustentar um diálogo coerente e criativo sobre praticamente qualquer assunto, de maneira fluente e natural, ou criar arte, tanto visual quanto musical, de maneira rápida, simples e convincente, partindo muitas vezes de um conjunto de parâmetros bastante complexo apresentado em linguagem coloquial, e não em alguma notação específica.

Antes desse tipo de interface discursiva baseada em LLM surgir, já existiam agentes de IA que ofereciam resultados com “humanização” suficiente em suas produções criativas e artísticas que, mesmo especialistas nas áreas de tais obras enfrentaram dificuldades para diferenciá-las de obras humanas, eram por vezes incapazes de reconhecer que se tratavam de criações maquínicas. Contudo, a apresentação de algo faz diferença em seu acolhimento popular, então foi essa proposta de interface acessível e de baixa complexidade, aberta publicamente, que fez com que o público leigo se tornasse não apenas ciente, mas mais atento às possibilidades de aplicação, bem como às capacidades atuais, das IAs.

O que nos conduz, no mundo dos games, ao ponto em que começam a surgir projetos em que o Estado da Arte da IA e o Estado da Prática (Yannakakis e Togelius, 2018, p. 13) das aplicações em games começam a apresentar seus projetos-conceito do que está por vir.

Esses “grandes modelos de linguagem” são apenas a camada mais recente num processo de contínuo desenvolvimento tecnológico que vem sendo incrementado há décadas. Muito antes de ter sua representação clarificada aos leigos, por meio de interfaces narrativas e até

---

<sup>18</sup> Disponível em: <<https://openai.com/blog/chatgpt>>. Acesso em: 03/07/2023.

<sup>19</sup> Disponível em: <<https://openai.com/dall-e-2>>. Acesso em: 03/07/2023.

<sup>20</sup> Disponível em: <<https://bard.google.com/>>. Acesso em: 03/07/2023.

artísticas, suas interações anteriores vinham sendo utilizadas em aplicações de todo tipo, sendo a dos games uma das mais conducentes a novas descobertas e inovações algorítmicas.

Há uma grande ansiedade sendo fomentada nas redes sociais pelos estúdios de desenvolvimento de games em torno da utilização de agentes de IA de linguagem natural na construção de interfaces e personagens, bem como a geração de conteúdos de maior qualidade gráfica a partir de aprendizagem de máquina, mas tais sistemas ainda são instáveis e propensos a comportamentos indesejáveis, como as ditas “alucinações” (Alkaissi e Mcfarlane, 2023) de algumas aplicações de LLM mais populares<sup>21</sup>, o que dificulta sua implementação em games.

Bom exemplo disso foi a apresentação pública do projeto do jogo conceito *The Portopia Serial Murder Case*, do estúdio e produtora Square Enix, em abril de 2023<sup>22</sup> (Figura 11).



Figura 11 - *The Portopia Serial Murder Case*. À esquerda, versão de 1983. (fonte: RAPPEL, T. J. Solving The Portopia Serial Murder Case. *Retro Game Super Hyper*, [s.d.]. Disponível em: <<https://retrogamesuperhyper.com/2020/04/12/solving-the-portopia-serial-murder-case/>>. Acessado em: 15 de out. de 2023.). À direita, versão de 2023. (fonte: TechRaptor. Square Enix Brings Back Ancient Game by Dragon Quest Creator for Free Preview of Its AI Technology. *Steam*, 21 de abr. de 2023. Disponível em: <<https://store.steampowered.com/news/group/6754604/view/3727334116157852576>>. Acessado em: 15 de out. de 2023.)

Esse “romance visual” foi lançado originalmente<sup>23</sup> em 1983 no Japão para PCs e consoles de videogame. Complexo para a época, utilizava frases feitas operadas por filtros condicionais “se...então” em uma árvore de decisões simples. Considerado um clássico e um dos precursores no gênero, por incluir ilustrações em um jogo de narrativa, que até então costumava ser apenas em texto, o título ganhou uma atualização com uma proposta de incluir

<sup>21</sup> Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2023/05/01/business/ai-chatbots-hallucination.html>>. Acesso em: 29/05/2023.

<sup>22</sup> Disponível em: <<https://www.vice.com/en/article/5d9ben/square-is-turning-a-classic-visual-novel-into-a-natural-language-processing-tech-demo>>. Acesso em: 17/07/2023.

<sup>23</sup> Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Portopia\\_Serial\\_Murder\\_Case](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Portopia_Serial_Murder_Case)>. Acesso em: 17/07/2023.

agentes de IA de linguagem natural não apenas como interface, mas como personagem da história.

O lançamento não se referiu a um game completo, mas ao que é chamado de “*tech-demo*” na indústria, uma demonstração de tecnologia, que foi disponibilizada<sup>24</sup> gratuitamente na plataforma Steam para quaisquer interessados, mas a recepção não foi boa por parte dos jogadores<sup>25</sup> (apenas 14% de aprovação quando da revisão deste texto), que esperavam uma experiência imersiva e cativante, mas encontraram uma aplicação limitada<sup>26</sup>, com pouquíssimos traços das respostas inteligentes que se deveria esperar tomando aplicações populares como ChatGPT e Bard. Aparentemente, com medo de que a IA alucinasse e desse respostas impróprias<sup>27</sup>, os desenvolvedores limitaram tanto seu leque de possibilidades que o sistema ficou muito similar ao que poderia ser obtido com uma tradicional árvore de decisões.

Até o momento em que revisamos nossa investigação, ainda não havia informações quanto ao lançamento oficial de uma versão completa de game usando tal tecnologia. A despeito disso, os games estão imersos nas novas tecnologias de IA por diversos meios, inclusive nas plataformas onde são executados.

Algo que já está sendo utilizado nos últimos anos é um sistema de adaptação escalar dinâmica das imagens processadas pelas GPUs para permitir que gráficos mais sofisticados, e de maior qualidade, sejam renderizados em uma resolução menor do que a da tela na qual serão exibidos e depois ampliadas, utilizando um sistema de aprendizagem de máquina para recriar os gráficos em alta definição durante a ampliação, visando reduzir as perdas que ocorrem naturalmente numa mudança de escala.

---

<sup>24</sup> Disponível em:

<[https://store.steampowered.com/app/2280000/SQUARE\\_ENIX\\_AI\\_Tech\\_Preview\\_THE\\_PORTOPIA\\_SERIAL\\_MURDER\\_CASE/](https://store.steampowered.com/app/2280000/SQUARE_ENIX_AI_Tech_Preview_THE_PORTOPIA_SERIAL_MURDER_CASE/)>. Acesso em: 26/06/2023.

<sup>25</sup> Disponível em:

<[https://store.steampowered.com/app/2280000/SQUARE\\_ENIX\\_AI\\_Tech\\_Preview\\_THE\\_PORTOPIA\\_SERIAL\\_MURDER\\_CASE/#app\\_reviews\\_hash](https://store.steampowered.com/app/2280000/SQUARE_ENIX_AI_Tech_Preview_THE_PORTOPIA_SERIAL_MURDER_CASE/#app_reviews_hash)> consulta verificada em 17/07/2023.

<sup>26</sup> Disponível em: <<https://www.gameshub.com/news/news/square-enix-ai-detective-game-portopia-serial-murder-case-negative-steam-rating-2614274/>>. Acesso em: 17/07/2023.

<sup>27</sup> Disponível em: <<https://www.destructoid.com/square-enix-portopia-ai-tech-preview-steam-poor-reviews/>>. Acesso em: 17/07/2023.

A empresa Nvidia, por exemplo, está empregando o DLSS<sup>28</sup>, *Deep Learning Super Sampling* ou super-amostragem por aprendizagem profunda em redes-neurais, para realizar tal tarefa. Para isso, estão treinando agentes de IA com conjuntos de dados específicos para cada game, e os desenvolvedores precisam incluir essa tecnologia em seus títulos para poderem desfrutar do recurso, a despeito de ser algo executado pelo hardware, que é gerenciado por componentes adicionados pela própria Nvidia ao Sistema Operacional quando da instalação de placas com suas GPUs. Tal treinamento implica em criar todos os elementos gráficos do game em laboratório, mas em altíssima definição, e utilizar tais imagens como alvo em um sistema de aprendizagem profunda por reforço, para que o agente de IA substitua segmentos da imagem renderizada em baixa definição por segmentos correspondentes em alta definição aprendidos durante o treinamento, com o objetivo de permitir a reconstrução dos mesmos elementos gráficos em resolução aumentada sem perdas perceptíveis. Para realizar tal tarefa, foram incluídos processadores especializados nos chips gráficos, responsáveis por executar tais algoritmos de IA com o mínimo consumo possível de outros recursos do sistema.

Já em sua terceira iteração, essa tecnologia alcançou sofisticação suficiente para gerar quadros intermediários inteiros entre os quadros gerados pelo próprio game, aumentando significativamente o número de quadros por segundo, supostamente sem afetar a qualidade visual ou de movimentação dos elementos do game na tela. Por enquanto, apesar de gerar poucos defeitos gráficos visuais, essa tecnologia ainda gera um pequeno atraso na geração dos quadros, criando uma pequena latência entre as ações do jogador e a resposta na tela, algo que pode afetar o desempenho de jogadores mais exigentes em alguns tipos de games.

A empresa AMD, outra fabricante de GPUs, lançou uma tecnologia equivalente chamada de FSR<sup>29</sup>, *FidelityFX Super Resolution*, ou super resolução com efeitos de fidelidade, mas que em vez de ter um sistema de treinamento dedicado para cada título, baseia-se em uma tecnologia de aprendizagem profunda temporal para executar um treinamento abrangente utilizando uma grande base de dados de pequenos segmentos em altíssima resolução, para que os agentes de IA aprendam a compor a imagem em qualquer título ao reconhecer o padrão da imagem original em baixa resolução e substituir por seu equivalente gráfico em alta resolução. Em vez de desenvolver novos chips com processadores especializados para tal função, essa

---

<sup>28</sup> Disponível em: <<https://www.nvidia.com/en-us/geforce/technologies/dlss/>>. Acesso em: 03/07/2023.

<sup>29</sup> Disponível em: <<https://www.amd.com/en/technologies/fidelityfx-super-resolution>>. Acesso em: 03/07/2023.

empresa optou por redirecionar recursos do próprio sistema, considerando que ao renderizar as imagens em resolução menor do que a tela os recursos economizados seriam maiores do que os utilizados pelo sistema do FSR.

A empresa Intel, tradicionalmente uma fabricante de CPUs, mas que entrou tardiamente no mercado de GPUs, lançou a tecnologia concorrente XeSS<sup>30</sup>, *Xe Super Sampling*, ou super amostragem Xe (fora a pronúncia “zi”, parece não haver consenso entre os setores de marketing – *eXtra Enhanced* – e o de engenharia – “x” elevado a “e” – da empresa a respeito do significado de Xe), também baseada na utilização de redes neurais artificiais com agentes de IA de aprendizagem profunda por reforço para alcançar os mesmos resultados de suas concorrentes, seguindo a mesma estratégia da Nvidia e incluindo unidades especializadas de processamento em seus chips.



Figura 12 - Comparativo de imagens ampliadas com as tecnologias escalares descritas acima. 2023. (fonte: MUJTABA, Hassan. Intel XeSS Destroys AMD FSR 2 In Cyberpunk 2077, Comes Close To NVIDIA DLSS 3 In Image Quality. WCCFTech, 23 de abr. de 2023. Disponível em: <<https://wccfttech.com/intel-xess-destroys-amd-fsr-2-in-cyberpunk-2077-close-to-nvidia-dlss-3-in-image-quality/>>. Acessado em: 15 de out. de 2023.)

Todos esses sistemas funcionam, cada um com suas vantagens e desvantagens, e há inúmeros comparativos<sup>31</sup> entre os produtos (Figura 12), mas o que nos interessa é a

<sup>30</sup> Disponível em: <<https://www.intel.com/content/www/us/en/products/docs/discrete-gpus/arc/technology/xess.html>>. Acesso em: 03/07/2023.

<sup>31</sup> Disponível em: <<https://www.gpumag.com/amd-fsr-vs-nvidia-dlss/>>. Acesso em: 03/07/2023.

significância de agentes inteligentes tão sofisticados estarem sendo utilizados de maneira tão intensa e entrelaçada com a estrutura de hardware e de software dos games, colocando-os na vanguarda das aplicações de diversos aspectos de IA.

Em se tratando de GPUs, há elementos inteligentes no cálculo de trajetória de raios de luz da tecnologia *Ray-Tracing* (RT)<sup>3233</sup> em tempo real, gerando imagens na ordem de dezenas de quadros-por-segundo (FPS – *Frames per Second*), algo que poucos anos antes se renderizado em um computador doméstico, poderia demorar horas ou dias para gerar um único quadro. Algoritmos preditivos inteligentes<sup>3435</sup> começam a gerar os quadros seguintes antes de o programa do game mandar as informações, utilizando previsão estatística, já com a tecnologia sendo comercializada no momento.

Assim como jogos de tabuleiro como os de Damas, Xadrez e Go foram os “ratos de laboratório” de desenvolvimento da IA e da evolução de suas estruturas de suporte, os Videogames parecem ser também uma plataforma atraente para desenvolver e testar novas ideias e conceitos de inteligência maquina, tanto em termos de hardware, o que pode ir desde novas interfaces entre humanos e máquinas até novas estruturas de chips de computador, a exemplo do surgimento das GPUs, como de software, o que implica em uma ampla gama de novas formas de pensar os algoritmos e os programas de computador que os realizarão. Os games parecem ter se tornado uma das pontas de lança no campo de testes do estado da arte e do estado da prática da tecnologia.

---

<sup>32</sup> Disponível em: <<https://www.notebookcheck.net/AI-accelerated-ray-tracing-Nvidia-s-real-time-neural-radiance-caching-for-path-tracing-could-soon-debut-in-Cyberpunk-2077.719216.0.html>>. Acesso em: 04/07/2023

<sup>33</sup> Disponível em: <<https://www.nvidia.com/en-us/geforce/rtx-remix/>>. Acesso em: 04/07/2023.

<sup>34</sup> Disponível em: <<https://nvidianews.nvidia.com/news/nvidia-introduces-dlss-3-with-breakthrough-ai-powered-frame-generation-for-up-to-4x-performance>>. Acesso em: 04/07/2023.

<sup>35</sup> Disponível em: <<https://www.pcworld.com/article/1662185/what-is-dlss-3-nvidia-geforce-rtx-ai-feature-explained.html>>. Acesso em: 04/07/2023.

## CAPÍTULO 4 – *Ilusão Suficiente*

Ao longo de nosso percurso, parece-nos estabelecido que games operam em torno de ilusão. Quando um personagem em um game age de maneira convincente, mas não se trata de uma ação roteirizada, temos a impressão de haver testemunhado uma simulação de pensamento inteligente, mas isso pode ser apenas mais uma ilusão do sistema. Segundo Schuytema (2008, p.347) “você não precisa simular o pensamento – apenas criar reação suficiente para tornar o desafio dinâmico”, por mais que exista a ambição de um desenvolvedor de criar um oponente virtual que simule profundamente quaisquer emoções, desejos e impulsos que se esperaria de um humano. Continua afirmando que “temos de ser realistas e nos lembrarmos de que a inteligência do computador é uma ilusão para o jogador. Jogadores que estão envolvidos com uma partida do seu game atribuem a seus desafios todos os tipos de ‘inteligência’ que você nunca planejou” (Schuytema, 2008, p.347).

Ao criar um oponente, bastaria imbuí-lo da inteligência necessária para cumprir seu papel no contexto do game e oferecer os comportamentos esperados, sem exagerar. O autor afirma ainda que “muitas vezes, ‘um pouco menos do que você necessita’ é o suficiente” (Schuytema, 2008, p.347), continuando com um exemplo prático ocorrido durante o desenvolvimento do título *Scorched Earth 2: Scorched Worlds*, continuação do game indie *Scorched Earth*, de 1991, desenvolvido por Wendell Hicken, em que o programador da IA se empenhou em criar um sistema complexo com mais de uma dezena de variáveis interpoladas que interagiam umas com as outras para criar um modelo de personalidade dinâmico muito rico, capaz de reagir com atitudes, ações e falas a quase todos estímulos captados, como a temperatura interna do veículo, às variações climáticas e até mesmo ao acerto ou erro dos ataques contra o oponente, respondendo com desapontamento ou êxtase com frases adequadas a cada momento.

Contudo, durante testes abertos ficou comprovado que os jogadores não notavam diferença quando se eliminava a maioria desses sensores e variáveis. Só o que lhes interessava era como aqueles personagens moviam o tanque e quanto a precisão dos tiros que desferiam melhorava ou piorava a cada rodada. Ou seja, se quem está jogando não consegue perceber o que a IA está “pensando”, qualquer “pensamento”, ou processamento adicional, é inútil e gasta recursos. Duas ou três variáveis acabaram gerando *ilusão suficiente* para manter os jogadores empenhados, dispensando o modelo complexo.

Em seu artigo *The Illusion of Intelligence* (A Ilusão de Inteligência), Bob Scott (2002, p. 16-20) argumenta que o melhor que um desenvolvedor pode fazer quando está trabalhando em um game é criar uma ilusão de inteligência, evitando o que ele chama de “ilusão de estupidez”, lembrando-nos que as máquinas não são capazes de serem estúpidas, mas apenas criam tal ilusão quando programadas de tal maneira.

Como exemplo de estratégia de programação de comportamento de agentes que controlam NPCs, assumindo que tais personagens sejam oponentes, sugere que um dos primeiros traços a incluir seria a capacidade de parear as ações do NPC com as do jogador, mas de maneira variada, para não dar o efeito de espelhamento (o que acabaria dando a ilusão de estupidez). O argumento seria o de que, na prática, o usuário do game tende a reconhecer ações similares às suas como inteligentes. Ao mesmo tempo, tal abordagem garante que sua competência não será constantemente superada pelas capacidades da IA. Outros agentes de IA do sistema, operando em nível mais alto, devem definir o nível de desafio e ajustar os parâmetros do oponente virtual conforme o necessário, mas sempre em função das ações do humano, com a finalidade de manter a ilusão de inteligência intacta.

Ao assumir que o jogador precise de um personagem virtual aliado, Bob Scott (2002) sugere algumas características mínimas que colaboram com a manutenção da imersão, do engajamento e da ilusão, começando pela busca do equilíbrio entre ações previsíveis e imprevisíveis. Como jogadores humanos tendem a fazer coisas inesperadas, como atacar um inimigo mais forte sem motivo aparente, mas com algumas estratégia que faça sentido em sua mente, mimetizar tal traço pode ser bastante complexo para uma IA oponente, mas para um personagem aliado, basta reforçar um comportamento de “aproveitamento de oportunidades” ao mesmo tempo em que aprende quais ações o jogador faz em seguida e passa a incluí-las em seus sistemas preditivos, fortalecendo a ilusão de se tratar de um parceiro inteligente. Mas é importante que os traços de inteligência, previsibilidade, habilidades motoras e demais variáveis sejam mantidas no nível suficiente, sem superar as capacidades do humano, mas também sem ficar muito aquém dele, para manter uma *ilusão suficiente* de humanidade da IA, mas também para fortalecer no jogador a sensação de estar no comando.

Em termos de qualidade gráfica, existe atualmente a capacidade computacional para criar digitalmente traços convincentes da realidade em tempo real, algo que algum tempo atrás era feito lentamente por meio da produção quadro-a-quadro ao longo de um grande intervalo de tempo, o que limitava seu uso a produções artístico-culturais assíncronas, como cinema e

vídeo, mas sem a possibilidade de interação livre após sua produção e publicação. Quando bem utilizadas, tecnologias de IA como a do Unreal Engine<sup>36</sup> são capazes de apresentar uma renderização da realidade na tela, ou em um dispositivo de realidade virtual 3D, convincente o bastante para enganar os sentidos e parecer algo mais do que uma filmagem<sup>37</sup>, por ser um ambiente no qual se pode mover livremente, devido ao fato de ser uma construção tridimensional em tempo real (Figura 13).



*Figura 13 - imagem capturada de animação em tempo real realizada pelo sistema Unreal Engine v.5.2. 2023. (fonte: DE MEO, Francesco. Unreal Engine 5.2 Insanely Detailed Tropical Rainforest Demo Is Now Available for Download. WCCFTech, 21 de jun. de 2023. Disponível em: <<https://wccftech.com/unreal-engine-5-2-insanely-detailed-tropical-rainforest-demo/>>. Acessado em: 15 de out. de 2023.)*

Conseguimos também criar simulacros humanos convincentes com a tecnologia “lenta” utilizada em vídeo e cinema, mas em tempo real ainda esbarramos no efeito do “vale da estranheza” (Mori, 2012, p. 98-100), fenômeno que ocorre quando reconhecemos que há algo errado com o que estamos vendo e sentimos algo que pode ir de estranheza acompanhada de atenção aumentada até a de repulsa (Figura 14).

A indústria de animação para cinema e vídeo vem lidando com isso há tempos, e quando a simulação perfeita não pode ser alcançada pela manipulação de parâmetros que buscam a “perfeição”, muda-se a direção do projeto para a estilização ou algo similar, utilizando técnicas

---

<sup>36</sup> Disponível em: <<https://www.unrealengine.com/en-US/unreal-engine-5>> verificado em 19/07/2023.

<sup>37</sup> Disponível em: <[https://youtu.be/gi\\_RW2ofkFY](https://youtu.be/gi_RW2ofkFY)> verificado em 19/07/2023.

para afastar a imagem criada desse vale ao parecer menos humana, mais obviamente artificial, como nas animações da Pixar (BOUWER e HUMAN, 2017, p. 185-203).



Figura 14 - Demonstração de conceito - À esquerda, renderização do Unreal Engine 5.2 em pós-produção. À direita, mesmo sistema de render operando em tempo real, utilizando LIDAR de reconhecimento facial de celular como scanner 3D – resultado caindo no vale da estranheza. 2023. (fonte: MAGHATA, Abdelrazik. Why Unreal Engine 5.2 is a Huge Deal. YouTube, MR GFX Unreal, 04 de abr. de 2023. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=bjp27C4yeoo&ab\\_channel=MRGFXUnreal](https://www.youtube.com/watch?v=bjp27C4yeoo&ab_channel=MRGFXUnreal)>. Acessado em: 15 de out. de 2023.)

Podemos assumir que, em termos de games, que visam ser imersivos a partir de diversos níveis de ilusão para entreter e desafiar, tal efeito vem sendo evitado como uma das regras básicas da indústria. A não ser que o fenômeno do vale da estranheza seja algo desejável, como acontece em games de horror nos quais o objetivo é oferecer o desconforto esperado por quem procura tal tipo de título, indo além da estranheza dos gráficos e buscando a estranheza também nos sons (Tinwell, 2014, p. 47-70). Exemplos disso são games como os da franquia *Left 4 Dead* de 2008 em diante, da produtora Valve, o título *Silent Hill Homecoming*, do mesmo ano, mas do estúdio Double Helix, e incluiu também o game *Dead by Daylight*, de 2016, da 505 Games. Esses seriam claros exemplos de títulos que exploram o efeito do vale da estranheza de maneiras técnicas e estratégicas, nas imagens e nos sons, para amplificar a atmosfera de horror criada pelos seus respectivos contextos, mantendo a *ilusão suficiente* de que o ambiente virtual do jogo é real o bastante para continuar empolgante, sem afugentar os jogadores.

Tenhamos em mente que videogames são, primordialmente, instrumentos de entretenimento que podem incluir desafio, prazer estético, conforto ou desconforto, acomodação ou provocação, a depender do estilo do título escolhido. Um dos fatores que

acompanham a diversão e o entretenimento de muitos jovens costuma ser o elemento da superação humana. Quando tal situação acontece, consideramos que provocar equilibradamente o espírito de superação dos jogadores é um dos fatores de peso no atingimento da *ilusão suficiente*, e manter seu equilíbrio é tanto um exercício de coleta e processamento de dados, quanto uma arte de balancear fatores dinamicamente que demanda grande talento e esforço por parte dos desenvolvedores das IAs que executam tal tarefa.

Um game demasiado fácil “perde a graça” rapidamente, e um difícil demais pode ser frustrante ao ponto de suplantar o espírito de superação da maioria dos jogadores. Em ambos os casos, a conexão do “contexto do jogar” viria a se desfazer e a já citada tríade que sustentaria a *ilusão suficiente* se desfaz, gerando uma fissura entre o game e o jogador.

Achar o ponto de equilíbrio entre todos os elementos do game parece ser fundamental. Um aspecto ligeiramente deficiente pode ser mascarado quando todos os outros são bem equilibrados, se o componente deficiente não for central para o jogador. Quando alguns fatores superam as expectativas e outros ficam aquém, embora possa parecer “numericamente aceitável” caso fossemos atribuir valores para tais fatores, o resultado teria poucas probabilidades de sucesso. Existiram muitos casos de videogames com qualidade gráfica excelente para sua época, com ótima fidelidade e riqueza sonora, mas que não fizeram sucesso. Em geral, podemos dizer que os elementos que formam o contexto do jogar estavam em desequilíbrio e não conseguiram manter o equilíbrio da conexão entre o game e o jogador, rompendo a tríade da *ilusão suficiente*.

Por exemplo, alguns desenvolvedores advindos da área de produção de vídeo e cinema, ao tentar entrar no mercado de videogames, investiram ampla e largamente nos implementos qualitativos audiovisuais, implementaram sistemas de hardware sofisticados quando fizeram títulos de arcade, mas basearam a mecânica dos jogos em princípios tão básicos que subestimam e alienam o jogador, sem compreenderem que a desejada sensação de imersão não depende apenas de as imagens e sons serem representações fieis do mundo fora do game.

Exemplo considerado referencial na indústria de que a acuidade estética da percepção da realidade cotidiana não se aplica ao contexto do jogo são os videogames estruturados em segmentos previamente filmados em alta definição, estilo bem representado em 1990 pelo título Mad Dog McCree (Figura 15), um dos primeiros videogames FMV (*Full Motion Video*), que são baseados em gravações de áudio e vídeo em mídias como LaserDisc, ou LDs, precursores

dos DVDs que já possuíam imagens e som de altíssima qualidade, algo intermediário entre a qualidade dos DVDs e dos Blu-ray Disks, ou BDs.



Figura 15 - foto de catálogo da máquina de arcade do videogame Mad Dog McCree. 1990. (fonte: Games Database. Mad Dog McCree. LaunchBox, [s.d.]. Disponível em: <<https://gamesdb.launchbox-app.com/games/images/28724-mad-dog-mccree>>. Acessado em: 15 de out. de 2023.)

A despeito da boa qualidade audiovisual, a narrativa simples e quase linear, cheia de clichês de filmes de faroeste, e os controles bastante limitados, tornaram esse tipo de game uma febre de curta duração. Podemos interpretar que a *ilusão suficiente* não foi atingida. Quando o elemento de novidade se dissipou, a atração por esse tipo de game praticamente desapareceu. Com os avanços tecnológicos, esse mesmo título original dos arcades foi relançado para vários consoles domésticos, com qualidade audiovisual superior, e mesmo assim não obteve sucesso.

Os avaliadores da NintendoLife<sup>38</sup> deram uma nota 2 de um máximo de 10, e os gamers o avaliaram apenas com nota 1 de 10.

A equipe da revista PCGamer<sup>39</sup> atribuiu uma nota 4 de um máximo de 10, com a anotação “*Don't Bother*”, implicando que o game não merece sequer a atenção dos jogadores.

Por fim, o avaliador e articulista Craig Harris, da IGN<sup>40</sup>, deu um anota 4,5 numa escala até 10, afirmando que tanto o jogo quanto suas continuações (foram todas avaliadas juntas nesse caso) são ruins. Contudo, ao final, respeitando a diversidade de gosto, recomenda a série para quem aprecia nostalgicamente o estilo de jogos baseados em filmagem direta da época.

Como pode ser verificado nos comentários dos usuários que seguem as matérias mencionadas acima, é justo salientar que alguns entusiastas por tecnologia idolatram títulos como esse e há quem colecionem até as máquinas de arcade, mas mesmo entre esses fanáticos o número de horas jogadas costuma ser baixo, algo que eles mesmos admitem em suas postagens nas matérias acima e nas redes sociais. O fato de a história ser finita não justifica independentemente tão baixa dedicação, considerando que muitos outros jogos de narrativa, que realmente conseguem engajar os jogadores, são jogados e “rejogados” múltiplas vezes (Bycer, 2020). Assim como há livros que convidam à releitura, há títulos de videogame com alto valor de “rejogo” (*replay value*), o que sugerimos estar vinculado à manifestação do efeito da *ilusão suficiente* ser atingido com regularidade.

Vale observar que as preferências em termos de estilo estético audiovisual possuem um foco flutuante que tem se mostrado cíclico, pelo menos em termos de videogames. Desde o começo dos anos 2010, com o crescimento da cena dos desenvolvedores indie<sup>41</sup>, temos visto um movimento crescente de games de sucesso que tem aparência simples, sob o rótulo “retrô”, alguns que representam com esmero as limitações dos videogames de décadas anteriores, principalmente nos anos 1980 e 1990, simulando imagens de baixa resolução e sons de baixa

---

<sup>38</sup> Disponível em: <[https://www.nintendolife.com/reviews/eshop/mad\\_dog\\_mccree](https://www.nintendolife.com/reviews/eshop/mad_dog_mccree)> Acesso em: 15/07/2023.

<sup>39</sup> Disponível em: <<https://www.pcgamer.com/mad-dog-mccree-review-april-2003-us-edition/>> Acesso em: 15/07/2023.

<sup>40</sup> Disponível em: <<https://www.ign.com/articles/2009/06/20/mad-dog-mccree-gunslinger-pack-review>> Acesso em: 15/07/2023.

<sup>41</sup> Disponível em: <<https://www.indiegamewebsite.com/2019/01/30/indie-games-and-the-love-of-the-retro-aesthetic/>> verificado em 18/07/2023.

fidelidade em jogos que fazem sucesso pela sua jogabilidade, seja por ação, por narrativa e quaisquer combinações desses e outros elementos, excluindo o refino estético de áudio e de vídeo (Barton, 2017). Há um argumento forte de que essa tendência se trata de uma nostalgia por algo apenas narrado e não vivido (Koster, 2013), mas esse parece ser também mais um elemento emocional da construção da *ilusão suficiente*, que nesse caso deixa claro que similaridade ao “mundo real” não faz parte da verossimilhança que se faz valer no espaço de ilusão do contexto do jogo.

Um indicador do elemento de imersão é o modo como o jogador reage quando seu personagem/avatar é eliminado dentro do videogame. Observando gravações de pessoas jogando, por exemplo, Mad Dog McCree, é comum ver expressões emocionais do tipo “perdi”, “essa não”, “que porcaria” e um eventual “morri”<sup>42</sup>. Por outro lado, observemos o videogame Asteroids, original de 1979, um game ancião, bem simples, de gráficos vetoriais (Figura 16), em que se controla um triângulo agudo oco, formado por 3 linhas monocromáticas, em meio a supostos asteroides também ocos, feitos por segmentos de retas, que se dividem em fragmentos menores quando colidem entre si ou quando são atingidos pelos “tiros” da nave-triângulo do jogador, e podem ganhar ou perder velocidade em função desses contatos. O objetivo é atingir os meteoros até destruir todos seus detritos, onda após onda (Baer, 2005). Quando o usuário que está jogando perde, a expressão mais comum de se registrar além dos expletivos de negação é “morri”, ou “já morri”. Esse tipo de reação é outro exemplo do atingimento da *ilusão suficiente*, pois denota um nível de imersão que leva a uma identificação de si mesmo com um triângulo na tela. E isso acontece com muito mais regularidade e intensidade em partidas de Asteroids do que com o visualmente realista Mad Dog McCree, que mereceu uma extensa análise feita pela revisora de jogos B. Cassidy justificando a inclusão<sup>43</sup> desse videogame no “*Bad Game Hall of Fame*”, uma coleção de artigos críticos que analisa o motivo de alguns jogos serem considerados péssimos pelos jogadores.

---

<sup>42</sup> Disponível em: <<https://www.youtube.com/playlist?list=PLsWeKNE97I9vZcqFcl3sbWGXVspHQNvlo>> Acesso em: 20/05/2023.

<sup>43</sup> Disponível em: <<https://www.badgamehalloffame.com/mazer/>>. Acesso em: 02/06/2023

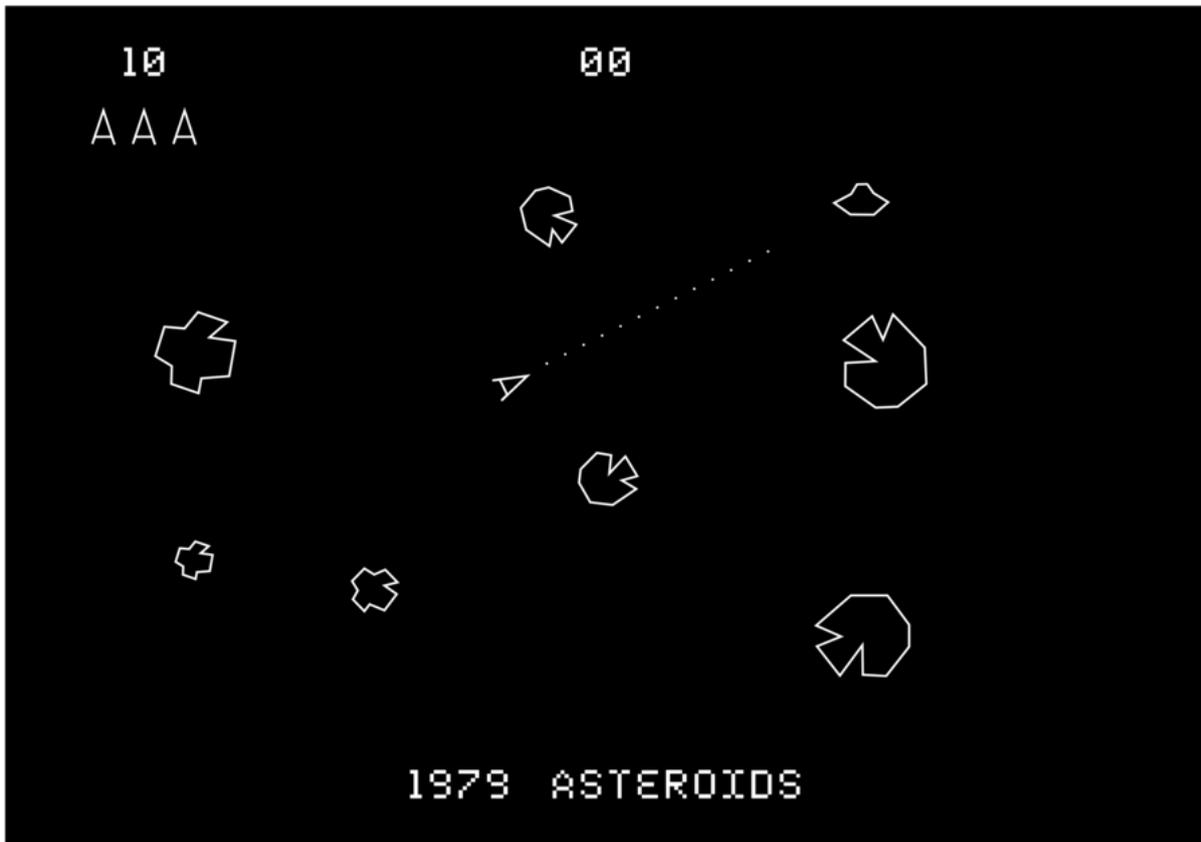


Figura 16 - Game Asteroids, com a nave triangular que o jogador controla ao centro. 1979. (fonte: ROUSSEAU, Davin. Game Over Scene. ReadTheDocs, 2020. Disponível em: <[https://ics3u-asteroids-davin.readthedocs.io/en/latest/menu/game\\_over\\_scene.html](https://ics3u-asteroids-davin.readthedocs.io/en/latest/menu/game_over_scene.html)>. Acessado em: 15 de out. de 2023.)

Novos jogos do estilo FMV estão voltando a aparecer graças aos consoles de videogame mais poderosos, com capacidades de reprodução audiovisual da mais alta qualidade possível em ambientes domésticos, e do aumento progressivo da velocidade de acesso à Internet, permitindo que grandes quantidades de dados sejam transferidas sem a necessidade da mídia física característica das gerações anteriores dos títulos desse estilo. Entretanto, a despeito dos avanços tecnológicos, a mecânica desses novos games permanece tão simples e limitada quando a de seus antecessores, o que diante do cenário atual de games com ambientes abertos e alto nível de interatividade, tem levantado críticas severas a respeito desse retorno estilístico, inclusive a partir da área acadêmica:

Esses títulos foram ridicularizados por sua falta de interatividade e, de fato, oferecem ao jogador agência limitada em termos de ações concretas. Eles contam com a imaginação do jogador para unir as imagens e formar uma compreensão empática das ações e motivações dos personagens principais. Em virtude dessa ausência, os jogos FMV desafiam as habilidades analíticas e hermenêuticas dos jogadores e pressionam sua paciência cognitiva. O não cumprimento das “regras de aviso”, por meio das quais

os detalhes em uma narrativa são organizados hierarquicamente, o que inclui o modo de edição e outros dispositivos de orientação de atenção, faz parte da retórica processual desses jogos. Preparando o jogador para obter uma atitude de “jogador vigilante”, tais jogos colocam em primeiro plano a mecânica da confiança/desconfiança na recepção da narrativa ficcional <sup>44</sup> (Van de ven, 2023, p.1) [tradução nossa].

Algoritmos e gráficos simples, bem combinados, podem gerar uma combinação cognitiva bastante eficaz na geração da *ilusão suficiente*, mas quando há equilíbrio na utilização de elementos de alta qualidade, a complexidade dos videogames sofisticados pode gerar profundos enlaces emocionais quando é atingido o gatilho da *ilusão suficiente*. Com o uso de IAs no desenvolvimento não apenas de elementos audiovisuais de altíssima qualidade, mas também na geração criativa de níveis, fases, desafios, personagens, contextos, elementos de verossimilhança e toda uma gama de componentes, seja por meios puramente algorítmicos, seja por uso de quaisquer tipos de aprendizagem de máquina, estão sendo gerados novos videogames com altíssimo nível de imersão emocional. A criatividade de máquina, quando bem aplicada, facilita e refina o atingimento da *ilusão suficiente*.

Tornou-se lugar comum entre os jogadores de videogame usar a expressão “estar na zona” ou “zonar” e suas variações, como, “zonando”, em uma adoção das expressões em inglês, “in the zone”, “zoning”, “zoning in”, respectivamente, como referência a um nível de imersão instintiva no espaço do game. Esse estado é considerado como sendo o mesmo que a psicologia chama de “fluxo – um estado no qual as pessoas ficam tão envolvidas em uma atividade que nada mais parece importar, a experiência em si é tão prazerosa que as pessoas a farão, mesmo que com alto custo, pelo simples prazer de fazê-la”<sup>45</sup> (Csikszentmihalyi, 1991, p. 4). Ou seja,

---

<sup>44</sup> *Such titles have been derided for their lack of interactivity, and indeed afford the player limited agency in terms of concrete actions. They rely on the player's imagination in suturing the images together and in forming an empathetic understanding of the main characters' actions and motivations. By virtue of this lack, FMV games challenges players' analytical and hermeneutic abilities and further cognitive patience. An absence of "rules of notice" by which the details in a narrative are hierarchically organized, including editing and other attention-guiding devices, is part of these games' procedural rhetoric. Priming the player to obtain a vigilant player attitude, such games foreground the mechanics dis/trust in our reception of fictional narrative. (Van de ven, 2023, p.1)*

<sup>45</sup> the state in which people are so involved in an activity that nothing else seems to matter; the experience itself is so enjoyable that people will do it even at great cost, for the sheer sake of doing it. (Csikszentmihalyi, 1991, p. 4)

uma espécie de transe funcional que ocorre quando o nível de imersão e satisfação são tamanhos que a sensação de participar da atividade se torna uma recompensa em si mesma.

Entre os jogadores de videogame, essa condição de “entrar na zona” ganhou um status quase místico, sendo almejada pela maioria e apontada como responsável pelos melhores resultados em partidas competitivas, bem como pelas melhores experiências pelos jogadores de todos os estilos que contam tê-la alcançado<sup>46</sup>. Há quem diga que esse estado não importa tanto, que não pode ser treinado, outros dizem que é indispensável e uma mera questão de usar técnicas ou descobrir algum disparador pessoal, mas é raro encontrar alguém que negue sua existência.

O autor da teoria estabeleceu uma relação entre a habilidade do indivíduo e o desafio apresentado pela tarefa, que costuma ser representado pelo seguinte gráfico adaptado (Figura 17):

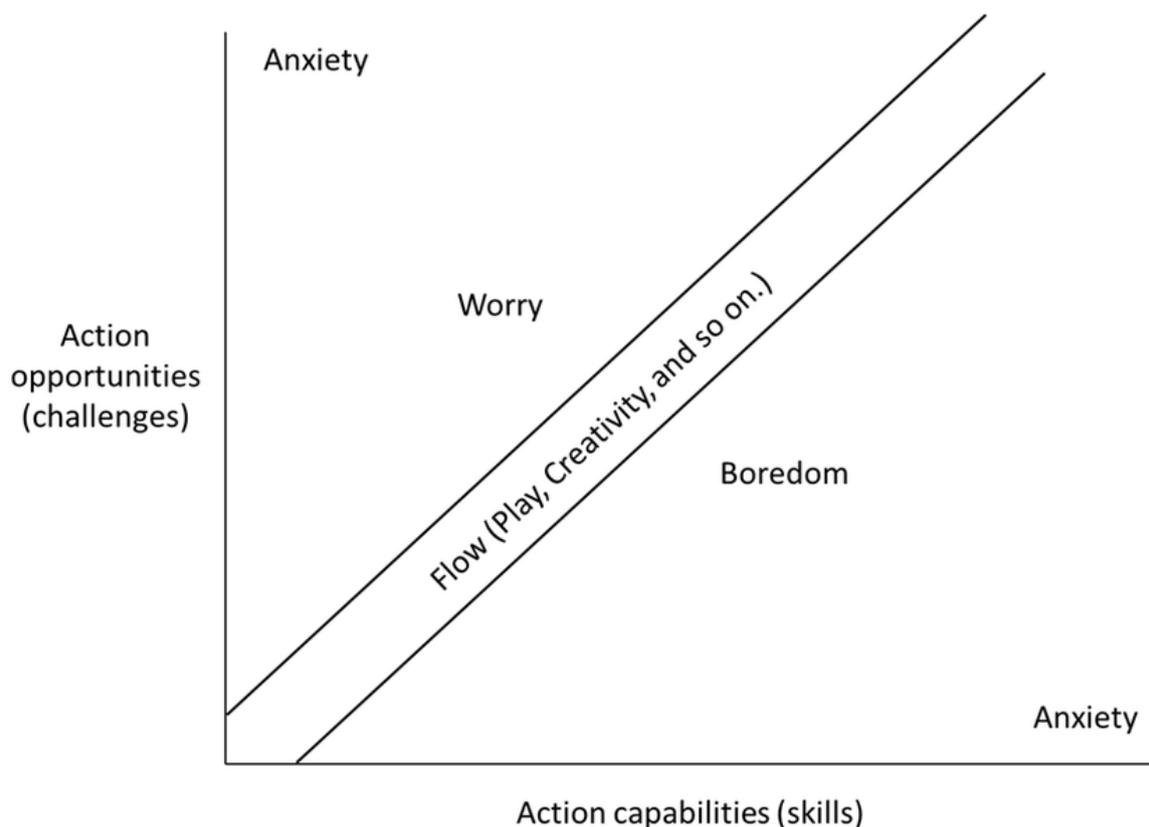


Figura 17 - (fonte: SCHIEPE-TISKA, Anja. In the Power of Flow: The Impact of Implicit and Explicit Motives on Flow Experience with a Special Focus on the Power Domain. *ResearchGate*, jan. de 2013. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/259998152\\_In\\_the\\_Power\\_of\\_Flow\\_The\\_Impact\\_of\\_Implicit\\_and\\_Explicit\\_Motives\\_on\\_Flow\\_Experience\\_with\\_a\\_Special\\_Focus\\_on\\_the\\_Power\\_Domain](https://www.researchgate.net/publication/259998152_In_the_Power_of_Flow_The_Impact_of_Implicit_and_Explicit_Motives_on_Flow_Experience_with_a_Special_Focus_on_the_Power_Domain)>. Acessado em: 15 de out. de 2023.)

<sup>46</sup> Disponível em: <<https://youtu.be/2iMMIJYX2m4>>. Acesso em: 19/07/2023.

Segundo essa representação, entendemos que o Fluxo (*flow*) de jogar (*play*), da criatividade (*creativity*) etc. (*and so on.*) ocorre quando há um equilíbrio entre a capacidade de agir, ou habilidades (*action capabilities, skills*) e as oportunidades de agir, ou desafios (*action opportunities, challenges*). Quando há pouco mais desafio do que habilidade, isso geraria preocupação (*worry*), e quando são as habilidades que superam ligeiramente o desafio ocorre o desinteresse (*boredom*). Contudo, quando a desproporção é muito grande, seja pelo desafio superar em muito as habilidades, ou o inverso, ocorreria a ansiedade (*anxiety*).

Parece-nos que, para que o estado de fluxo aconteça, a relação entre o game, o jogador e o contexto do jogar (*gameplay*) precisa estar em equilíbrio, de modo que a percepção do desafio e a condição de o sujeito conseguir evocar as habilidades adequadas se mantenham na devida proporção dentro desse “transe”.

Dada a proximidade de condições, precisamos diferenciar o estado de fluxo da *ilusão suficiente*.

Parece-nos importante ressaltar primeiro que o “contexto do jogar”, que volta e meia chamamos de *gameplay*, descreve o estado de ação de o jogador jogar, compreendendo as interações entre o jogador e o game enquanto este é executado.

Note-se que esses três elementos (*game, gameplay, jogador*) representam a base triádica do que estamos chamando de *ilusão suficiente* de modo geral, logo, consideramos que para o jogador de um game entrar e permanecer em estado de fluxo, seria necessário que o jogador estivesse empenhado no jogar, usando um jogo que preencha suficientemente todos os pré-requisitos de ilusão que seu estilo exige, e que aconteça um contexto de jogar imersivo o suficiente para que a ilusão de realidade do espaço virtual entre esses três elementos se sustente.

Contudo, o inverso não se aplica. Se a dificuldade de um game subir gradualmente e de maneira equilibrada (como se espera de qualquer título bem desenvolvido), o jogador pode “deslizar” da condição de fluxo para a da preocupação, ou mesmo da ansiedade, sem que a condição de *ilusão suficiente* seja comprometida. A condição de perder uma partida e começar outra, ou ver seu personagem falhar em um cenário e ter de recomeçá-lo, mas dentro do que é comumente esperado para tal título em determinado ponto (aspecto do game), em conjunto com o nível de habilidade do jogador, a experiência do jogar (*gameplay*) é apenas realizada em um de seus momentos e prossegue para seu movimento seguinte. A *ilusão suficiente* tende a

ser mantida, enquanto o fluxo costuma ser interrompido, e tal estado precisa ser alcançado novamente, em geral quando a preocupação ou ansiedade estiverem reduzidos.

A *ilusão suficiente* ocorre toda vez que um jogador começa um game e se mantém no *gameplay*, seja por apreciação estética em um simulador de caminhada, pela curiosidade de desvendar um mistério, pela adrenalina de um título de ação ou qualquer outro motivo, sem necessariamente precisar entrar no transe de fluxo. Conforme argumentamos anteriormente, a *ilusão suficiente* depende da disponibilidade de o jogador estabelecer um pacto ficcional e de a suspensão da descrença não ser quebrada, mas os elementos iniciadores da ilusão em si partem tecnicamente da estrutura do game, de um equilíbrio entre todos os seus elementos de construção, e a sustentação da ilusão se dá durante todo *gameplay*, que incluem até mesmo as pausas para consulta de menus ou os ciclos de configuração de personagens. Já o fluxo, por sua própria definição, parece ser um estado psicológico que começa e se realiza a partir de um sujeito diante de uma atividade desafiadora. No caso de a atividade ser a de jogar um videogame, este acaba sendo seu desafio.

#### **4.1 Identificando a *Ilusão Suficiente***

Já citamos diversos exemplos de games que utilizaram os elementos de programação e seus correlatos agentes de IA com maior ou menor eficácia, participando do atingimento, ou não, da *ilusão suficiente*, detalhando inclusive os problemas conceituais e de execução de *Mad Dog McCree*, ao falhar nessa empreitada, bem como a reviravolta de *Cyberpunk 2077*, que foi de um game falho que não apenas a maioria dos que o adquiriram não jogou, mas que uma parcela considerável chegou a pedir devolução do valor pago, para vir a ser um dos games melhor aceitos pelo público em um intervalo de três anos, com muitas correções e atualizações, tornando-se exemplo de geração e sustentação da *ilusão suficiente*.

Contudo, apresentaremos aqui, para fins de contraste, análises mais pontuais de dois títulos similares entre si, de mesmo tipo, mais próximos em orçamento, época e tecnologia, além de terem sido produzidos por estúdios de tradições similares, mas com resultados bastante distintos no que se refere a atingir e sustentar a *ilusão suficiente*: o primeiro game da trilogia original *Mass Effect*, de 2007, da Bioware, distribuído pela Microsoft (utilizaremos a versão original como base, não a remasterizada de 2021), como representante de uma implementação funcional da *ilusão suficiente*, contraposto ao título *Too Human*, de 2008, da Silicon Knights,

também distribuído pela Microsoft, como representante de uma implementação não funcional da *ilusão suficiente*.

Observaremos algumas categorias centrais que consideramos relevantes para o desempenho de ambos os títulos, para facilitar a comparação. Há muito mais elementos passíveis de serem analisados, principalmente no quesito de participação na ilusão, mas esses aspectos amplos deverão ser suficientes para demonstrar nossa argumentação.

Compararemos os seguintes aspectos:

- primeiro contato
- interfaces, escolhas e narrativa
- qualidade gráfica e de áudio
- experiência do jogar e valor de rejogo (*replay value*)
- impressões finais e composição da *ilusão suficiente*

#### **4.2 Ilusão Suficiente em *Mass Effect***

Esse título é da categoria *Action-RPG*, ou RPG de Ação (Role Playing Game – game no qual se assume um personagem) com uma narrativa futurista na qual o planeta Terra faz parte de uma aliança galáctica e os humanos podem ter habilidades especiais adquiridas por meio de implantes tecnológicos com tecnologia alienígena.

##### **- primeiro contato**

A introdução do game pensada para estabelecer uma conexão com a história e com seus personagens (primeiros 2min 22seg. desse vídeo - <<https://youtu.be/fYhhN6doSTs>>. Acessado em: 15 de out. de 2023). Aqui vemos mudanças rápidas de cena e uma apresentação de voz em *off* do personagem principal, que aparece em perfil e no reflexo da escotilha. Antes de chegar nessa cena inicial, é solicitado a quem está jogando para escolher gênero, primeiro nome e tipo de origem da personagem entre três tipos, uma de base tradicional e boa liderança, uma de base conturbada e sobrevivência em situação adversa, outra de origem militar e ação heroica. O perfil apresentado pelo personagem que apresenta Comandante Shepard reflete tais escolhas.

Nesse aspecto de geração de ilusão de imersão e de conexão emocional, uma introdução curta e imponente, mas com pausas para configuração que tornam a personagem “no jogador” deve criar uma sensação de “posse” e aumentar as chances de sustentar o interesse.

### - interfaces, escolhas e narrativa

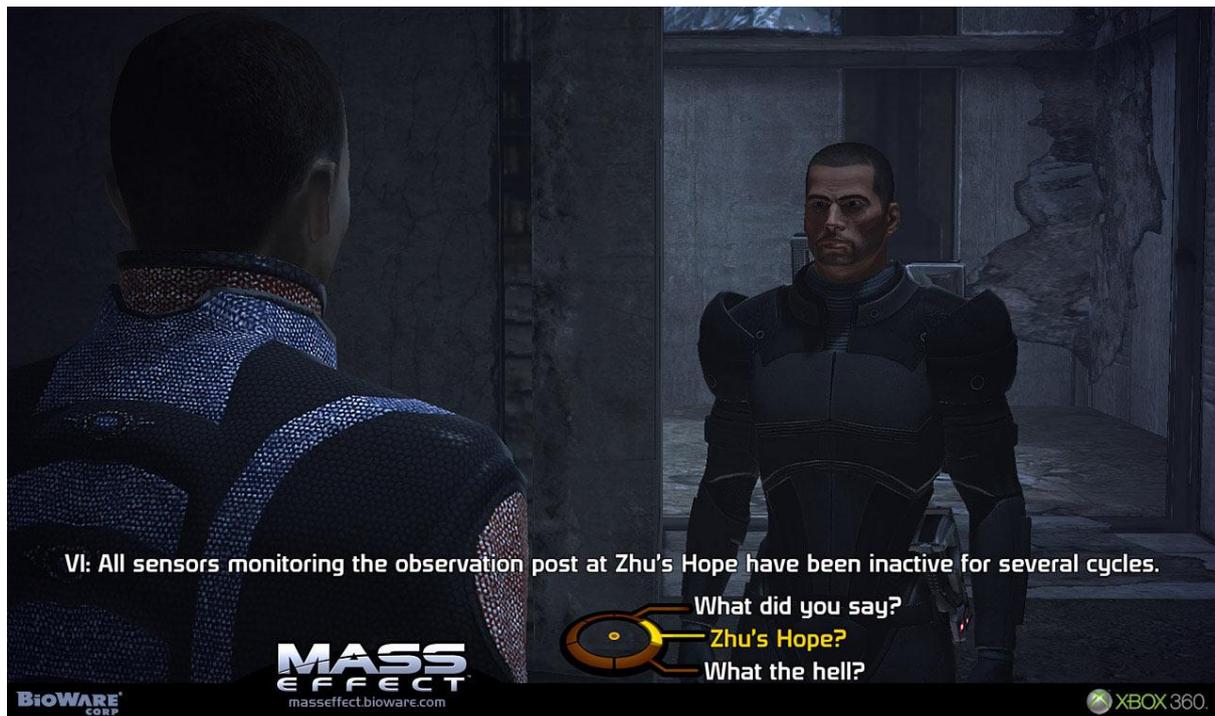


Figura 18 – Imagem da versão de 2007 – interface padrão dos diálogos, seis opções na raiz, mas pode haver submenus (fonte: Max73. Mass Effect: Interview with Casey Hudson - Project Director at Bioware. Xbox Gazette, ago. 2007. Disponível em: <[https://www.xboxgazette.com/interview\\_mass\\_effect\\_en.php](https://www.xboxgazette.com/interview_mass_effect_en.php)>. Acessado em: 15 de out. de 2023.)

A interface de múltiplas escolhas com submenus permite que o jogo fique parado ao lado do jogador nos diálogos ou apresentações (Figura 18). Os interlocutores demonstram inquietação quando há demora. Pode-se construir a personagem com grande liberdade, escolhendo gênero, cor da pele, etnia, cor de olhos, cabelos, biotipo e ossatura e distribuição de atributos faciais. Dentro do game, pode-se escolher ter ou não relações românticas, ou flertar, com quaisquer gêneros ou espécies quando houver oportunidades. Escolhe-se uma classe entre seis, e é possível montar uma equipe com especialistas de todas as classes, se o jogador escolher aceitá-los, e a cada missão é possível escolher dois especialistas para acompanhá-lo. Embora haja uma história definida, há múltiplas escolhas e múltiplos finais em uma narrativa dinâmica gerenciada por IAs autoadaptativas. Pode-se escolher também quanto se deseja ser heroico ou disruptivo nas ações, o que muda os relacionamentos e as subsequentes

opções. Quando se conquista a lealdade dos especialistas, eles se tornam mais eficazes em combate e passam a defender a personagem principal proativamente. Todos os componentes nessas categorias colaboram para uma alta imersão no espaço do jogar, a tríade – game, gameplay, jogador – se forma e se sustenta com facilidade, mantendo *ilusão suficiente* para as pausas dos menus simplesmente fazerem parte da experiência, pois são as oportunidades de interagir com as outras personagens, que a ilusão de vida inteligente que emerge da experiência leva o usuário a querer conhecer. Segundo as estatísticas da plataforma Live, mais de 68% das pessoas que começaram viram o final do game.

### **- qualidade gráfica e de áudio**

Resultado de três anos e meio de desenvolvimento e criação artística, a qualidade gráfica ficou apenas ligeiramente acima da média do esperado para a época, em parte pelas limitações do console, mas o que se destacava eram as expressões faciais e corporais que, embora efetivamente mínimas, transmitiam emoções sem causar estranheza, problema muito comum nos títulos contemporâneos. A movimentação do rosto e dos lábios também parecia revolucionário para a época, pois, além de sincronismo, os sons pareciam estar de acordo com o movimento dos lábios, não se limitando a um “movimento de blocos”. O áudio foi muito bem tratado, com a inclusão de sons e ruídos adequados às cenas, mas também utilizados como disparadores emocionais. A dublagem foi feita por profissionais competentes que tornaram as personagens mais realistas. Todos esses fatores contribuem para a ilusão de realidade e aumentam o engajamento emocional.

### **- experiência do jogar e valor de rejogo (*replay value*)**

A experiência do jogar em *Mass Effect* é equilibrada, a parte da ação (Figura 19) pode ser ajustada inicialmente, desde o nível menos agressivo, para quem prefere o aspecto do RPG e prefere experimentar a narrativa, até um nível muito difícil, que apenas os mais hábeis conseguem completar no game. Contudo, o sistema de IA monitora as habilidades do jogador e atua fazendo ajustes com certa latitude dentro de cada faixa de ajuste, sem invadir as demais nem desrespeitar a escolha do usuário. As IAs companheiras possuem vários modos de atuar dentro dos combates, o que é o jogador que seleciona, mas também depende do relacionamento entre as personagens.

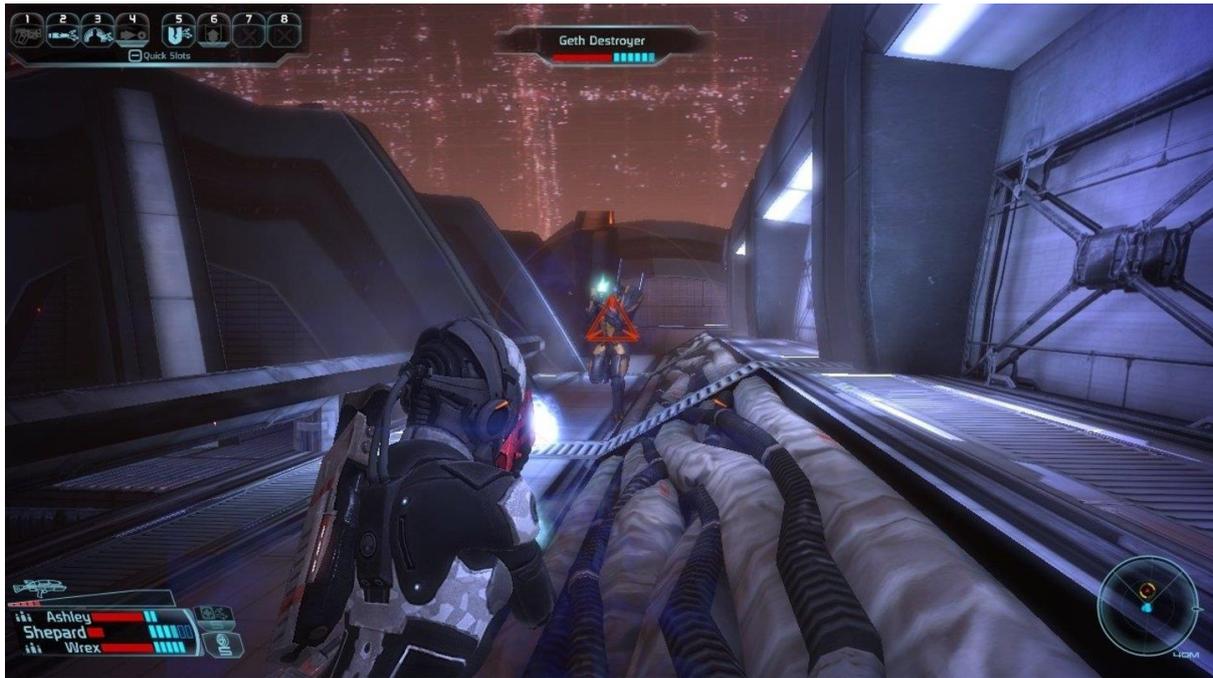


Figura 19 - Cena de ação em combate, Shepard feminina. (fonte: PRIEST, Simon. Mass Effect Screenshots. Game Watcher, 15 de maio de 2008. Disponível em: <<https://www.gamewatcher.com/games/mass-effect/screens/35980>>. Acessado em: 15 de out. de 2023.)

Como citado, um especialista leal passa a defender melhor o avatar do jogador, mas um que foi alienado por ações disruptivas passa apenas a se defender e a fazer o mínimo necessário pela equipe. Há oportunidades de mudar o relacionamento de acordo com os momentos da narrativa e as oportunidades que podem aparecer, de acordo com ações anteriores. A parte da história é envolvente e dinâmica, e o fato de as múltiplas escolhas deixarem consequências torna o valor de rejogo muito alto, pois o contexto do gameplay muda bastante ao se deixar um especialista morrer, ou ao se recusar a aceitar uma personagem que poderia se juntar à equipe. Há também um aspecto de economia de recursos no game, que gera um contexto estratégico envolvente e desafiador, e, para quem gosta de desvendar mistérios, há uma série de situações a desvendar das aventuras paralelas (*side quests*). Todo esse sistema é gerenciado por IAs que vão ponderando os recursos e habilidades coletadas e gerando respostas proporcionais ao ajuste de dificuldade selecionado pelo jogador.

### **- impressões finais e composição da *ilusão suficiente***

Reiteramos aqui os comentários que tecemos em cada grupo de categorias. Os agentes de IA que controlam os personagens que interagem com o avatar do jogador apresentam a

medida adequada de ilusão de inteligência, tanto operando como especialistas em combate, como interagindo nas áreas de exploração, fazendo comentários e perguntas pertinentes ao momento e ao cenário. Há boa ilusão de realidade interna ao espaço virtual do jogo, boa ilusão emocional de envolvimento empático com as personagens, há boa ilusão de imersão nas cenas de combate, só para enumerar as ilusões mais óbvias. O conjunto dos elementos do game gera um equilíbrio nos fatores de gameplay da *ilusão suficiente*, gerando um grau elevado de imersão intelectual e emocional, que garante que o jogador fique ancorado no contexto do jogar, no espaço virtual do game, formando uma tríade – game, gameplay, jogador – bem balanceada e a sustentação da *ilusão suficiente*.

### **4.3 Ausência da *Ilusão Suficiente* em *Too Human***

Esse game também é um RPG de ação, com narrativa futurista na qual os deuses nórdicos são seres aumentados ciberneticamente para terem superpoderes e lideram a raça humana. Seu objetivo, ao assumir o controle, seria o de combater o deus renegado Loki que teria criado um exército de criaturas cibernéticas para tomar o controle. O jogador assume o controle do deus Baldur, o menos aprimorado dos deuses (daí o título “Demasiado Humano” – os outros deuses o consideram fraco, “humano demais”, mas também em referência à obra de Nietzsche).

#### **- primeiro contato**

Introdução longa, com mais de 8 minutos (<<https://youtu.be/D34AiqqAxbk>>. Acessado em: 15 de out. de 2023) pensada para criar mistério com uma introdução narrativa, mas não fica claro quem será a personagem do jogador pelos primeiros 6 minutos. Reconhecemos uma intenção de abordagem cinematográfica, boas tomadas de câmera, mas os cortes parecem desconectados do estilo das cenas.

A cena de ação do último quarto do vídeo dá continuidade à primeira parte de ação do game, mas já fica claro que a única personagem disponível será um homem caucasiano (coberto ou não de metal, é o mesmo) predeterminado pela narrativa, lugar-comum que não inspira conexão e, juntamente com a introdução indefinida e muito longa, que o jogador tende a pular por impaciência e não ficar sabendo o início da história, são detratores na geração da ilusão de

conexão emocional, e não há sequer simpatia pela personagem, apenas interesse pelas suas habilidades. Isso não gera atração nem sensação de posse.

### - interfaces, escolhas e narrativa



Figura 20 – Tela de seleção de personagem/classe com apenas 5 opções fixas. (fonte: MABOOZA. Too Human: Class Spec Faves. Prima Games Author Blog, 06 de ago. de 2008. Disponível em: <<https://primagames.wordpress.com/2008/08/17/too-human-class-spec-faves/>>. Acessado em: 15 de out. de 2023.)

Com enfoque na ação, as escolhas são limitadas a momentos-chave, como as de classe (são 5) e, durante a ação, um sistema chamado “smart-cam” coloca o foco da atenção visual do jogador nas situações que requerem atenção, e tais oportunidades consistem nas escolhas dentro do game. Pode-se, assim, estabelecer alianças com personagens de outras classes em determinados segmentos para completar os roteiros. De modo geral, a história é linear e não permite variações, mas há livre escolha de quantidade de batalhas nas quais se quer engajar e com quais aliados. Não há possibilidade de envolvimento nem desenvolvimento de características que mudem como as personagens reagem. Os contatos com outros personagens são pré-programados e invariáveis, são iguais em todas as repetições, a despeito das escolhas feitas, assim como todos os pontos de passagem e o final. Fora o prazer dos surtos de adrenalina das batalhas, não há incentivo para se prestar atenção na história, não há *rapport* com as personagens do jogo, nem emerge do contexto nenhum tipo de “paixão pela causa humana”. Fora sentir aversão por Loki e pelos monstros desfigurados, não há emoções de enlace. A única

ilusão que se sustenta é a do combate, que possui ótima mecânica e tende a levar o jogador a um estado de fluxo enquanto dura, mas, por ser repetitivo, o fluxo logo para de reincidir e o game tende a não ser terminado. Segundo as estatísticas da plataforma Live, menos de 12% das pessoas que jogaram chegaram ao final da história.

#### **- qualidade gráfica e de áudio**

Após dez anos de desenvolvimento e investimento, a qualidade gráfica ficou um pouco abaixo da média, quando comparada aos títulos contemporâneos. A movimentação era fluida, mas nas cenas de diálogo e de corte os personagens pareciam marionetes e os movimentos faciais se assemelhavam a blocos sendo movimentados de modo geral. A qualidade do áudio era boa, mas algumas dublagens e narrações ficaram planas, ou com emoções desproporcionais em alguns casos e pouco convincentes em outros. Os efeitos especiais e os sons de luta ficaram impecáveis, os efeitos de surround também colaboravam com a parte de ação do gameplay, intensificando o aspecto “action”, mas deixando o lado RPG sem muito suporte.

#### **- experiência do jogar e valor de rejogo (replay value)**

A experiência de jogar *Too Human* é mista. O aspecto de RPG, a despeito do motivo épico-futurista que mescla mitos antigos e ficção científica, não parece ter sido ponto central da atenção dos desenvolvedores. Nem nas escolhas de uso da narrativa, nem na implementação dos agentes de IA, que não dão latitude durante as experiências: quando se está observando uma cena se desenrolar durante uma batalha (Figura 21), ao se atingir uma “quota” de vitórias, ou se ao se defender, o jogador elimina o inimigo principal da rodada, o sistema interrompe o momento da ação narrativa e pula para a cena de corte seguinte, sem dar opção ao usuário de continuar observando. Há também opções muito limitadas nesse aspecto, o que pode ser frustrante para quem está acostumado com RPGs de ação equilibrados. Os combates são dinâmicos, divertidos e o conjunto audiovisual é envolvente, capaz do enlace e sustentação da *ilusão suficiente* até que o jogador sinta fadiga, o que acaba acontecendo por conta do ritmo alucinante da ação. Tal parte desse título é conducente ao estado de fluxo, mas, para quem procura essa experiência, os aspectos de narrativa e as longas cenas sem possibilidade de interação acabam sendo enfadonhas. Já para os interessados em RPG, a falta de escolhas dentro

da narrativa não incentiva o retorno ao game para uma sessão seguinte, muito menos para o rejogo.



Figura 21 - Cena de combate, smart-cam focada na meta indica que o objetivo da história está à direita do avatar do jogador. (fonte: WHITEHEAD Dan. Too Human - Norway Jose. EuroGamer, 19 de ago. de 2008. Disponível em: <<https://www.eurogamer.net/too-human-review>>. Acessado em: 15 de out. de 2023.)

### - impressões finais e composição da *ilusão suficiente*

*Too Human* parece ser um título de ação que foi preenchido com elementos narrativos para costurar e justificar as cenas de lutas e os inimigos que serão enfrentados. Capaz de gerar *ilusão suficiente* nas cenas de ação, único momento em que notamos a ilusão de inteligência nos agentes de IA que controlam o personagem aliado, os oponentes principais e, principalmente a câmera inteligente, que muito raramente deixa o jogador desorientado. É apenas no combate que a tríade game, contexto do jogar e jogador se conectam e alcançam equilíbrio pelo tempo que durar a disposição do jogador em manter-se focado no ritmo frenético crescente da ação. O título falha completamente em gerar elementos de ilusão empática, ilusão emocional ou de realismo em qualquer outra parte. Ao se mostrar cansativo para quem gosta de ação e desinteressante para quem gosta de RPG, tornou-se um game sem nicho e um ótimo exemplo de *ilusão suficiente* não-funcional como um todo.

Tanto que o até então bem-sucedido estúdio Silicon Knights se desfez após falhar em recuperar os oitenta milhões de dólares, gastos ao longo dos dez anos que demoraram para terminar e lançar esse game.

OBS: como curiosidade, a BioWare nunca revelou o orçamento de *Mass Effect*, mas em entrevista, um dos diretores do estúdio comentou que “com mais do que o dobro do orçamento, *Mass Effect 2* seria muito mais do que os jogadores sonhariam”, e é de conhecimento público que tal continuação custou quarenta milhões de dólares, o que leva à inferência de que o primeiro título custou menos de vinte milhões de dólares, menos de um quarto do custo de *Too Human*.

## CAPÍTULO 5 – Considerações Finais

Nossa pesquisa teve IA como tema de estudos, com foco na aplicação de agentes inteligentes no desenvolvimento de games. Nosso recorte foi o da utilização de elementos de IA no desenvolvimento de diversos componentes de game com a finalidade de promover um efeito de ilusão acumulada na medida de sua suficiência para cumprir seu papel, envolvendo ilusão de inteligência, ilusão de resposta afetiva e ilusão de atitudes humanizadas, entre outras simulações ilusórias promovidas por IA, com visas a formar uma *ilusão suficiente*, efeito resultante de uma tríade formada pelos elementos “game”, “gameplay” (contexto do jogar) e “jogador”, capaz de criar uma ilusão de realidade suficiente para extrair reações reais de situações simuladas desprovidas de verossimilhança com a realidade cotidiana. Nosso objeto de estudo foi o processo técnico da formação da ilusão por meio de elementos componentes dos games.

O que estimulou nosso engajamento nesse trajeto foi a observação de que mesmo jogos tecnicamente simples provocam uma identificação entre o jogador e o elemento de game que este controla, por vezes assumindo em primeira pessoa a condição de seu avatar, mesmo que se trate de um bloco monocromático na tela, pronunciando frases como “morri” ao ver tal bloco ser desintegrado. Pareceu-nos que seria possível identificar se haveria, e quais seriam, as características específicas participando da geração de tal fenômeno em alguns títulos de videogame, já que nem todos pareciam causar tal efeito.

Nossa primeira investida nessa pesquisa envolvia um grupo de estudos que havia se formado em torno da IA Angelina, desenvolvida por Mike Cook, um conjunto algoritmo que originalmente era capaz de jogar videogames por meio de aprendizagem de máquina, mas que foi modificado por seu desenvolvedor para usar os dados de sua base para criar novos games, partindo de referenciais mínimos de orientação por parte de Cook. Após um certo número de iterações sem grande sucesso, os games começaram a ficar funcionais e passou a ser possível entender a lógica pela qual funcionavam, pois havia um elemento heurístico similar ao encontrado nos títulos desenvolvidos por humanos. Alguns desses games foram inscritos em competições e ganharam prêmios de originalidade e criatividade, sem que os juízes soubessem que estavam premiando uma IA. Intrigados pelo princípio de funcionamento, pedimos para nos juntar ao grupo e ter acesso ao código e à base de dados da universidade que sediava o projeto. Após aceito, passamos os primeiros anos de nossa pesquisa experimentando com formulações algorítmicas para tentar descobrir quanto da base de dados de programas jogos seriam

necessários para que um game funcional fosse criado, em relação à base de dados de gameplays, gravações de pessoas jogando a partir da captura dos dados digitalizados de seus displays. Aproximadamente três anos depois, quando estávamos obtendo os primeiros sucessos com uma proporção funcional, que era nosso objetivo primário, houve uma mudança nas diretrizes dos patrocinadores da universidade e o grupo foi desfeito. Nossos dados e pesquisas efetuadas ficaram todas retidas nos servidores e quaisquer materiais em nosso poder tiveram de ser devolvidos, pois estavam protegidos pelos termos de sigilo que assumimos quando começamos (termos estes que previam a liberação do sigilo após apresentação dos resultados à universidade, o que nunca tivemos a oportunidade de fazer).

Felizmente, paralelamente a isso, já estávamos interessados no processo de construção de ilusão complexa gerada pelos algoritmos dos games de teste utilizados no ambiente que era nossa plataforma experimental. Com a cessação do projeto original, debruçamo-nos sobre esse novo tema, que se aproximava em parte de nossa investigação anterior (Cabral, 2020), mas com um recorte mais específico e um maior grau maior de profundidade conceitual, elaborando a hipótese da *ilusão suficiente* nos videogames e do papel das IAs na criação dos elementos de game responsáveis por tal fenômeno.

Iniciamos nosso trajeto estabelecendo as definições de IA, aprendizagem de máquina, algoritmo, sistema, game, interatividade e inteligência. Fizemos então um trajeto histórico desde as origens da IA de maneira resumida, enfatizando os pontos que nos pareceram relevantes e necessários aos entrelaçamentos com o fio condutor de nossa investigação, como as primeiras máquinas de Turing e suas “receitas”, as conferências no Dartmouth College, de onde derivou o nome “inteligência artificial” e tantos modelos de computação que interferiram nas demais ciências, inclusive nas cognitivas. Abordamos as primeiras incorrências dos sistemas especialistas de IA com seus filtros condicionais distribuídos em árvores de decisão, para então chegarmos nos sistemas de visão computacional, depois de aprendizagem de máquina e suas variações, que modificaram todo o panorama das aplicações de IA e da computação em geral. Entre as evoluções resultantes de tais mudanças, passamos pelos grandes modelos de linguagem e pela investida em linguagem natural e suas aplicações populares.

Abordamos a presença difusa e generalizada de elementos de IA na vida cotidiana, bem como suas influências nas tomadas de decisão que envolvem negócios e finanças, explorando ainda o surgimento das IAs da percepção que está digitalizando o mundo físico e alimentando

o nascente metaverso, e também os primeiros sinais das IAs autônomas, que começam a figurar no nosso vocabulário como algo quase ao alcance.

Abordamos as tecnologias sempre em aprimoramento da fabricação de chips de computador, suas mudanças de arquitetura e o surgimento do modelo de processamento paralelo, já onipresente em dispositivos móveis e computadores pessoais, com ênfase no surgimento das unidades de processamento gráfico (GPUs) com dezenas de milhares de unidades computacionais, chips estes que têm impulsionado as possibilidades de todos tipos de algoritmo de IA, de criptomoedas às mais complexas aplicações de aprendizagem profunda.

Seguimos com um histórico específico do envolvimento das IAs com os games digitais desde sua origem, realçando em seus entremeios os efeitos de ilusão resultantes, iniciando pelas IAs que jogaram e, eventualmente, as que ganharam de humanos nos jogos de tabuleiro clássicos, damas, gamão, xadrez e Go, observando o processo de solução para os desafios apresentados até que tais IAs alcançassem capacidades sobre-humanas.

Realçamos o surgimento de algoritmos como Watson, que venceu campões humanos em um jogo de perguntas e respostas, bem como o momento em que o sistema DeepMind do Google aprendeu a jogar, e a ganhar, nos jogos de um console Atari de videogames, lançando o novo modelo de rede neural DQN que continua revolucionando o mercado com novas derivações.

Incluímos em nosso trajeto a geração procedural de conteúdos, analisando suas aplicações para obter resultados de ilusão de complexidade a partir de sistemas simples, acompanhando seu progresso por diversos títulos que implementaram novidades na criações autônomas de conteúdo. Passamos pelos sistemas de aprendizagem que utilizam a conectividade proporcionada pela ubiquidade da Internet para coletar toda sorte de informação dos jogadores, bem como os algoritmos que conseguem inferir respostas emocionais e prever comportamentos a partir de tais dados.

Apresentamos uma síntese de nossa pesquisa dos Drivatars, desenvolvida do Mestrado, que consideramos relevante sobre a geração de ilusão afetiva, e prosseguimos apresentando outros títulos que seguiram na mesma linha de aprender com os comportamentos dos games para simular personagens humanos de modo mais convincente, inclusive alguns agentes de IA que passaram em testes de Turing modificados e foram julgados erroneamente pelos avaliadores como se fossem humanos, exemplificando uma ocorrência do modelo da *ilusão suficiente* que investigamos.

Revisamos as relações entre a investigação acadêmica de IA aplicada a games e a pesquisa comercial feita pelos estúdios que desenvolvem videogames, apontando semelhanças, diferenças e as contribuições de ambas as partes para o progresso de suas tecnologias.

Listamos os games que se destacaram na utilização de agentes de IA de maneiras inovadoras, apontando o modo como cada um deles alcançou sucesso com tais estratégias, mas também analisamos casos de fracassos de implementação de tecnologias de IA que, ao invés de promover uma *ilusão suficiente*, impediam-na. Como na indústria dos games é muito mais fácil encontrar explicações de quem justifica suas falhas do que de quem tem sucesso, tais fracassos costumam ser muito didáticos.

Estudamos casos de videogames que prometiam ser o estado da arte da IA aplicada a games, mas que não obtiveram sucesso, como Portopia e Cyberpunk 2077 em seu lançamento, assim como vimos casos que foram vanguarda de sucesso em suas investidas, como Façade e o próprio Cyberpunk 2077, três anos depois, atualizado e demonstrando ser uma das plataformas de IAs entrelaçadas de maior sucesso na área de games.

Abordamos as IAs que tornam possíveis aplicações como ChatGPT e apontamos os problemas práticos quando se tentou desenvolver um game que operasse completamente por meio de linguagem natural com a tecnologia atual. Apontamos também as inovações e o sucesso de tecnologias que foram desenvolvidas para o mercado de games e que se tornaram peças-chave nas conquistas de sistemas de aprendizagem profunda e suas variações.

Apresentamos diversos casos em que reconhecemos a tríade de elementos que compõem a *ilusão suficiente*, identificamos seus elementos técnicos e o modo como interagem. Falamos a respeito do vale da estranheza e como evitá-lo, mas também mencionamos casos em que ele pode ser utilizado para realizar a meta de ilusão de games específicos. Diferenciamos as expectativas de realismo de representações audiovisuais de outras mídias face ao realismo do espaço do game, que ocorre dentro da formação triádica da *ilusão suficiente*, apontando títulos que falharam, como Mad Dog McCree, e outros que tiveram sucesso a partir da simplicidade gráfica, como Asteroids. Compartilhamos também a inexplicável volta ao mercado do modelo de games FMV, que jamais fizeram sucesso fora de seu nicho.

Por fim, trouxemos o conceito de Fluxo da Psicologia e o modo como este vem sendo reconhecido como um estado no qual os jogadores podem entrar enquanto jogam videogames, diferenciando-o com clareza do fenômeno da *ilusão suficiente* e demonstrando como ambos se relacionam em suas distinções, o que nos serviu como pano de fundo para contrastar nossa

hipótese, que implica em uma origem técnica e tecnológica de um fenômeno de interação, oposto ao efeito psicológico do fluxo, que inicia e se desenrola dentro da mente do sujeito que o experimenta. Considerando nosso trajeto, as ocorrências da ilusão que operam nos componentes dos games, o modo como estes se integram para formar um conjunto que ilude, e o modo como o efeito da *ilusão suficiente* emergiu dos casos analisados, consideramos que atingimos nosso objetivo com êxito ao demonstrar a validade da hipótese que nos pusemos a investigar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, Ernest. **Fundamentals of Game Design**. Third Edition. Indianapolis: New Riders, 2014.

ALKAISSI H, MCFARLANE S. I. **Artificial Hallucinations in ChatGPT Implications in Scientific Writing**. Cureus 15 vol.2 February 19, 2023.

ALPAYDIN, Ethem. **Machine Learning**. Cambridge: The MIT Press, 2016.

AOUN, Joseph E. **Robot-proof**. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2017.

ARTERO, Almir Olivette. **Inteligência Artificial: Teoria e Prática**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.

BAER, Ralph H. **Videogames: In the Beginning**. Springfield: Rolenta Press, 2005.

BAKIE, Robert T. A Brief History of Videogames. Em: RABIN, Steve (org.). **Introduction to Game Development**, Second Edition. Boston: Charles River Media Inc, 2010. p. 3-41.

BAKIE, Robert T. Games and Society. Em: RABIN, Steve (org.). **Introduction to Game Development**, Second Edition. Boston: Charles River Media Inc, 2010. p. 43-57.

BARTON, Matt. **Vintage Games 2.0**. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2017.

BARRY, Isaac. Game Design. Em: RABIN, Steve (org.). **Introduction to Game Development**, Second Edition. Boston: Charles River Media Inc, 2010. p. 61-138.

BATEMAN, Chris. The Aesthetic Motives of Play. Em: KARPOUSIS, Kostas; YANNAKAKIS, Georgios N. (orgs.). **Emotion in Games: Theory and Praxis**. Cham: Springer, 2016. p. 3-20.

BAUDRILLARD, Jean. **Simulacros e Simulação**. Trad. Maria João da Costa Pereira. Lisboa: Relógio D'Água, 1991.

BENGIO, Yoshua. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence**. The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 17-36.

BENNET, J. M. Digital Computers and the Crystallographer. Em: BOWDEN, B. V. **Faster then Thought: A Symposium on Digital Computing Machines**. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 203-209.

BENNET, J. M. Digital Computers and the Engineer. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Then Thought: A Symposium on Digital Computing Machines**. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 223-233.

BODEN, Margaret A. **Artificial Intelligence: A Very Short Introduction**. Oxford: OUP-Oxford Univ. Press, 2016.

BOOTH, A. D. Calculating Machines at the Birbeck College Computation Laboratory. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Then Thought: A Symposium on Digital Computing Machines**. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 170-172.

BOSTRON, N. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence**. The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 97-116.

BOURG, David M.; SEEMAN, Glenn. **AI for Game Developers**. Sebastopol: O'Reilly Media Inc, 2004.

BOWDEN, B. V. **Faster Then Thought: A Symposium on Digital Computing Machines**. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953.

BOWDEN, B. V. A Brief History of Computation. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Then Thought: A Symposium on Digital Computing Machines**. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 3-31.

BOWDEN, B. V. The Organization of a Typical Machine. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Then Thought: A Symposium on Digital Computing Machines**. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 67-77.

BOWDEN, B. V. The Construction, Performance and Maintenance of Digital Computers. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Then Thought:** A Symposium on Digital Computing Machines. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 78-100.

BOWDEN, B. V. Computers in America. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Then Thought:** A Symposium on Digital Computing Machines. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 173-178.

BOWDEN, B. V. The Application of Digital Computers to Business and Commerce. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Then Thought:** A Symposium on Digital Computing Machines. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 246-271.

BOWDEN, B. V. Thought and Machine Processes. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Then Thought:** A Symposium on Digital Computing Machines. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 311-337.

BOUWER, Willie.; HUMAN, Francois. The Impact of the Uncanny Valley Effect on the Perception of Animated Three-Dimensional Humanlike Characters. Em: **The Computer Games Journal**, Springer-Verlag. num. 3, vol. 6, julho 2017. p. 185-203.

BREAZAL, Cynthia. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence.** The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 445-461.

BUCKLAND, Mat. **Programming Game AI by Example.** Sudbury: Jones and Bartlett Publishers LLC, 2005.

BUDUMA, Nikhil. **Fundamentals of Deep Learning:** Designing Next-Generation Machine Intelligence Algorithms. Sebastopol: O'Reilly Media, 2017.

BURGUN, Keith. **Game Design Theory.** Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2013.

BYCER, Joshua. **20 Essential Games to Study.** Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2019.

BYCER, Joshua. **Games Design Deep Dive: Platformers**. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2020.

CABRAL, Alberto. **Inteligência Artificial e Emoção Real: games que vencem o jogo da ilusão**. Belo Horizonte: Tesseractum Editorial, 2020.

CARTER, R. H. A.; UTTLEY, A. M. The Telecommunications Research Establishment Parallel Electronic Digital Computer. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Than Thought: A Symposium on Digital Computing Machines**. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 144-160.

CERUZZI, Paul E. **Computing: A Concise History**. Cambridge: MIT Press, 2012.

CHAMPANDARD, Alex J. **AI Game Development: Synthetic Creatures with Learning and Reactive Behaviors**. Indianapolis: New Riders, 2004.

CHAPMANN, Joshua. **Machine Learning Algorithms: Fundamental Algorithms for Supervised and Unsupervised Learning**. Columbia: Joshua Chapmann, 2017.

CLARK, Oscar. **Games as a Service**. Boca Raton: Focal Press/Taylor and Francis Group, 2014.

COECKELBERGH, Mark. **AI Ethics**. Cambridge: The MIT Press, 2020.

COLERIDGE, Samuel Taylor. **Biographia Literaria**. Edinburgh: Edinburgh University Press, 2014.

COLLINS, Allan; HALVERSON, Richard. **Rethinking Education in the Age of Technology: The Digital Revolution and Schooling in America**. New York: Teachers College, Columbia University, 2009.

COOKE-YARBOROUGH, E. H. The Harwell Electronic Digital Computer. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Than Thought: A Symposium on Digital Computing Machines**. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 140-143.

COPI, Irving M. **Introdução à Lógica**. Tradução: Álvaro Cabral. 3ª ed. São Paulo: Editora Mestre Jou, 1981.

CSIKSZENTMIHALYI, Mihaly. **Flow The Psychology of Optimal Experience**. New York: Harper Perennial, 1991.

DEAN, Jeffrey. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence**. The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 475-485.

DELEUZE, Gilles; GUATTARI, Félix. **Mil Platôs: Capitalismo e Esquizofrenia** (vol. 1). Trad. Aurélio Guerra Neto e Célia Pinto Costa. São Paulo: Editora 34, 1995.

DESHPANDE, Anand; KUMAR, Manish. **Artificial Intelligence for Big Data**. Birmingham: Packt Publishing, 2018.

DORMEHL, Luke. **Thinking Machines: The Quest for Artificial Intelligence and Where It's Taking Us Next**. New York: TarcherPerigee Books, 2017.

ECO, Umberto. **Seis Passeios pelos Bosques da Ficção**. Trad. Hildegard Feist. São Paulo: Companhia da Letras, 1999.

ETZIONI, Oren. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence**. The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 493-509.

FENG, Jianfeng. **Computational Neuroscience: A Comprehensive Approach**. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2004.

FERRARI, Márcio. “Walter Benjamin: repensar a história, rever a criança” Em: **Revista Nova Escola**. Associação Nova Escola, São Paulo, 2009. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/1888/walter-benjamin-repensar-a-historia-rever-a-crianca>>. Acesso em 26 set. 2021.

FERRUCCI, David. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence**. The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 405-421.

FINLAY, Steven. **Artificial Intelligence and Machine Learning for Business: a Non-Nonsense Guide to Data Driven Technologies**. Columbia: Relativistic Books, 2017.

- FORD, Martin. **Architects of Intelligence**. Birmingham: Packt Publishing, 2018.
- FRANKLIN, Stan. **Artificial minds**. Cambridge: MIT Press, 2001.
- FREEMAN, Guo Zhang; MCNEESE, Nathan J. Exploring Indie Game Development: Team Practices and Social Experiences in A Creativity-Centric Technology Community. Em: **Computer Supported Cooperative Work (CSCW)**. London: Springer Nature, vol. 28 com. 3-4, 2019. p. 723-748.
- GEE, James Paul. **The Anti-Education Era: Creating Smarter Students through Digital Learning**. New York: Palgrave Macmillan, 2013.
- GEE, James Paul. **Good Video Games and Good Learning: Collected Essays on Video Games, Learning and Literacy (New Literacies and Digital Epistemologies)**. New York: Peter Lang Publishing Inc., 2007a.
- GEE, James Paul. **What Video Games Have to Teach Us About Learning and Literacy**. New York: Palgrave Macmillan, 2007b.
- GEE, James Paul. **Situated Language and Learning: A Critique of Traditional Schooling (Literacies)**. New York: Routledge, 2004.
- GLENNIE, A. E. An Application to Ballistics. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Than Thought: A Symposium on Digital Computing Machines**. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 216-222.
- GLENNIE, A. E.; BENNET, J. M. Programming for High-Speed Digital Calculating Machines. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Than Thought: A Symposium on Digital Computing Machines**. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 101-113.
- GOBIRA, Pablo; BERNAL, Raúl Niño. **Relações entre Arte Ciência e Tecnologia**. Belo Horizonte: Labfront, 2021.
- GOTTFREDSON, Linda S. “Mainstream Science on Intelligence: An Editorial With 52 Signatories, History, and Bibliography”. **The Wall Street Journal**, Suplemento INTELLIGENCE, num. 24(1), New York, 13 dez. 1994. p. 13-23.

GROSZ, Barbara. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence**. The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 333-354.

HASSABIS, Demis. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence**. The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 163-182.

HEMSTEIN, Richard J.; MURRAY, Charles. **The Bell Curve**. New York: The Free Press, 1994.

HERBERT A. Simon. **The Sciences of the Artificial**. Cambridge: MIT Press, 1996.

HERBRICH, Ralf; TIPPING, Michael E.; HATTON, Mark. **Personalized Behavior of Computer Controlled Avatars in a Virtual Reality Environment**. Patente registrada nos E.U.A. em 15 de agosto de 2006. US Patent: 7.090.576 B2, 2006.

HINGSTON, Philip. A new design for a Turing test for bots. Em: **Computational Intelligence and Games (CIG)**, 2010 IEEE Symposium on. IEEE, 2010. p. 345-350.

HINTON, Geoffrey. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence**. The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 71-95.

HOLLINGDALE, S. H. The Royal Aircraft Establishment Sequence-Controlled Calculator. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Than Thought: A Symposium on Digital Computing Machines**. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 165-169.

HOLMES, W.; BIALIK, M.; FADEL, C. **Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning**. Boston: Center for Curriculum Redesign, 2019.

HOROWITZ, Ken. **Playing at the Next Level: A History of American Sega Games**. Jefferson: McFarland & Company Publishers, 2016.

HOROWITZ, Ken. **The Sega Arcade Revolution A History in 62 Games**. Jefferson: McFarland & Company Publishers, 2018.

HOROWITZ, Ken. **Beyond Donkey Kong: A History of Nintendo Arcade Games**. Jefferson: McFarland & Company Publishers, 2020.

HUIZINGA, Johan. **Homo Ludens: o jogo como elemento da cultura**. Trad. João Paulo Monteiro. São Paulo: Perspectiva, 2014.

JOHNSON, Bryan. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence**. The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 511-525.

KAPP, Karl M. **The Gamification of Learning and Instruction Fieldbook: Ideas into Practice**. San Francisco: Wiley, 2014.

KAPP, Karl M. **The Gamification of Learning and Instruction: Game-based Methods and Strategies for Training and Education**. San Francisco: Wiley, 2012.

KARPOUSIS, Kostas e YANNAKAKIS, Georgios N. (orgs.). **Emotion in Games: Theory and Praxis**. Cham: Springer, 2016.

KILBURN, T.; WILLIAMS, F. C. The University of Manchester Computing Machine. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Than Thought: A Symposium on Digital Computing Machines**. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 117-129.

KOLLER, Daphne. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence**. The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 387-403.

KOSTER, Raph. **Theory of fun for game design**. Sebastopol: O'Reilly Media, 2013.

KOTSIA, Irene; ZAFEIRIOU, Stefanos; GOUDELIS, George; PATRAS, Ioannis; KARPOUSIS, Kostas. "Multimodal Sensing in Affective Gaming" in KARPOUSIS, Kostas; YANNAKAKIS, Georgios N. (orgs.). **Emotion in Games: Theory and Praxis**. Cham: Springer, 2016.

KRISTJAN, Jai. **We Deserve Better Villains**. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2020.

LAGNEAU, Jules. **Célèbres leçons et fragments** (Deuxième édition revue et augmentée). Paris: Les Presses Universitaires de France, 1964.

LAIRD, John; VAN LENT, Michael. Human-level AI's killer application: Interactive computer games. Em: **AI Magazine**, Vol. 22, Num. 2. Washington: AAAI, junho, 2001. p. 15-26.

LALANDE, André. **Vocabulário Técnico e Crítico da Filosofia**. Trans. Fátima Sá Correia, Maria Emília V. Aguiar, José Eduardo Torres e Maria Gorete de Souza. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

LECKY-THOMPSON, Guy. **AI and Artificial Life in Video Games**. Boston: Cengage Learning, 2008.

LECKY-THOMPSON, Guy. **Video Game Design Revealed**. Boston: Cengage Learning, 2007.

LECUN, Yann. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence**. The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 119-142.

LEE, Kai-Fu. **AI Superpowers: China, Silicon Valley and the New World Order**. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2018.

LEIBNIZ, G. W. Monadologia. Em: **Coleção Os Pensadores**. São Paulo: Abril Cultural, vol. 19, 1974. p. 61-73.

LENGYEL, Eric. **Game Engine Gems 2**. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2011.

LENGYEL, Eric. **Game Engine Gems 3**. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2016.

LI, Fei-Fei. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence**. The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 145-160.

LI, Peilong e LUO, Yan uo. **HeteroSpark**: A Heterogeneous CPU/GPU Spark Platform for Machine Learning Algorithms. Researchgate, aug. 2015. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/282865411>>. Acesso em: 29 de ago de 2023.

LIMA, Isaiás; PINHEIRO, Carlos A. M.; SANTOS, Flávia A. Oliveira. **Inteligência Artificial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

LLOPIS, Noel. C++, Java and Scripting Languages. Em: RABIN, Steve (org.). **Introduction to Game Development**. Second Edition. Boston: Charles River Media Inc, 2010a. p. 189-208.

LLOPIS, Noel. Game Architecture. Em: RABIN, Steve (org.). **Introduction to Game Development**. Second Edition. Boston: Charles River Media Inc, 2010b. p. 239-270.

LOPES, Noel; RIBEIRO, Bernardete. GPUMLib: An Efficient Open-Source GPU Machine Learning Library. Em: **International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications**, Volume 3, 2011. p. 355-362.

LOVELL, Nicholas. **The Pyramid of Game Design**. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2019.

MANYIKA, James. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence**. The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 271-302.

MARCUS, Gary. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence**. The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 305-330.

MARK, Dave. **Behavioral Mathematics for Game AI**. Boston: Charles River Media/Cengage Learning, 2009.

MARR, David. **Vision**: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information. Cambridge: The MIT Press, 2010.

MATEAS, Michael; STERN, Andrew. **Façade**: An experiment in building a fully-realized interactive drama. Em: Game Developers Conference, 2003.

MCGONIGAL, Jane. **Reality Is Broken: Why Games Make Us Better and How They Can Change the World.** New York: Penguin Press, 2011.

MICHAELSON, S.; TOCHER, K. D. The Imperial College Computing Engine. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Then Thought: A Symposium on Digital Computing Machines.** London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 161-164.

MILLINGTON, Ian e FUNGE, John. **Artificial Intelligence for Games.** Second Edition. Burlington: Morgan Kaufmann, 2009.

MNIH, Volodymyr; KAVUKCUOGLU, Koray; SILVER, David; RUSU, Andrei A.; VENESS, Joel; BELLEMARE, Marc G.; GRAVES, Alex; RIEDMILLER, Martin; FIDJELAND, Andreas K.; OSTROVSKI, Georg; PETERSEN, Stig; BEATTIE, Charles; SADIK, Amir; ANTONOGLU, Ioannis; KING, Helen; KUMARAN, Dharshan; WIERSTRA, Daan; LEGG, Shane; HASSABIS, Demis. Human-level control through deep reinforcement learning. **Nature**, 518(#7540), London: Springer Nature Publishing Group, 2015. p. 529–533.

MORI, M. The Uncanny Valley. Translators: MacDorman, K.F. e Kageki, N. **IEEE Robotics & Automation Magazine**, num. 2, vol. 19, june 2012. p. 98-100.

MORI, M. **The uncanny valley.** Energy, vol. 7, no. 4, 1970. p. 33–35.

MORTON, G. Electronic Machines and Economics. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Then Thought: A Symposium on Digital Computing Machines.** London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 272-281.

NEISSER, Ulric et al. Intelligence: Knowns and Unknowns. **American Psychologist**, Washington, Vol. 51, Num. 2, Feb. 1996. p. 77-101.

NEWELL, Allen. and SIMON, Herbert A. Computer Science as Empirical Inquiry: Symbols and Search. Em: **Communications of the ACM**, vol. 19, num. 3, March 1976. p. 113–126.

NG, Andrew. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence.** The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 185-205.

NILSSON, Nils J. **The Quest for Artificial Intelligence**. New York: Cambridge University Press, 2010.

NOVAK, Jeannie. **Game Development Essentials: an Introduction**. Third Edition. Clifton Park: Delmar/Cengage Learning, 2012.

O'CONNOR, Phil. **Craft and Science of Game Design: A Video Game Designers Manual**. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2021.

OLIVEIRA, Arlindo. **The Digital Mind**. Cambridge: MIT Press, 2017.

PANDEY, Mohit et al. The transformational role of GPU computing and deep learning in drug discovery. Em: **Nature - Machine Intelligence**, vol. 4, March 2022. p.211-221.

PATTERSON, Josh; GIBSON, Adam. **Deep Learning: A Practitioner's Approach**. Sebastopol: O'Reilly Media, 2017.

PEARL, Judea. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence**. The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 357-373.

POLLARD, B. W.; BOWDEN, B. V. The Circuit Components of Digital Computers. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Than Thought: A Symposium on Digital Computing Machines**. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 32-66.

POMERANTZ, Jeffrey. **Metadata**. Cambridge: MIT Press, 2015.

POPPELWELL, C. M. Problems of Dynamical Astronomy. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Than Thought: A Symposium on Digital Computing Machines**. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 282-285.

PRENSKY, Marc. **From Digital Natives to Digital Wisdom: Hopeful Essays for 21st Century Learning**. California: Corwin, 2012a.

PRENSKY, Marc. **Brain Gain: Technology and the Quest for Digital Wisdom**. New York: Palgrave MacMillan, 2012b.

PRENSKY, Marc. **Teaching Digital Natives: Partnering for Real Learning**. California: Corwin, 2010a.

PRENSKY, Marc. **Don't Bother Me Mom--I'm Learning!** Massachusetts: Paragon House, 2006.

PRENSKY, Marc. **Digital Game-Based Learning**. Massachusetts: Paragon House, 2001a.

PRENSKY, Marc. **Aprendizagem Baseada em Jogos Digitais**. Trad. Eric Yamagute. São Paulo: Ed. Senac São Paulo, 2012c.

PRIMO, Alex. **Interação Mútua e Interação Reativa: uma proposta de estudo**. Porto Alegre: Revista FAMECOS, junho, 2000.

PRINZ, D. G. Machines for the Solution of Logical Problems. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Then Thought: A Symposium on Digital Computing Machines**. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 181-198.

RABIN, Steve (org.). **Game AI Pro: Collected Wisdom of Game AI Professionals**. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2014.

RABIN, Steve (org.). **Game AI Pro 2: Collected Wisdom of Game AI Professionals**. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2015.

RABIN, Steve (org.). **Game AI Pro 3: Collected Wisdom of Game AI Professionals**. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2017.

RABIN, Steve (org.). **Game AI Pro 360 Guide to Architecture**. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2020a.

RABIN, Steve (org.). **Game AI Pro 360 Guide to Character Behavior**. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2020b.

RABIN, Steve (org.). **Game AI Pro 360 Guide to Movement and Pathfinding**. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2020c.

RABIN, Steve (org.). **Game AI Pro 360 Guide to Tactics and Pathfinding**. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2020d.

RABIN, Steve (org.). **Introduction to Game Development**. Second Edition. Boston: Charles River Media Inc, 2010.

RABIN, Steve (org.). **AI Programming Wisdom**. Hingham: Charles River Media Inc, 2002.

RICH E.; KNIGHT K.; NAIR S. **Artificial Intelligence**. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2009.

RUPARELIA, Nayan B. **Cloud Computing**. Cambridge: MIT Press, 2016.

RUS, Daniela. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence**. The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 253-268.

RUSCH, Doris C. **Making Deep Games**. Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2017.

RUSSEL, Stuart. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence**. The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 39-68.

RUSSEL, Stuart; NORVIG, Peter. **Inteligência Artificial**. Trad. Regina Célia Simille de Macedo. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2013.

RUSSEL, Stuart; NORVIG, Peter. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. Third Edition. Upper Saddle River: Prentice Hall/Pearson Education Inc, 2010.

SALEN, Katie; ZIMMERMAN, Eric. **Regras do Jogo: Fundamentos do Design de Jogos, Principais Conceitos / Vol.1**. Trad. Edson Furmankiewicz, São Paulo: Blucher, 2012a.

SALEN, Katie; ZIMMERMAN, Eric. **Regras do Jogo: Fundamentos do Design de Jogos, Regras / Vol.2**. Trad. Edson Furmankiewicz, São Paulo: Blucher, 2012b.

SALEN, Katie; ZIMMERMAN, Eric. **Regras do Jogo: Fundamentos do Design de Jogos, Interação Lúdica / Vol.3**. Trad. Edson Furmankiewicz, São Paulo: Blucher, 2012c.

SALEN, Katie; ZIMMERMAN, Eric. **Regras do Jogo: Fundamentos do Design de Jogos, Cultura / Vol.4**. Trad. Edson Furmankiewicz, São Paulo: Blucher, 2012d.

SANTAELLA, Lucia. **A Inteligência Artificial é Inteligente?** São Paulo: Edições 70, 2023.

SANTAELLA, Lucia. **Neo-Humano: a Sétima Revolução Cognitiva do Sapiens**. São Paulo: Paulus, 2022.

SANTAELLA, Lucia. **Humanos Hiper-Híbridos: Linguagens e Cultura na Segunda Era da Internet**. São Paulo: Paulus, 2021.

SANTAELLA, Lucia. **Inteligência Artificial & Redes Sociais**. São Paulo: EDUC-Editora da PUC-SP, 2021.

SANTAELLA, Lucia. **Comunicação Ubíqua: repercussões na cultura e na educação**. São Paulo: Paulus, 2013.

SANTAELLA, Lucia. **A Ecologia Pluralista da Comunicação**. São Paulo: Paulus, 2010a.

SANTAELLA, Lucia. **Comunicação e Pesquisa**. São José do Rio Preto: Bluecom, 2010b.

SANTAELLA, Lucia. **Linguagens Líquidas na Era da Mobilidade**. São Paulo: Paulus, 2007.

SANTAELLA, Lucia. **Navegar no Ciberespaço: o perfil cognitivo do leitor imersivo**. São Paulo: Paulus, 2004.

SANTAELLA, Lucia. **Culturas e artes do pós-humano: da cultura das mídias à cibercultura**. São Paulo: Paulus, 2003.

SANTAELLA, Lucia; LEMOS, Renata. **Redes Sociais Digitais: a cognição conectiva do Twitter**. São Paulo: Paulus, 2010.

SANTAELLA, Lucia; FEITOZA, Mirna (orgs.). **O Mapa do Jogo: a diversidade cultural dos games**. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

SCHOPENHAUER, Arthur. **On the Fourfold Root of the Principle of Sufficient Reason**, trans. E.F.J Payne. Indianapolis: Hackett, 1974.

SCHRUM, Jacob et al. UT<sub>χ</sub>2: Human-like behavior via neuroevolution of combat behavior and replay of human traces. Em: **2011 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG'11)**. Seoul, South Korea, Aug. 2011. p. 329-336.

SCHUYTEMA, Paul. **Design de Games: Uma Abordagem Prática**. Trad. Cláudia Mello Belhassof. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

SCORER, R. S. The Use of High-speed Computing Machines in Meteorology. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Than Thought: A Symposium on Digital Computing Machines.** London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 210-215.

SCOTT, Bob. The Illusion of Intelligence in RABIN, Steve (org.). **AI Programming Wisdom.** Hingham: Charles River Media Inc, 2002. p. 16-20.

SEJNOWSKI, Terrence J. **The Deep Learning Revolution.** Cambridge: MIT Press, 2018.

SELBIG, Jeff. 3D Environments. Em: RABIN, Steve (org.). **Introduction to Game Development, Second Edition.** Boston: Charles River Media Inc, 2010. p. 679-686.

SHAKER, N. et al. The Turing test track of the 2012 Mario AI championship: entries and evaluation. Em: **Computational Intelligence in Games (CIG), 2013 IEEE Conference on.** IEEE, 2013.

SHANAHAN, Murray. **The Technological Singularity.** Cambridge: MIT Press, 2015.

SHELDON, Lee. **The Multiplayer Classroom: Designing Coursework as a Game.** Boston: Cengage Learning, 2012.

SHIEBER, Stuart M. **The Turing Test Verbal Behavior as the Hallmark of Intelligence.** Cambridge: MIT Press, 2004.

SQUIRE, Kurt. **Video Games and Learning: Teaching and Participatory Culture in the Digital Age (Technology, Education--Connections) (Technology, Education, Connections: Tec).** New York: Teachers College Press, 2011.

SQUIRE, Kurt; STEINKUEHLER, Constance; BARAB, Sasha. **Games, Learning, and Society: Learning and Meaning in the Digital Age (Learning in Doing: Social, Cognitive and Computational Perspectives).** New York: Cambridge University Press, 2012.

STIRLING, Leslie. Game Writing and Interactive Storytelling. Em: RABIN, Steve (org.). **Introduction to Game Development, Second Edition.** Boston: Charles River Media Inc, 2010. p. 139-164.

STUART-WILLIAMS, R. Special-Purpose Automatic Computers. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Then Thought: A Symposium on Digital Computing Machines.** London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 199-202.

SWANN, B. B. Machines in Government Calculations. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Then Thought: A Symposium on Digital Computing Machines.** London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 234-245.

TAN, Sijun et al. **CRYPTGPU: Fast Privacy-Preserving Machine Learning on the GPU.** University of Virginia & Facebook AI Research, 2021. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2104.10949v1>>. Acesso em: 29 de ago. de 2023.

TEIXEIRA, João de Fernandes. **A Mente Pós-Evolutiva: A Filosofia da Mente no Universo do Silício.** Petrópolis: Editora Vozes, 2010.

TENENBAUM, Joshua. Entrevista à Martin Ford. Em: FORD, Martin (ed.). **Architects of Intelligence.** The truth about AI from the people building it. Birmingham: Packt Publishing, 2018. p. 473-491.

TINWELL, Angela. **The Uncanny Valley in Games and Animation.** Boca Raton: Taylor and Francis, 2014.

TOMLINSON, Simon; MELDER, Nic. An Architecture Overview for IA in Racing Games. Em: RABIN, Steve (org.). **Game AI Pro: Collected Wisdom of Game AI Professionals.** Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2014a. p. 471-480.

TOMLINSON, Simon; MELDER, Nic. Representing and Driving a Race Track for AI Controlled Vehicles. Em: RABIN, Steve (org.). **Game AI Pro: Collected Wisdom of Game AI Professionals.** Boca Raton: CRC Press/Taylor and Francis Group, 2014b. p. 481-490.

TURING, A. M. Computing machinery and intelligence. **Mind**, Oxford, Vol. LIX, No. 236, October, 1950. p. 433-460.

TURING, Alan M., BATES, M. A., BOWDEN, B. V. e STRACHEY, C. Digital Computers Applied to Games. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Then Thought: A Symposium on Digital Computing Machines.** London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 286-310.

VAN DE VEN, Inge. It's Not a Game! Rules of Notice and Hermeneutics of Suspicion in Contemporary FMV Games. Em: **Games and Culture** vol. 0 (AoP) March, 2023. p. 1-20.

VEAR, Craig; POLTRONIERI, Fabrizio. **The Language of Creative AI: Practices, Aesthetics and Structures**. Cham: Springer, 2022.

VON NEWMANN, John. First Draft of a Report on the EDVAC. Em: **Annals of the History of Computing**. New York: IEEE, vol. 15, num. 4, 1993. p. 27-75.

WADE, Bretton; RABIN, Steve. Collision Detection and Resolution. Em: RABIN, Steve (org.). **Introduction to Game Development**. Second Edition. Boston: Charles River Media Inc, 2010. p. 367-386.

WILKES, M. V. Calculating Machine Development at Cambridge. Em: BOWDEN, B. V. **Faster Than Thought: A Symposium on Digital Computing Machines**. London: sir Isaac Pitman & Sons, 1953. p. 130-134.

WOOLDRIDGE, Michael. **A Brief History of Artificial Intelligence**. New York: Flatiron Books, 2021.

YANNAKAKIS, Georgios N. e TOGELIUS, Julian. **Artificial Intelligence and Games**. New York: Springer, 2018.