

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO



**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO FUTURO DOS VIDEOGAMES: COMO TORNÁ-
LA ALIADA NO CONTEXTO DE NOVOS JOGOS**

RONNAN WERNECK COSTA RODRIGUES FILHO

Goiânia

2025

RONNAN WERNECK COSTA RODRIGUES FILHO

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO FUTURO DOS VIDEOGAMES: COMO TORNÁ-LA
ALIADA NO CONTEXTO DE NOVOS JOGOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola Politécnica e de Artes, da Pontifícia
Universidade Católica de Goiás, referente a parte
dos requisitos para a obtenção do título de
Bacharel em Ciências da Computação.

Orientador(a):

Prof. Gustavo Oliveira Vinhal

Goiânia

2025

RONNAN WERNECK COSTA RODRIGUES FILHO

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO FUTURO DOS VIDEOGAMES: COMO TORNÁ-LA
ALIADA NO CONTEXTO DE NOVOS JOGOS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Ciências da Computação, e aprovado em sua forma final pela Escola de Politécnica e de Artes, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, em ____/____/_____.

Banca Examinadora:

Orientador(a): Prof. Gustavo Oliveira Vinhal

Prof. Me. Carlos Alexandre Ferreira de Lima

Prof. Dr. Nilson Cardoso Amaral

Goiânia

2025

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus e a Virgem Maria, pela força, sabedoria e coragem concedidas em cada etapa dessa jornada. Sem Suas presenças constantes, este projeto não seria concluído. Dedico também a minha família. Minha mãe e meu pai pelo apoio incondicional, em meio aos momentos de dificuldade que sempre estiveram juntos a mim, me incentivando para poder concluir este trabalho e minha graduação. Vocês são minha base e minha inspiração para alcançar novos rumos e iniciar novas caminhadas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Gustavo Siqueira Vinhal, meu orientador acadêmico, pela confiança e apoio depositados neste projeto e pelos ensinamentos que me ajudaram a crescer, não apenas como acadêmico, mas também como profissional.

Agradeço também a todos os amigos e colegas criados durante o tempo acadêmico. Sem eles, não imagino como conseguiria concluir esta etapa. Cada um me ajudou a crescer, me guiar e me auxiliar durante tempos difíceis.

RESUMO

Este trabalho aborda a crescente integração da Inteligência Artificial (IA) e seu prospectivo papel como elemento fundamentalmente aliado na evolução futura dos videogames. Através de uma análise exploratória, fundamentada em revisão de literatura e no estudo de tendências tecnológicas emergentes, o estudo objetiva investigar de que maneira a IA pode ser efetivamente implementada para atuar como uma força colaborativa e enriquecedora na experiência proporcionada por novos jogos. Os resultados indicam que a IA se configura como uma poderosa aliada ao possibilitar níveis avançados de personalização da jogabilidade, fomentar a criação de narrativas dinâmicas e adaptativas, otimizar os ciclos de desenvolvimento de jogos e conferir maior realismo e autonomia comportamental a personagens não jogáveis (NPCs), tornando-os aliados ou inimigos mais empolgantes. Conclui-se que a incorporação estratégica da IA como aliada no ecossistema dos videogames possui um potencial transformador, capaz de inaugurar novas fronteiras para a inovação, interatividade e imersão no entretenimento digital.

Palavras-Chave: Desenvolvimento de Jogos; Futuro dos Videogames; Inteligência Artificial; Videogames.

ABSTRACT

This work addresses the growing integration of Artificial Intelligence (AI) and its prospective role as a fundamentally allied element in the future evolution of videogames. Through an exploratory analysis, based on a literature review and the study of emerging technological trends, this study aims to investigate how AI can be effectively implemented to act as a collaborative and enriching force, in the experience provided by new games. The results indicate that AI is configured as a powerful ally by enabling advanced levels of gameplay personalization, fostering the creation of dynamic and adaptive narratives, optimizing game development cycles, and conferring greater realism and behavioral autonomy to non-playable characters (NPCs), making them more credible and engaging partners or adversaries. It is concluded that the strategic incorporation of AI as an ally in the videogame ecosystem holds vast transformative potential, capable of inaugurating new frontiers for innovation, interactivity, and immersion in digital entertainment.

Keywords: Artificial Intelligence; Future of Videogames; Game Development; Videogames

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IA	Inteligência Artificial
NPC	Non-Playable Character, <i>Personagem Não Jogável</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
PCG	Geração Procedural de Conteúdo
RPG	Role Playing Game, <i>Jogo de Interpretação de Papéis</i>
RTS	Real Time Strategy, <i>Estratégia em Tempo Real</i>
FPS	First Person Shooter, <i>Atirador de Primeira Pessoa</i>
FSM	Finite State Machine, <i>Máquina de Estado Finito</i>
HECU	Hazardous Environment Combat Unit, <i>Unidade de Combate em Ambiente Perigoso</i>
GOAP	Goal-Oriented Action Planning, <i>Planejamento Orientado a Objetivos</i>
AAS	Active Area Set, <i>Conjunto de Área Ativa</i>
ML	Machine Learning, <i>Aprendizado de Máquina</i>
GenAI	Generative Artificial Intelligence, <i>Inteligência Artificial Generativa</i>
LLM	Large Language Model, <i>Modelo Grande de Linguagem</i>
Mod	Modificação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	11
1.1.1 Objetivo geral.....	11
1.1.2 Objetivos específicos	11
1.2 Procedimentos metodológicos.....	11
2 CONCEITUANDO IA EM JOGOS.....	12
2.1 Teoria dos Jogos	13
2.2 Início de Algoritmos Artificiais	14
2.3 Avançando: Novos Desafios.....	16
2.4 Rumo à Sofisticação (Anos 2000).....	19
2.5 Um mundo novo: IAs generativas e aprendizado de máquina	22
2.6 Panorama atual e futuro das IAs em Videogames	25
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
3.1 Sugestões de trabalhos futuros	29
BIBLIOGRAFIA.....	31

1 INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) tem se consolidado como uma força transformadora em diversas indústrias, como os *chats* generativos. O setor de videogames não é exceção. Desde os primeiros algoritmos que controlavam o comportamento de inimigos em jogos clássicos até as complexas redes neurais que hoje possibilitam a criação de mundos vastos e personagens com comportamentos quase humanos, a IA tem sido um componente fundamental na evolução da interatividade e imersão nos jogos eletrônicos. O avanço exponencial da IA em um contexto geral, especialmente com o advento da IA generativa, abre um leque de novas possibilidades, mas também impõe desafios significativos para desenvolvedores e jogadores.

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) se propõe a investigar o papel da Inteligência Artificial no futuro dos videogames, com foco em como essa tecnologia pode ser efetivamente utilizada como uma aliada no desenvolvimento de novos jogos e na melhoria da experiência do jogador. A contextualização do tema envolve a rápida evolução das capacidades da IA, como aprendizado de máquina para NPCs (*Non-Player Characters*) mais inteligentes, geração procedural de conteúdo (PCG) para a criação de universos dinâmicos e personalizados, e o uso de IA para balanceamento de jogos e adaptação da jogabilidade.

O problema de pesquisa que norteia este estudo é: De que maneira a Inteligência Artificial pode ser estrategicamente integrada ao ciclo de desenvolvimento e à experiência de jogo nos videogames do futuro, de forma a maximizar seus benefícios como ferramenta aliada, minimizando potenciais desvantagens e dilemas éticos? A relevância desta investigação reside na crescente importância da IA para a inovação na indústria de jogos, um mercado em constante expansão e com alta demanda por experiências cada vez mais sofisticadas e personalizadas. Compreender como a IA pode ser uma aliada estratégica é crucial tanto para desenvolvedores que buscam otimizar recursos e criar produtos mais competitivos, quanto para jogadores que anseiam por interações mais ricas e significativas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar o potencial da Inteligência Artificial como uma tecnologia aliada no desenvolvimento e na experiência de futuros videogames, identificando suas aplicações benéficas, os desafios inerentes à sua implementação e as estratégias para otimizar sua contribuição positiva para desenvolvedores e jogadores.

1.1.2 Objetivos específicos

- Explorar o início de IA em videogames, mostrando interações antigas e o uso rudimentar delas.
- Explorar o impacto da Inteligência Artificial generativa no design de jogos, na criação de narrativas dinâmicas e na produção de *assets*.
- Analisar os desafios técnicos, criativos e éticos associados à integração crescente da IA nos videogames.
- Discutir como a Inteligência Artificial pode otimizar processos de desenvolvimento, melhorar o balanceamento de jogos e enriquecer a interatividade e imersão para os jogadores.
- Propor diretrizes e considerações para que a Inteligência Artificial seja utilizada de forma estratégica e ética, consolidando seu papel como aliada na indústria de videogames.

1.2 Procedimentos metodológicos

Esta pesquisa é um estudo prático, pois envolve a aplicação direta de conceitos já estabelecidos no mercado de IA em videogames, com o objetivo de propor soluções para desafios enfrentados por profissionais na área de desenvolvimento de games.

Segundo os seus objetivos, esta pesquisa é descritiva. A pesquisa descritiva visa detalhar como as IA's são utilizadas, e mostrando como elas podem ser melhoradas em um contexto atual.

Os procedimentos técnicos desta pesquisa são bibliográficos. A pesquisa bibliográfica utiliza materiais e outras pesquisas como fontes. Em geral, usam-se livros e artigos científicos.

2 CONCEITUANDO IA EM JOGOS

A Inteligência Artificial (IA) em videogames é uma disciplina multifacetada, focada na criação de comportamentos que pareçam adaptativos, inteligentes ou responsivos, predominantemente em personagens não jogáveis (NPCs). O seu propósito primordial não reside na replicação da cognição humana ou na resolução de problemas complexos fora do ambiente lúdico, mas sim em enriquecer e aprimorar a experiência do jogador. Este campo distingue-se da IA acadêmica tradicional por priorizar a credibilidade e o envolvimento do jogador sobre a otimização de algoritmos para tarefas do mundo real.

Desde os primórdios da indústria, a IA tem sido um componente integral, moldando fundamentalmente a maneira como os jogadores interagem com os mundos digitais e os desafios que neles encontram. A sua influência perpassa a criação de adversários rudimentares, a dotação de NPCs com comportamentos complexos, até à geração processual de ambientes de jogo vastos e dinâmicos, transformando continuamente a conceção, o desenvolvimento e a vivência dos videogames. A IA contribui decisivamente para a construção de desafios que parecem realistas, para a oferta de experiências personalizadas e para a otimização do próprio design dos jogos.

A evolução da IA nos videogames traça um percurso notável, desde sistemas elementares baseados em regras e padrões predefinidos até à inteligência adaptativa capaz de reagir de forma mais orgânica às ações do jogador. Atualmente, assiste-se à ascensão da IA generativa, uma tecnologia com o potencial de criar conteúdo dinamicamente, prometendo redefinir os limites da interatividade e da personalização.

2.1 Teoria dos Jogos

A Teoria dos Jogos constitui um ramo da matemática aplicada e da microeconomia dedicado à análise de interações estratégicas entre agentes racionais. Formalizada primordialmente por John von Neumann e Oskar Morgenstern em sua obra seminal "Theory of Games and Economic Behavior" (1944), esta abordagem busca modelar cenários onde o resultado da decisão de um agente depende não apenas de sua própria escolha, mas também das escolhas feitas por outros agentes. Sua aplicação transcende a economia, oferecendo uma poderosa lente analítica para campos tão diversos quanto a ciência política, a biologia evolutiva e as ciências sociais.

A estrutura de um "jogo", no sentido teórico, é composta por três elementos essenciais: os jogadores (*players*), as estratégias (*strategies*) e as recompensas (*payoffs*). Os jogadores são os agentes racionais tomadores de decisão no cenário analisado. As estratégias compreendem o conjunto de todos os planos de ação possíveis que um jogador pode adotar. Por fim, as recompensas representam a utilidade ou o valor que cada jogador auferir como consequência da combinação das estratégias escolhidas por todos os participantes, frequentemente representadas em uma matriz de resultados. O pressuposto fundamental é que cada jogador age com o intuito de maximizar sua própria recompensa, antecipando as possíveis ações dos demais.

O exemplo paradigmático que ilustra o conflito entre a racionalidade individual e a otimalidade coletiva é o "Dilema do Prisioneiro". Neste modelo, dois suspeitos, impossibilitados de se comunicar, devem decidir entre cooperar um com o outro (permanecendo em silêncio) ou trair (confessando e implicando o parceiro). A estrutura de recompensas é tal que a traição unilateral confere o melhor resultado individual (liberdade), enquanto a traição mútua leva a um resultado pior para ambos do que a cooperação mútua. Contudo, a análise da lógica individual demonstra que a traição é a estratégia dominante para ambos, pois oferece uma recompensa superior independentemente da escolha do outro jogador. O resultado provável, conhecido como Equilíbrio de Nash (NASH, 1951), é a traição mútua, um desfecho que é subótimo do ponto de vista coletivo.

Para além da abstração teórica, a Teoria dos Jogos fornece um arcabouço robusto para a análise de fenômenos concretos. Na economia, é utilizada para modelar a competição em estruturas de mercado oligopolizadas e a dinâmica de leilões. Na ciência política, auxilia na compreensão de negociações diplomáticas e estratégias eleitorais. Já

na biologia, permite estudar a evolução de comportamentos cooperativos e de competição entre espécies. Desta forma, a teoria se estabelece como uma ferramenta analítica indispensável para decifrar a complexidade das interações humanas e institucionais em ambientes de interdependência estratégica.

2.2 Início de Algoritmos Artificiais

A ideia de dotar máquinas com a capacidade de jogar remete a um período anterior à própria indústria de videogames, com as primeiras investigações em *game playing* surgindo como uma área de pesquisa fundamental nos primórdios da Inteligência Artificial. Um dos exemplos seminais é o jogo computadorizado de Nim, concebido em 1951 e publicado no ano seguinte. Esta máquina, apesar da sua simplicidade aparente, era capaz de competir e vencer de forma constante, jogadores humanos experientes, demonstrando o potencial da computação na simulação de raciocínio estratégico.

Quando os primeiros videogames começaram a surgir, entre as décadas de 1960 e o início dos anos 70, como *Pong* (1972), *Spacewar!* (1962), e *Gotcha* (1973), a sua arquitetura era baseada em lógica discreta e o foco era predominantemente na competição direta entre dois jogadores humanos. Nestes títulos iniciais, a IA, no sentido de um oponente controlado pelo computador com comportamento autônomo, era ausente, ou extremamente rudimentar. (FIGURA 1)

FIGURA 1 – COMPUTADOR EXECUTANDO SPACEWAR



FONTE: WIKIPÉDIA

A transição para jogos que ofereciam um modo para um jogador com inimigos controlados pelo sistema começou a materializar-se na década de 1970. Em 1974, surgiram nos arcades alguns dos primeiros exemplos notáveis: *Speed Race*, e dois títulos da Atari, *Qwak*, um jogo de tiro ao pato com *light gun*, e *Pursuit*, um simulador de combate aéreo. Paralelamente, no universo dos computadores, jogos baseados em texto como *Star Trek* (1971) e *Hunt the Wumpus* (1973) também introduziram a figura do inimigo controlado por IA. Nestas primeiras implementações, o movimento dos inimigos era tipicamente regido por padrões pré-armazenados na memória. A incorporação posterior de microprocessadores representou um avanço significativo, permitindo maior capacidade computacional e a introdução de elementos de aleatoriedade que se sobrepunham a esses padrões de movimento, tornando o comportamento dos inimigos um pouco menos previsível, porém ainda havia uma longa etapa a se alcançar.

A conceptualização da IA para jogos traz esforços iniciais focados em replicar a capacidade humana em jogos de estratégia clássicos. Os videogames, mais tarde, forneceram uma nova e vibrante plataforma interativa para a aplicação e desenvolvimento destas ideias. A IA nos primeiros videogames com inimigos era, na sua essência, uma forma de automação baseada em *scripts* ou padrões simples. O objetivo era criar obstáculos que fossem, na maioria das vezes, previsíveis e contornáveis, uma consequência direta das severas limitações de hardware e software da época. O

comportamento não era adaptativo ou inteligente no sentido moderno, mas sim uma sequência de ações predefinidas, desenhadas para criar um desafio consistente dentro das capacidades tecnológicas disponíveis. A passagem de jogos puramente multijogador para experiências *single-player* com oponentes controlados pelo computador foi um desenvolvimento crucial, estabelecendo a IA como um componente esperado e, progressivamente, integral do design de videogames, expandindo enormemente as possibilidades criativas e de jogabilidade.

2.3 Avançando: Novos Desafios

As décadas de 1980 e 1990 testemunharam uma maturação progressiva da Inteligência Artificial nos videogames, impulsionada, tanto pela evolução do hardware, quanto pela emergência de novos gêneros que exigiam soluções de IA mais robustas. Neste período, a IA começou a expandir o seu papel para além da simples criação de adversários, e os desenvolvedores começaram a adotar ferramentas mais formais para a sua concepção.

Nos *Role-Playing Games* (RPGs), a IA começou a ser utilizada não apenas para controlar inimigos, mas também para controlar o comportamento de personagens aliados. Um exemplo notável é *First Queen* (1988), um RPG de ação tático que permitia que personagens não diretamente controlados pelo jogador fossem geridos pela IA do computador, seguindo as ordens do líder do grupo. Esta funcionalidade libertava o jogador do controle de todos os membros da partida, permitindo um foco maior na estratégia geral. Indo mais além, o influente RPG *Dragon Quest IV* (1990) introduziu um sistema inovador de "Táticas". (FIGURA 2)

FIGURA 2 – POSTER DRAGON QUEST IV



FONTE: NINTENDO BLAST

Este sistema conferia ao jogador a capacidade de ajustar as rotinas de IA dos seus companheiros de equipe durante as batalhas, escolhendo entre diferentes estilos de comportamento (por exemplo, focar no ataque, priorizar a cura, conservar magia). Este foi um passo significativo, pois transferia um grau de controle sobre a IA para o jogador, aumentando a profundidade tática. Este conceito de IA personalizável para companheiros foi posteriormente adotado e popularizado no gênero de RPG de ação por jogos como *Secret of Mana* (1993). A IA, assim, transcendia o papel de simples adversário para se tornar uma ferramenta de gestão de companheiros e sistemas de jogo, com os jogadores a ganharem um controle mais tático sobre o seu comportamento.

O surgimento de novos e mais complexos gêneros de jogos durante os anos 90, como os jogos de estratégia em tempo real (RTS) e os *first-person shooters* (FPS), impulsionou a adoção de ferramentas formais de IA. Entre estas, as máquinas de estados finitos (*Finite-State Machines* - FSMs) tornaram-se particularmente proeminentes. “Uma máquina de estado finita é uma máquina abstrata que define os estados em que um personagem pode se encontrar e quando o mesmo muda de estado. O estado atual da máquina determina como o personagem deve atuar no jogo.” (KISHIMOTO, 2004). As FSMs permitiam aos desenvolvedores modelar o comportamento de um NPC através de um conjunto de estados distintos (por exemplo, "patrulhando", "investigando um som",

"atacando o inimigo", "fugindo") e definir as condições específicas (eventos ou *inputs*) que desencadeariam transições entre esses estados. Esta abordagem representou uma formalização e estruturação no desenvolvimento de IA, possibilitando comportamentos mais complexos, reativos e gerenciáveis do que os padrões de movimento puramente *hardcoded* ou os *scripts* simples das eras anteriores. Em vez de apenas seguir um caminho predefinido, um NPC poderia agora exibir uma gama mais rica de reações ao seu ambiente e às ações do jogador.

Os jogos de Estratégia em Tempo Real, em particular, colocaram enormes desafios à IA. Estes jogos exigiam que a IA gerisse múltiplos objetos simultaneamente (unidades e inimigos), resolvesse complexos problemas de encontrar caminhos para grandes grupos de unidades em mapas dinâmicos, tomasse decisões estratégicas e táticas em tempo real, e gerisse uma economia de recursos. Os primeiros jogos do gênero lutaram para lidar com esta complexidade. *Herzog Zwei* (1989), por exemplo, sofria com um *pathfinding* quase disfuncional e utilizava FSMs muito básicas, com apenas três estados, para o controle das unidades. Similarmente, em *Dune II* (1992), um dos jogos que popularizou o gênero RTS, as unidades inimigas frequentemente atacavam a base do jogador em linha reta, ignorando obstáculos ou rotas mais eficientes, e a IA recorria a algumas trapaças – vantagens não disponíveis ao jogador, como recursos extra ou tempos de construção mais rápidos – para compensar as suas deficiências estratégicas e táticas. No entanto, estes desafios iniciais atuaram como um catalisador para a inovação. A emergência de gêneros mais complexos como o RTS expôs as limitações das abordagens de IA existentes e forçou os desenvolvedores a procurar soluções mais robustas, impulsionando a pesquisa e o desenvolvimento em áreas como *pathfinding* em larga escala, planeamento e tomada de decisão sob incerteza. Jogos de RTS posteriores acabariam por exibir IAs significativamente mais sofisticadas.

No domínio dos FPS, *Half-Life* (1998) destacou-se pela sua IA de esquadrão inovadora, particularmente no que diz respeito ao comportamento dos HECU (*Hazardous Environment Combat Unit*) *Marines*. Embora, tecnicamente, não houvesse uma comunicação complexa ou planeamento coordenado em tempo real entre os membros individuais do esquadrão inimigo, o jogo utilizava um sistema de "*schedules*". Estes *schedules* eram essencialmente sequências predefinidas de tarefas ou comportamentos (como avançar, procurar cobertura, lançar granadas, flanquear) que os *Marines* podiam executar. A seleção e execução destes *schedules*, combinadas com um

design de som extremamente eficaz (com os *Marines* gritando ordens e se comunicando) e um *design* de níveis inteligente (com o posicionamento cuidadoso de obstáculos e pontos de cobertura), criavam uma forte ilusão de táticas de esquadrão coordenadas e inteligentes. Os *Marines* pareciam flanquear o jogador, usar cobertura de forma eficaz e suprimir o fogo, tornando os encontros de combate dinâmicos e desafiadores. A IA de *Half-Life*, mesmo com as suas "limitações" subjacentes, estabeleceu um novo padrão de credibilidade para o comportamento de inimigos em FPS. Demonstrou como um *design* inteligente de sistemas de IA, em sinergia com outros elementos do jogo, podia criar uma experiência altamente imersiva e memorável, reforçando a ideia de que a "ilusão de inteligência" continuava a ser um princípio de *design* poderoso e influente.

2.4 Rumo à Sofisticação (Anos 2000)

A virada do milênio marcou uma nova fase de sofisticação para a Inteligência Artificial nos videogames, com os desenvolvedores a explorarem técnicas mais avançadas para criar comportamentos de NPC mais creíveis, experiências de jogo mais dinâmicas e narrativas que pudessem emergir das interações do jogador. Este período viu o surgimento de sistemas de IA que não apenas controlavam entidades individuais, mas também geriam ativamente a experiência do jogador e criavam ecossistemas de personagens dinâmicos.

Uma das inovações mais significativas foi o Planejamento Orientado a Objetivos (*Goal-Oriented Action Planning* - GOAP). Desenvolvido por Jeff Orkin no início dos anos 2000, o GOAP foi notoriamente implementado no jogo de tiro em primeira pessoa F.E.A.R., lançado em 2005. O GOAP é uma técnica de IA flexível que permite a um NPC (referido como "agente" no contexto do GOAP) determinar de forma autônoma qual é o melhor objetivo a ser alcançado num determinado momento e, crucialmente, como construir uma sequência de ações para atingir esse objetivo. O sistema opera com base em vários componentes chave: o "Estado" do mundo (uma representação das condições atuais do ambiente de jogo relevantes para o agente), os "Agentes" (os NPCs que utilizam o GOAP), os "Objetivos" (as metas que os agentes tentam alcançar, como "eliminar o jogador" ou "encontrar cobertura"), as "ações" (comportamentos discretos que os agentes podem executar, cada uma com pré-condições para a sua execução, efeitos que alteram o estado do mundo, e um custo associado) e o "Planejador" (o algoritmo que analisa os

objetivos disponíveis, o estado atual do mundo e as ações possíveis, construindo um plano – uma sequência de ações – para atingir o objetivo selecionado da forma mais eficiente). Em *F.E.A.R.*, o GOAP permitiu que os inimigos exibissem comportamentos táticos notavelmente emergentes e perceptíveis. Eles eram capazes de flanquear o jogador, utilizar cobertura de forma inteligente, comunicar entre si, lançar granadas para desalojar o jogador, e reagir dinamicamente às mudanças no ambiente e às táticas do jogador. Esta IA contribuiu significativamente para a aclamação do jogo, oferecendo uma experiência de combate intensa e imprevisível que ainda hoje é frequentemente citada como um exemplo de excelência em IA para FPS.

Outro avanço paradigmático foi o conceito de "IA Diretora" (AI Director), que se tornou proeminente com o lançamento de *Left 4 Dead* pela Valve em 2008. (FIGURA 3)

FIGURA 3 – POSTER JOGO LEFT 4 DEAD



FONTE: XBOX STORE

Diferentemente de IAs que controlam NPCs individuais, o AI Director é um sistema de meta-IA que monitoriza ativamente a experiência dos jogadores – analisando fatores como o seu nível de estresse, progresso no mapa, habilidade demonstrada e recursos disponíveis – e ajusta dinamicamente o ritmo e a intensidade do jogo. O AI Director controla o aparecimento de inimigos, tanto os comuns quanto os especiais (com habilidades únicas), a colocação de itens de cura e munição, e até mesmo o surgimento de "chefes" poderosos. O objetivo é criar "picos e vales de intensidade" na jogabilidade, alternando momentos de combate frenético com períodos de relativa calma, para evitar

que o jogo se torne consistentemente monótono ou, pelo contrário, excessivamente frustrante e implacável. Para tomar as suas decisões, o AI Director utiliza um *navigation mesh*, que é uma representação das áreas atravessáveis do mapa, e um *Active Area Set* (AAS) que rastreia as áreas próximas aos sobreviventes para direcionar o *spawning* de ameaças de forma mais eficaz e evitar que inimigos surjam diretamente à vista dos jogadores. O sistema opera através de diferentes estados, como *Build-Up* (construção de tensão), *Sustained Peak* (pico de intensidade), *Peak Fade* (diminuição da intensidade) e *Relax* (momento de descanso), para gerir a população de ameaças e o fluxo da experiência. O propósito fundamental do AI Director é fomentar uma experiência cooperativa que seja altamente rejogável e dramaticamente interessante, onde cada partida, mesmo no mesmo mapa, se sinta única e imprevisível devido às intervenções dinâmicas da IA.

Ainda nesta era de crescente sofisticação, surgiu o *Nemesis System*, um dos pilares dos jogos *Middle-earth: Shadow of Mordor* (2014) e da sua sequência, *Middle-earth: Shadow of War* (2017). Este sistema gera proceduralmente inimigos Uruk únicos – Capitães e *Warchiefs* – cada um com nomes, personalidades, pontos fortes, fraquezas e aparências visuais distintas (FIGURA 4).

FIGURA 4 – CRIAÇÃO DE UM URUK



FONTE: GIANT BOMB

A mecânica central do *Nemesis System* reside na sua capacidade de criar narrativas emergentes e personalizadas: se um destes inimigos Uruk consegue derrotar o

jogador, ele é promovido na hierarquia do exército de “Sauron”, tornando-se mais poderoso. Mais importante ainda, este passa a lembrar de encontros anteriores com o jogador, podendo referir-se a batalhas passadas, criando assim mini chefes personalizados e fomentando verdadeiras batalhas pessoais entre o jogador e os seus inimigos. Os Uruks dentro do Nemesis System não são estáticos; eles têm as suas próprias missões (como caçadas, duelos por poder, recrutamentos), desenvolvem rivalidades entre si e podem subir ou cair na hierarquia militar independentemente das ações diretas do jogador, criando um ecossistema social e político dinâmico dentro do mundo do jogo. O design do Nemesis System foi, segundo os seus criadores, influenciado pela Teoria da Autodeterminação, uma teoria psicológica que postula que os seres humanos têm necessidades fundamentais de competência (sentir-se eficaz), autonomia (sentir controlo sobre as suas ações) e relacionamento (sentir-se conectado a outros). O sistema visava satisfazer estas necessidades através da sua jogabilidade emergente e personalizada.

2.5 Um mundo novo: IAs generativas e aprendizado de máquina

A era contemporânea da Inteligência Artificial em videogames é caracterizada pela crescente integração de Aprendizado de Máquina (*Machine Learning* - ML) e, mais recentemente, pelo impacto transformador da Inteligência Artificial Generativa (*Generative AI* - GenAI). Estas tecnologias estão redefinindo não apenas o comportamento dos NPCs, mas também a forma como os jogos são criados, como as experiências são personalizadas e como as narrativas são contadas.

O Aprendizado de Máquina encontrou uma vasta gama de aplicações no desenvolvimento de jogos. É utilizado para aprimorar o controle de NPCs, tornando-os mais adaptáveis e realistas; para potenciar a Geração Processual de Conteúdo (PCG), permitindo a criação de mundos e elementos de jogo mais variados e complexos; para a geração de conteúdo baseada em aprendizado profundo; para analisar o comportamento do jogador com vista a otimizar o balanceamento da dificuldade e personalizar a experiência; e até mesmo como uma ferramenta para auxiliar na criação artística e na deteção automática de bugs, embora seja de mais difícil execução.

Diversos tipos de ML são empregados. Dentre eles, temos:

- **Redes Neurais Artificiais (ANNs):** Já foram utilizadas em jogos como *Planetary Annihilation* e *Supreme Commander 2* para controlar o comportamento das unidades.
- **Aprendizado Profundo (*Deep Learning*):** Um subconjunto do ML que utiliza ANNs com múltiplas camadas para aprender representações complexas de dados.
 - **Redes Neurais Convolucionais (CNNs):** Especializadas na análise de dados visuais, as CNNs permitem que sistemas de IA joguem com base no *input* visual da tela, como demonstrado em pesquisas com jogos como *Doom* e *Super Mario Bros.*.
 - **Redes Neurais Recorrentes (RNNs) e *Long Short-Term Memory* (LSTMs):** Projetadas para processar sequências de dados, são cruciais para tarefas que dependem de ordem temporal e memória de longo prazo. As LSTMs, em particular, superaram limitações de memória de RNNs mais simples e foram fundamentais no desenvolvimento de agentes de aprendizado profundo de alto desempenho em jogos.
- **Aprendizado por Reforço (*Reinforcement Learning* - RL):** Nesta abordagem, os agentes de IA são treinados através de um sistema de recompensas e/ou punições, aprendendo por tentativa e erro a otimizar as suas ações para alcançar objetivos. O RL tem sido aplicado com sucesso em diversas técnicas como Q-learning e Deep Q-Networks, demonstrando forte desempenho tanto em jogos quanto em robótica.

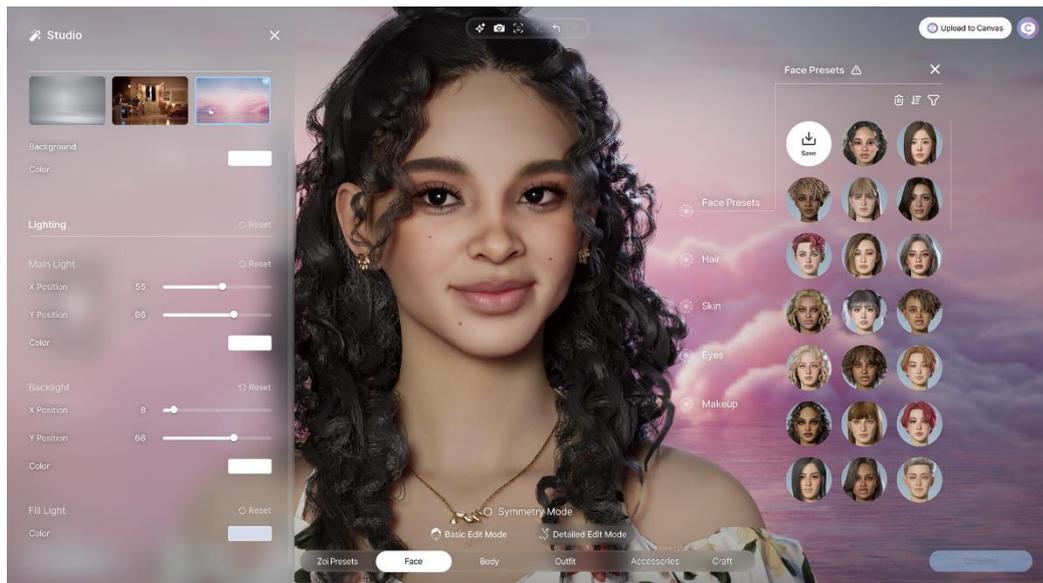
Paralelamente ao ML, a Inteligência Artificial Generativa (GenAI) emergiu como uma força ainda mais disruptiva, prometendo transformar jogos de experiências estáticas em "jogos vivos" – sistemas que se adaptam, crescem e evoluem dinamicamente, criando conteúdo em tempo real com base nas interações do jogador. A GenAI está capacitando os desenvolvedores a criar novos conteúdos – desde ideias iniciais e arte conceitual até diálogos, itens e mundos inteiros – de forma mais rápida e eficiente, o que é crucial num contexto de custos de desenvolvimento crescentes. Esta tecnologia liberta as equipes de desenvolvimento para se concentrarem nos desafios criativos e técnicos mais complexos.

Os Modelos de Linguagem Grandes (*Large Language Models* - LLMs) são uma componente chave da GenAI que está revolucionando a interação com NPCs. Em vez das tradicionais árvores de diálogo estáticas e pré-escritas, os LLMs permitem conversas

naturais, não-roteirizadas e contextualmente conscientes. Os NPCs podem agora "lembrar" de interações passadas com o jogador e responder de forma relevante e personalizada, como demonstrado pelo mod Mantella AI para *Skyrim*, que integra tecnologias como ChatGPT, Whisper (para reconhecimento de fala) e xVASynth (para síntese de voz). A arquitetura de um sistema de NPC baseado em LLM geralmente envolve a coleta de contexto do jogo (estado do jogador, memória do NPC, histórico de diálogo), a construção de um *prompt* detalhado para o LLM, a geração da resposta pelo modelo e, subsequentemente, a atualização do estado do mundo do jogo e da memória do NPC para refletir a interação. Apesar do seu enorme potencial, os LLMs ainda enfrentam desafios, como uma consciência de contexto limitada a longo prazo e a tendência para gerar diálogos genéricos se não forem cuidadosamente guiados e o seu *output* curado por humanos.

Além do diálogo, a GenAI está sendo aplicada na geração de ativos 3D e mundos de jogo. Ferramentas como as desenvolvidas pela *Common Sense Machines* (CSM.ai) podem criar ativos 3D prontos para uso em jogos a partir de simples descrições de texto ou imagens. No campo do áudio, empresas como a ElevenLabs utilizam GenAI para criar vozes de personagens realistas, traduzir diálogos rapidamente e gerar efeitos sonoros únicos, aumentando a imersão e a eficiência. Várias empresas de jogos e tecnologia estão a liderar esta transformação: a Capcom utiliza Vertex AI e Gemini do Google Cloud para gerar ideias para itens e ambientes, e a *Series Entertainment* reportou uma redução de 90% no tempo de desenvolvimento ao usar a IA do Google Cloud. O jogo *InZOI* é um exemplo de título que utiliza GenAI para permitir aos jogadores gerarem objetos 3D a partir de imagens 2D. (FIGURA 5)

FIGURA 5 – CRIAÇÃO DE PERSONAGEM INZOI



FONTE: STEAM

2.6 Panorama atual e futuro das IAs em Videogames

O panorama atual da Inteligência Artificial em video é um campo extasiante e em rápida evolução, impulsionado principalmente pelos avanços em Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial Generativa. As tendências dominantes apontam para um futuro em que as experiências de jogo serão cada vez mais dinâmicas, personalizadas e imersivas.

Uma das tendências mais visíveis é a busca contínua por NPCs mais inteligentes e críveis. Vemos um movimento de afastamento das tradicionais caixas de diálogo estáticas em direção a interações conversacionais dinâmicas e contextuais, possibilitadas em grande parte pelos Modelos de Linguagem Grandes (LLMs). Estes modelos permitem que os NPCs mantenham conversas mais naturais e recordem interações passadas, adaptando as suas respostas de acordo. Paralelamente, o Aprendizado de Máquina contribui para comportamentos de NPC mais adaptativos, capazes de aprender com as ações do jogador e com o ambiente.

A jogabilidade adaptativa e personalizada é outra área de grande foco. Sistemas de IA, como os AI Directors de *Left 4 Dead* e outros mecanismos baseados em ML, estão sendo desenvolvidos para ajustar dinamicamente a dificuldade do jogo, o tipo de conteúdo apresentado e até mesmo elementos narrativos com base no estilo de jogo, habilidade e preferências do jogador. O objetivo é manter o jogador num estado de

"fluxo" ótimo, desafiando-o sem frustrá-lo excessivamente e oferecendo uma experiência que se sente justa.

Apesar destes avanços promissores, a IA em videogames enfrenta desafios significativos. A implementação de IA de ponta pode ser cara e requer conhecimento especializado, aumentando a complexidade do desenvolvimento. Gerir as expectativas dos jogadores sobre o quão "inteligente" ou "consciente" a IA realmente é continua sendo um desafio; existe sempre o perigo de se cair no "vale da estranheza" comportamental, onde NPCs que parecem quase humanos, mas falham de formas subtis, podem quebrar a imersão.

Questões éticas também chamam a atenção. A utilização de dados do jogador para treinar IAs personalizadas levanta preocupações sobre privacidade em um mundo que já é extremamente controlado. O potencial para manipulação do jogador através de sistemas de IA altamente adaptativos é uma área que necessita de muito cuidado. A autoria e a propriedade intelectual de conteúdo gerado por IA são questões legais e criativas complexas ainda por resolver. Adicionalmente, o impacto da automação proporcionada pela IA no trabalho de criadores humanos, como escritores e artistas, é uma preocupação crescente na indústria. Do ponto de vista técnico, os LLMs ainda podem apresentar limitações na sua consciência de contexto a longo prazo ou produzir resultados genéricos que necessitam de curadoria humana extensiva. Além disso, muitos algoritmos de ML requerem grandes e dispendiosos conjuntos de dados para treino eficaz.

Olhando para o futuro, as perspectivas para a IA em videogames são transformadoras. A IA está cada vez mais sendo vista não apenas como uma ferramenta, mas como uma potencial cocriadora no processo de desenvolvimento, capaz de gerar mundos, personagens e narrativas que podem surpreender até os seus próprios programadores. A promessa de experiências personalizadas, onde os jogos se moldam de forma única a cada jogador, oferecendo narrativas e desafios verdadeiramente individuais, está cada vez mais próxima da realidade. Podemos antecipar NPCs com uma capacidade de desenvolver relacionamentos profundos e memoráveis com o jogador, transcendendo o seu papel tradicional de meros figurantes ou adversários. É também provável que a IA possibilite o surgimento de géneros de jogos completamente novos (embora seja um tópico mais sensível) e formas de interação que atualmente não são tecnicamente viáveis ou sequer imaginadas.

O futuro da IA em jogos provavelmente envolverá uma convergência de diferentes técnicas. Em vez de uma única abordagem dominar, é mais provável que sistemas híbridos, combinando a robustez dos sistemas baseados em regras (como o GOAP para planeamento de NPCs), a capacidade de aprendizagem do ML (para adaptação e reconhecimento de padrões) e o poder criativo da GenAI (para geração de conteúdo e diálogo), trabalhem em conjunto para criar experiências ricas e multifacetadas. Nenhuma técnica isolada é capaz de gerir tudo. É a sinergia entre elas que produzirá, muito provavelmente, os resultados mais inovadores e impactantes.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A jornada da Inteligência Artificial nos videogames revela uma notável evolução. Partimos de padrões de comportamento simples, como os das naves de *Spacewar!*, para sistemas complexos que gerenciam a experiência do jogador e criam narrativas emergentes, como o *Nemesis System*. O objetivo central sempre foi aprofundar a imersão e a reatividade do mundo do jogo. Atualmente, a IA generativa (GenAI) e o aprendizado de máquina são aliados fundamentais, atuando em múltiplas frentes. Por um lado, estão otimizando o desenvolvimento de maneiras sem precedentes.

Ferramentas como *Midjourney* e *Leonardo.ai* permitem a geração acelerada de *assets* visuais, como arte conceitual e texturas, reduzindo custos e democratizando o acesso a visuais de alta qualidade para desenvolvedores independentes. Ao mesmo tempo, co-pilotos de IA como o GitHub Copilot auxiliam programadores a escrever e depurar código com mais agilidade, acelerando a prototipagem de mecânicas. (FIGURA 6)

FIGURA 6 - MICROSOFT COPILOT



FONTE: MICROSOFT SUPPORT

Por outro lado, a GenAI está redefinindo a própria jogabilidade ao possibilitar a criação de conteúdo dinâmico. Com o uso de Modelos de Linguagem Grandes (LLMs), plataformas como a Inworld AI viabilizam Personagens Não-Jogadores (NPCs) com diálogos que reagem de forma única e não-roteirizada às ações do jogador, permitindo que narrativas e missões surjam organicamente. O futuro promete mundos vivos e dinâmicos, mas para que essa aliança prospere, é crucial superar os desafios técnicos e, principalmente, os éticos. A geração de arte enfrenta a dificuldade de manter a consistência de estilo e, mais gravemente, uma profunda incerteza jurídica sobre direitos autorais, dado que muitos modelos são treinados com dados obtidos sem o consentimento dos artistas originais. A assistência de código, por sua vez, introduz riscos severos de segurança, pois o código gerado pode conter vulnerabilidades, usar bibliotecas desatualizadas e comprometer a manutenção do projeto a longo prazo. Já as narrativas emergentes precisam de mecanismos robustos para garantir a coerência e evitar que a IA gere conteúdo sem sentido que quebre a imersão. Portanto, o sucesso dessa nova era dependerá da nossa capacidade de usar a GenAI como uma ferramenta de empoderamento, onde a visão e a curadoria humana guiam a potência da máquina, equilibrando inovação com responsabilidade. (FIGURA 7)

FIGURA 7 – CONCEITO DE LLM



FONTE: INFOR CHANNEL

3.1 Sugestões de trabalhos futuros

Com o desenvolvimento deste projeto, surgem novas oportunidades para estudos futuros de Modelos de Linguagem Grandes (LLMs) e o Processamento de Linguagem Natural (NLP). Esses métodos continuam a evoluir rapidamente, abrindo novas fronteiras para pesquisa. As sugestões seguintes delineiam trabalhos futuros promissores, com exemplos práticos e escopos de estudo inovadores, visando inspirar investigações que avancem o estado da arte e gerem impacto significativo.

- **Raciocínio Causal em LLMs para Decisões Críticas:** Este tópico discute a necessidade de desenvolver Modelos de Linguagem Grandes (LLMs) que possam ir além da simples correlação de dados e realizar um raciocínio causal mais profundo. A sugestão é integrar mecanismos de inferência causal para melhorar a tomada de decisão em áreas críticas, como o diagnóstico médico, e explorar a fusão com abordagens neuro-simbólicas para maior robustez e interpretabilidade.

- **IA Corpórea para Aprendizado Interativo e Adaptável:** Aborda o potencial da Inteligência Artificial Corpórea, onde agentes de IA aprendem interagindo com ambientes físicos ou simulados realistas. O foco é treinar robôs em simulações avançadas para realizar tarefas complexas, utilizando a linguagem como um componente chave para acelerar o aprendizado e permitir uma comunicação mais natural com humanos.
- **LLMs Multimodais contra Desinformação Avançada:** Este ponto trata da criação de sistemas baseados em LLMs multimodais para combater a desinformação sofisticada, como *deepfakes*, que combinam texto, imagem e áudio. A ideia é que esses sistemas possam analisar informações de múltiplas fontes e modalidades para detectar inconsistências e falsidades, auxiliando na verificação de fatos.

BIBLIOGRAFIA

nips.cc/virtual/2024/poster/96872

direct.mit.edu/coli/article/doi/10.1162/coli_a_00548/127461/Eliciting-and-Improving-the-Causal-Reasoning

www.spglobal.com/en/research-insights/special-reports/causal-ai-how-cause-and-effect-will-change-artificial-intelligence

www.frontiersin.org/journals/artificial-intelligence/articles/10.3389/frai.2025.1504805/full

spiral.imperial.ac.uk/server/api/core/bitstreams/4aff92d3-5de3-4f11-a9a6-8269ffe76e20/content

digitalcommons.lindenwood.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1610&context=faculty-research-papers

www.lamarr-institute.org/blog/embodied-ai-explained/

machinelearning.apple.com/research/generalist-embodied-agents

ai.meta.com/blog/open-sourcing-ai-habitat-a-simulation-platform-for-embodied-ai-research/

openaccess.thecvf.com/content/CVPR2025/papers/Lee_DynScene_Scalable_Generation_of_Dynamic_Robotic_Manipulation_Scenes_for_Embodied_CVPR_2025_paper.pdf

aclanthology.org/2024.emnlp-main.237.pdf

www.fundacionbankinter.org/en/noticias/embodied-ai-the-artificial-intelligence-that-learns-from-us/

www.engineering.columbia.edu/about/news/what-embodied-ai-means-discovery-and-humanity

<https://arxiv.org/html/2506.03613v1>

<https://arxiv.org/html/2506.03613v1>

<https://arxiv.org/html/2503.05565v1>

www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2104235118

www.medrxiv.org/content/10.1101/2025.05.22.25327931v1

openreview.net/forum?id=c9f8LmRgnD#discussion
www.chapman.edu/ai/bias-in-ai.aspx

www.sap.com/blogs/how-ai-can-end-bias

www.ruder.io/4-biggest-open-problems-in-nlp/

www.analyticsvidhya.com/blog/2024/12/top-open-source-models-on-hugging-face/

fiocruz.br/en/news/2025/03/fiocruz-launches-worlds-first-ai-registration-clinical-trials

www.icfj.org/news/disarming-disinformation-amazon-high-risk-deep-listening

<https://support.microsoft.com/pt-br/topic/introdu%C3%A7%C3%A3o-ao-microsoft-copilot-8fde147f-726e-4790-9503-70790ddcac73>

<https://inforchannel.com.br/2024/06/15/llm-redefine-experiencias-para-telcos/>

<https://www.nintendoblast.com.br/2023/12/analogico-importancia-dragon-quest-iv-rpgs.html>

https://store.steampowered.com/app/2456740/inZOI/?l=brazilian&curator_clanid=45247890

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/30284526/andre_kishimoto-libre.pdf?1390882941=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DInteligencia_Artificial_em_Jogos_Eletron.pdf&Expires=1750457174&Signature=K0dZ4U58vFMciP-JI~yn6EPiUWbIQuc9xCUaHV0NiyLZcatsG-d~31hwpBO~Ov~SkqTMm4gdSGWSPAbwLSvZj7t9GL8kaAmyJepDqfwy0NY8JybPf6EKmRkg2NtnsMWqWUXJNqDSR1cj-zo9w fqOcitFMJe74R1W0hwy3hq1VijlATidJ1FomdOi1uybdNpt~bmqUYor0SxJRISvrnXeZ~Quga7HDFp4NVZho4rWK5oU5ZhEhAt9fqGsFiPKAhcfmiUe7OHAQxTZ2-BIuHflr~77UBUa61Cxil5Lpl0Of~vX5pJUvQDRxGBwYWMIvcgNMsZPPq4qKNLF24aPHOdjzg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

https://dwulff.github.io/_Goodchoices/Literature/Von%20NeumannMorgens tern1944TheoryOfGamesAndEconomicBehaviour.pdf



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
GABINETE DO REITOR

Av. Universitária, 1069 • Setor Universitário
Caixa Postal 86 • CEP 74605-010
Goiânia • Goiás • Brasil
Fone: (62) 3946.1000
www.pucgoias.edu.br • reitoria@pucgoias.edu.br

RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O estudante Ronnan Werneck Costa Rodrigues do Curso de Ciência da Computação matrícula 20201002800187, telefone: 62 99994-7544 e-mail 20201002800187@pucgo.edu.br, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado Inteligência Artificial no futuro dos videogames: como torná-la aliada ao invés de vilã no contexto de jogos online, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto(PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 04 de abril de 2024.

Assinatura do autor: _____

Nome completo do autor: Ronnan Werneck Costa Rodrigues

Assinatura do professor-orientador: _____

Nome completo do professor-orientador: Gustavo Siqueira Vinhal