

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO PARÁ - CESUPA
ESCOLA DE NEGÓCIOS, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - ARGO
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

LUAN GUSTAVO CALDEIRA RODRIGUES
LUIZ RICARDO BRAGANÇA DA SILVA

**UM ESTUDO SOBRE A EVOLUÇÃO DA COMPUTAÇÃO GRÁFICA NOS JOGOS
ELETRÔNICOS**

BELÉM
2022

LUAN GUSTAVO CALDEIRA RODRIGUES

LUIZ RICARDO BRAGANÇA DA SILVA

**UM ESTUDO SOBRE A EVOLUÇÃO DA COMPUTAÇÃO GRÁFICA NOS JOGOS
ELETRÔNICOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Negócios, Tecnologia e Inovação do Centro Universitário do Estado do Pará como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação na modalidade ARTIGO.

Orientador(a): Me. Pedro Henrique Sales Giroto

BELÉM

2022

LUAN GUSTAVO CALDEIRA RODRIGUES
LUIZ RICARDO BRAGANÇA DA SILVA

**UM ESTUDO SOBRE A EVOLUÇÃO DA COMPUTAÇÃO GRÁFICA NOS JOGOS
ELETRÔNICOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Negócios, Tecnologia e Inovação do Centro Universitário do Estado do Pará como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação na modalidade ARTIGO.

Data da aprovação: 22 / 12 / 2022

Nota final aluno(a) I: 7,0

Nota final aluno(a) II: 7,0

Banca examinadora

Prof. Me. Pedro Giroto
Orientador e Presidente da banca

Prof. Me. Fábio Araújo
Examinador interno

Dedicamos este trabalho ao nosso orientador, sem o qual não teríamos concluído essa difícil tarefa, e aos nossos queridos amigos que nos acompanharam e apoiaram durante essa árdua jornada.

AGRADECIMENTOS

Em especial, ao nosso professor e orientador Pedro Giroto, por nos ter orientado e ter desempenhado tal função com dedicação, competência, profissionalismo e amizade.

A coordenadora Alessandra Baganha e aos professores, por todos os conselhos, pela ajuda e pelos ensinamentos, que nos permitiram apresentar, sempre, um melhor desempenho no nosso processo de formação profissional ao longo do curso.

A todos nossos amigos e familiares, que sempre estiveram ao nosso lado, por todo o apoio e ajuda, e que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

E por fim, a todos aqueles que se fizeram presentes, de alguma forma, para a conquista da jornada percorrida.

RESUMO

A computação gráfica se encontra presente nas mais diversas áreas de atuação, por exemplo na saúde, educação, meios cinematográficos e até mesmo nos jogos. Mesmo esse último sendo um dos campos que sofreu maior influência ao longo dos anos, ainda existe pouco material que relaciona ambos, apresentando de forma sucinta as principais melhorias e quais os jogos desenvolvidos que mais se beneficiaram. Recentemente, a computação gráfica vem recebendo cada vez mais atenção, graças aos seus enormes números referentes ao capital gerado e a sua popularização. A partir desse ponto, com o aumento das buscas sobre jogos eletrônicos e suas tecnologias, a síntese de informações se faz necessária, para facilitar acesso à informação e acompanhamento. Em decorrência disso, esse artigo visa o levantamento de dados através de repositórios acadêmicos, livros e artigos científicos, com o intuito de sintetizar informações na forma de uma cronografia que apresenta as principais contribuições e impactos da computação gráfica na indústria dos jogos eletrônicos. Dessa maneira, a fim de definir suas limitações, principais avanços e como vieram a ocorrer.

Palavras-chave: Computação Gráfica; Jogos; Cronologia; Impactos.

ABSTRACT

Computer graphics are present in the most diverse areas of activity, for example, in health, education, cinematographic means, and even in games. Even though the latter is one of the fields that has suffered the most significant influence over the years, few material link both, succinctly presenting the main improvements and which games were developed that benefited the most. Recently, computer graphics have been receiving more and more attention due to their vast numbers referring to the generated capital and its popularization. With the increase in searches on electronic games and their technologies, the synthesis of information becomes necessary, to facilitate access to information and follow-up. As a result, this article aims to collect data through academic repositories, books, and scientific articles in order to synthesize information in the form of a chronograph, which presents the main contributions and impacts of computer graphics in the games industry. In this way, in order to define its limitations, main advances, and how they came to be.

Palavras-chave: computer graphics; Video games; chronology; Impacts

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Aproximação por Métodos dos Elementos Finitos na <i>Radiosity</i> | 12 |
| Figura 2 - Dados relacionados ao mercado de jogos | 21 |
| Figura 3 - Dados relacionados ao mercado da CG | 21 |
| Figura 4 - Jogabilidade de Pong | 21 |
| Figura 5 - Jogabilidade de Zork | 21 |
| Figura 6 - Influência da distância no tamanho das sprites em Radar Scope | 22 |
| Figura 7 - Jogabilidade de Pitfall | 22 |
| Figura 8 - Jogabilidade de Super Mario Bros | 23 |
| Figura 9 - Maior variedade de cores nos cenários de Castlevania | 24 |
| Figura 10 - Utilização do Cenário Modular no Contra | 24 |
| Figura 11 - Utilização de <i>Rotoscope Animation</i> no Prince of Persia | 25 |
| Figura 12 - Divisão da tela em diferentes camadas em Sonic | 26 |
| Figura 13 - Visão Isométrica no Landstalker | 26 |
| Figura 14 - Utilização de <i>Digitized Sprites</i> no Mortal Kombat | 27 |
| Figura 15 - Demonstração do uso do <i>Ray Casting</i> no Wolfenstein 3D | 28 |
| Figura 16 - Gráficos de Myst | 28 |
| Figura 17 - Presença de gráficos 2.5D em Donkey Kong | 29 |
| Figura 18 - Gráficos poligonais do Super Mario 64 | 30 |
| Figura 19 - Transições do Zelda Ocarina of Time | 30 |
| Figura 20 - Maior detalhamento nas texturas de Unreal | 31 |
| Figura 21 - Perspectiva cinematográfica e uso da névoa em Silent Hill | 32 |
| Figura 22 - Maior distância de renderização de áreas abertas no Majora's Mask | 32 |
| Figura 23 - Efeito da iluminação dinâmica na visão isométrica do Dark Alliance | 33 |
| Figura 24 - Utilização de <i>Cel Shading</i> no Zelda: Wind Waker | 34 |
| Figura 25 - Cenários extremamente detalhados de RE:0 | 34 |
| Figura 26 - Demonstração do sombreado em tempo real de Doom 3 | 35 |
| Figura 27 - Utilização de <i>Motion Capture</i> para renderizar expressões faciais no GTA IV | 35 |
| Figura 28 - Diferentes texturas e superfícies exibidas em RDR | 36 |
| Figura 29 - Utilização de <i>Deferred Shading</i> e <i>Radiosity</i> em BF3 | 37 |
| Figura 30 - <i>MotionScan</i> utilizado na reprodução de rostos em L.A Noire | 37 |
| Figura 31 - Otimização na renderização de amplos cenários de GTA V | 38 |
| Figura 32 - Efeitos de pós-processamento em The Witcher 3 | 39 |
| Figura 33 - Comparativo entre a resolução original e resolução escalonada em 4X | 39 |
| Figura 34 - Utilização de Lumen em The Matrix Awakens | 40 |
| Figura 35 - Aplicação de filtros no GTA V | 41 |
| Figura 36 - Fluxograma temporal | 42 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Relação da pesquisa. | 19 |
| Tabela 2 - Relação da pesquisa específica. | 20 |

SUMÁRIO

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| 1 CONTEXTUALIZAÇÃO | 11 |
| 1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 11 |
| 1.2 PROBLEMA DA PESQUISA | 16 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA | 16 |
| 1.4 OBJETIVOS | 17 |
| 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO | 17 |
| 2 ARTIGO | 18 |
| 2.1 INTRODUÇÃO | 18 |
| 2.2 METODOLOGIA DA PESQUISA | 19 |
| 2.4 Discussão | 41 |
| 2.5 CONCLUSÃO | 45 |
| 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 46 |

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.1 Revisão Bibliográfica

1.1.1 Computação Gráfica

Segundo o Vocabulário de Processamento de Dados da Organização Internacional para Padronização (ISO), o conceito de Computação Gráfica (CG) é “Métodos e técnicas para a criação, manipulação, armazenamento e exibição de representações pictóricas de objetos e dados por meio de um computador”.

De acordo com Cohen e Manssour (2006), a CG está atualmente em diversas áreas do conhecimento humano, como na engenharia civil, a partir dos programas de CAD (*Computer-Aided Design*), para realização de desenhos 2D/3D e projetos arquitetônicos. Outro exemplo está nos simuladores, no qual ajudam o treinamento para pilotagem, treinamento de cirurgias médicas complexas e de reconstituição de cena na área de direito, muitas vezes utilizando da tecnologia da Realidade Virtual (RV). E por último, a modelagem, que consiste na criação de representações de entidades e fenômenos reais na tela do computador, através das técnicas de conceitos geométricos com efeitos de textura, iluminação e animação, comumente aplicada em animações e jogos digitais.

1.1.1.1 Pixel

Em imagem digital, um *pixel* é o menor elemento endereçável em um *bitmap*, ou o menor ponto em um dispositivo de exibição endereçável de todos os pontos. Na maioria dos dispositivos de exibição digital, os *pixels* são os menores elementos que podem ser manipulados por meio de *software* (GRAF, 1999).

Cada *pixel* é uma amostra de uma imagem digital, logo o tamanho de um *pixel* não é fixo, pois para caber mais *pixels* na imagem, menor deve ser seu tamanho (maior resolução), assim gerando imagens mais nítidas e detalhadas (FOLEY *et al*, 1995).

A intensidade de cada *pixel* é variável. Em sistemas de imagem colorida, uma cor é tipicamente representada por três ou quatro intensidades de componentes, como vermelho, verde e azul, ou ciano, magenta, amarelo e preto (LYON, 2006).

1.1.1.2 Ray Tracing

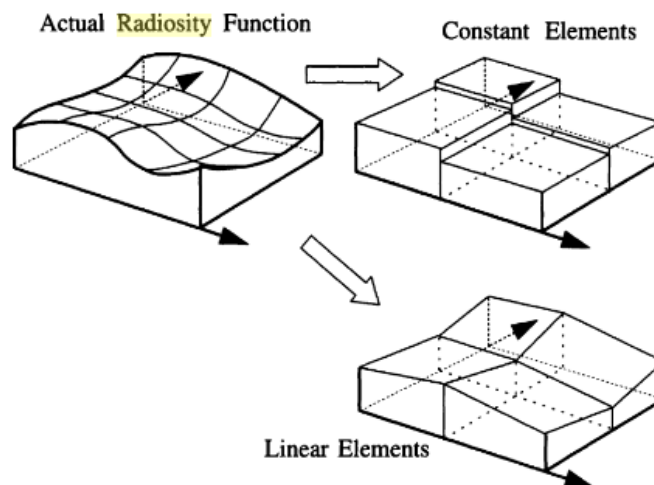
Com o objetivo de alcançar o realismo virtual, surgiu o *Ray Tracing*, uma técnica de representação de cenas mais complexas, onde supõe-se que um raio originário dos olhos do

observador cheguem até o objeto ao qual quer renderizar, resultando em imagens com cores e intensidade exatamente iguais às de uma fotografia. (HUGHES *et al.*, 2013).

1.1.1.3 Radiosity

Radiosity, ou Radiosidade, é uma técnica utilizada com intuito de melhorar os contrastes de luz e sombra, que consiste na aplicação do método de elementos finitos (Figura 1) para solucionar a equação de renderização de cenas com superfícies que refletem a luz de maneira difusa, dessa forma trazendo uma iluminação global vinda de todas as superfícies presentes que refletem a luz. (COHEN; WALLACE, 1993.).

Figura 1: Aproximação por Métodos dos Elementos Finitos na *Radiosity*



Fonte: Cohen e Wallace, 1993.

1.1.1.4 Bitmapping/Raster Graphics

Tratando-se de renderização, algumas técnicas vieram a ter papel fundamental para o desenvolvimento da CG, dentre elas temos: *BitMapping* ou *Raster Graphics* que representa uma imagem digital que utiliza de pequenos *pixels* retangulares organizados, podendo suportar grande quantidades de cores e também podendo reproduzir tons mais sutis (HUGHES *et al.*, 2013).

1.1.1.5 Texture Mapping

Texture Mapping, trata-se de um processo no qual uma superfície bidimensional, é "envolvida" em um objeto tridimensional, permitindo ao objeto 3D obter texturas de superfície

semelhantes às do plano 2D, sendo o equivalente de aplicar tinta ou verniz a um objeto real (HUGHES *et al.*, 2013).

1.1.1.6 Ray Casting

Ray Casting é um algoritmo de tratamento de imagens que mapeia superfícies e bordas ocultas de objetos e permite remover ou ignorar as arestas escondidas, dessa forma “polindo” os modelos e os tornando mais realistas (HUGHES *et al.*, 2013).

1.1.1.7 Occlusion Culling

Occlusion Culling, ou Descarte por Oclusão, é uma técnica muito utilizada para otimização, que através da exclusão de renderização de objetos que não estão visíveis pela câmera, diminuindo a carga de processamento, tornando o processo mais ágil e leve (ZHANG, 1998).

1.1.1.8 Super Sampled Anti Aliasing (SSAA)/Full Sample Anti-Aliasing (FSAA)

Super Sampled Anti Aliasing (SSAA), também conhecido como *Full Sample Anti-Aliasing* (FSAA), esse método busca calcular a visibilidade binária de cada amostra, analisando o sombreamento de cada *pixel* de maneira independente, já que cada fragmento pode produzir uma tonalidade diferente e, graças a esse processo, ocorre grande aumento nas taxas de amostragem geométrica, de iluminação presente e qualquer entrada de cálculo de sombreamento (HUGHES *et al.*, 2013).

1.1.2 Jogos Eletrônicos

Segundo Kirriemuir e McFarlane (2004), jogos digitais são jogos que podem ser executados através de diversos dispositivos, como *videogames*, computadores pessoais e dispositivos móveis. Apresentam as seguintes características: fornecem informações visuais digitais aos jogadores(as); recebem alguma entrada dos(as) jogadores(as); processam as entradas de acordo com um conjunto de regras programadas; alteram suas informações digitais.

Devido a falta de documentação, é difícil determinar qual seria o primeiro jogo eletrônico produzido, porém a primeira menção a algo que se assemelhe a um *game* é datado em 1947, quando equipamentos para o desenvolvimento de televisores e monitores estavam em sua fase de testes, foi desenvolvido um dispositivo de entretenimento que ligava um tubo de raios catódicos em um osciloscópio. Baseando-se nas tecnologias de radares, o jogo consistia

em controlar um ponto vetorizado na tela, que simulava mísseis acertando alvos, em que os mesmos não passavam de simples pontos fixos na tela (COHEN, 2012).

Inicialmente os jogos pertenciam somente a um estilo conhecido como aventuras textuais, que apenas transmitem a história do jogo por meio de passagens de texto, reveladas ao jogador em resposta a instruções digitadas (ROLLINGS; ADAMS, 2003).

Com a constante busca pela evolução dos jogos, diferentes técnicas foram introduzidas com intuito de aperfeiçoar os gráficos, contornando as limitações de *hardware* presentes, segundo Mark Wolf (2008), algumas das tecnologias que mais se destacaram foram as seguintes:

1.1.2.1 Sprite Scaling

Sprite Scaling resume-se em encolher os *sprites* encontrados mais distantes do jogador e a medida que se aproximam, tornam-se maiores e mais detalhados, criando uma falsa percepção de profundidade (OLIVEIRA, 2016).

1.1.2.2 Side-Scrolling

Side-Scrolling, ou rolagem lateral, traz a ideia de perspectiva e movimento através de uma painel ao fundo que se move para o lado oposto da direção escolhida pelo jogador, permitindo constantes mudanças nos cenários e passando a ideia de estar explorando um vasto mundo com os mais diversos ambientes (OLIVEIRA, 2016).

1.1.2.3 Rotoscope Animation

Rotoscope Animation representa o processo de criação de sequências animadas traçando imagens de ação ao vivo quadro a quadro, permitindo que os animadores criem personagens realistas que se movem exatamente como as pessoas no mundo real (OLIVEIRA, 2016).

1.1.2.4 Parallax Scrolling

Parallax Scrolling é uma técnica que divide a tela em diferentes camadas, e cada uma se move a taxas de velocidade diferentes, resultando em um falso senso de profundidade e velocidade (OLIVEIRA, 2016).

1.1.2.5 Isometric Graphics

Isometric Graphics, ou Visão Isométrica, traz uma nova forma de observar o personagem em tela, pois graças ao posicionamento de câmeras, os objetos não sofrem

alteração de tamanho à medida que o jogador se movimenta pelo mapa, o que permite a renderização de objetos e cenários com menos gastos de processamento (OLIVEIRA, 2016).

1.1.2.6 Digitized Sprites

Digitized Sprites consiste na captação de movimentos reais de atores, através de vídeos, para conversão em *pixels*, o que resultou em melhorias na qualidade gráfica de *sprites* e maior fluidez em movimentos (OLIVEIRA, 2016).

1.1.2.7 Game Engine

Em decorrência da grande demanda por novos jogos, *softwares* que dispõem de ferramentas funcionais para o desenvolvimento facilitado se tornaram uma necessidade, e dessa necessidade surgiram as *Game Engine*, ou motores de jogos, disponibilizados através de API ou conjuntos de ferramentas pré-elaboradas, que oferecem diferentes funcionalidades para facilitar o desenvolvimento de novos games, dentre elas temos a detecção de colisão, suporte a animações, cálculos de física, renderização gráfica, entre outros (OLIVEIRA, 2016).

1.1.3 Inteligência Artificial

Segundo a 6ª edição do dicionário *Oxford: A Dictionary of Computing* (2008), Inteligência Artificial (IA) representa uma área de desenvolvimento de sistemas de computador que são capazes de copiar o comportamento humano inteligente.

A inteligência artificial teve seu início após a Segunda Guerra Mundial e, atualmente, engloba uma grande diversidade de subcampos, podendo ser observada em áreas de uso geral, como aprendizado e percepção, até tarefas específicas como aprender comandos de jogos, demonstração de teoremas, criação de imagens e diagnóstico de doenças. A IA sistematiza e automatiza tarefas intelectuais, tornando-se potencialmente relevante para qualquer esfera da atividade intelectual humana. Nesse sentido, sendo classificada como um campo universal (RUSSELL; NORVIG, 2004).

A técnica de *Machine Learning*, ou aprendizado de máquina, possui um amplo conceito trazendo variadas definições possíveis. Segundo Emerson Alecrim (2018), é representado por um sistema que pode modificar seu próprio comportamento de forma autônoma, tendo como base suas próprias experiências.

Tratando de sua usabilidade, o aprendizado de máquina possui diversos casos de uso, dentre eles, temos a visão computacional, que permite a computadores e sistemas identificar e absorver informações por meio de entradas visuais. Outra forma de utilização de *Machine*

Learning são os mecanismos de recomendação, que através de dados coletados sobre um comportamento de consumo anterior, são feitas recomendações completamente pertinentes aos usuários (IBM, 2020).

1.2 Problema da Pesquisa

Durante o processo evolutivo do conhecimento digital, a computação gráfica foi responsável por inúmeros avanços em diferentes áreas, como pode ser visto no desenvolvimento de animações com técnicas de modelagem e movimentação de personagens; na educação, através da produção de materiais que facilitam o ensino e o tornam mais interativo; na arquitetura, por meio da visualização arquitetônica que permite a demonstração de obras em sua fase final, através de modelos 3D e também na indústria dos jogos eletrônicos. Este último apresenta um dos principais desenvolvimentos na área, apesar de seus impactos e principais melhorias produzidas serem pouco documentadas, principalmente se tratando da relação entre a computação gráfica e os jogos.

É importante também destacar a quantidade de algoritmos novos sendo desenvolvidos, por exemplo, os anais da Conferência e *Workshop* sobre Sistemas de Processamento de Informação Neural, a respeito de Inteligência Artificial, revela que em 2015 foi alcançado cerca de 5 mil artigos a respeito de novos algoritmos, que em comparação com os outros anos foi realizada uma crescente exponencial desde 1995 (RAHWAN, 2018).

Entretanto, a quantidade de artigos focados na análise de algoritmos existentes no mesmo período em comparação é bastante precária, contrária a pesquisa de Medrado (2018) que expõe a importância da habilidade de registrar o conhecimento e transmiti-la, para assim, gerações futuras não terem o esforço de criar uma linha de raciocínio para geração de novas ideias.

1.3 Justificativa

A computação gráfica vem recebendo cada vez mais destaque ao longo dos anos, devido seu papel fundamental na evolução dos jogos eletrônicos, como pode ser observado em sua complexidade, detalhamento de elementos, expressões humanas e simulações cada vez mais imersivas e próximas da realidade (STONE; PANFILOV; SHUKSHUNOV, 2011).

Todavia, mesmo com a popularidade e crescimento de ambos os mercados e suas grandes contribuições mútuas, existe ainda um amplo déficit de documentações que mostram

com exatidão os pontos de maior relevância desse processo, de acordo com o Google Acadêmico, os artigos relacionados ao tema produzidos nos últimos 5 anos não somam 10% do resultado de todos os tempos.

Sendo assim, com foco em melhorar a base científica da relação desses campos, o presente trabalho visa atender a demanda de uma síntese documental histórica que demonstre a evolução dessa ligação, de modo a facilitar futuras buscas de informações.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Realizar uma síntese documental com análise dos eventos mais importantes da história da computação gráfica na indústria dos jogos eletrônicos através de uma cronografia a fim de evidenciar os impactos resultantes pela evolução dessa relação.

1.4.2 Objetivos específicos

- Levantamento bibliográfico sobre computação gráfica e indústria dos games;
- Analisar os principais jogos beneficiados em decorrência do aprimoramento da computação gráfica;
- Construir uma timeline com os dados coletados;
- Apresentar os impactos causados pela evolução da CG nos jogos.

1.5 Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em três capítulos. O primeiro capítulo contém cinco seções, onde são discutidos as revisões bibliográficas, o problema da pesquisa, justificativa os objetivos gerais e específicos e a estrutura do trabalho. O segundo capítulo está focado no desenvolvimento do artigo e está dividido em cinco seções, a primeira apresenta uma introdução, com o objetivo de apresentar o contexto com o problema de pesquisa, a necessidade de trabalhar em cima do problema e o objetivo desejado. A segunda seção apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho. A terceira seção mostra os resultados alcançados e logo depois a discussão dos autores em cima dos resultados e a quinta seção é a conclusão do trabalho. O terceiro capítulo apresenta as bibliografias citadas no trabalho.

2 ARTIGO

2.1 Introdução

Segundo Cohen e Manssour (2006), a Computação Gráfica é uma área da Ciência da Computação, na qual é dedicada a estudos e desenvolvimento de técnicas/algoritmos para a criação de imagens através do computador. A CG é bastante abrangente, e pode ser encontrada em produções visuais, desenvolvimento de próteses e órteses, projetos arquitetônicos, e principalmente na indústria de jogos. Sendo este último o mercado que sempre acompanha e desafia a computação, através da necessidade de algoritmos para execução dos diferentes gráficos dos jogos, em tempo real e a taxas de quadro consideráveis (HUGHES *et al.*, 2013).

De acordo com estudos do Maximize Market Research (2022), o mercado de jogos em 2021 movimentou em torno de 229.75 bilhões de dólares, e deve aumentar o seu valor até 2029, valendo em torno de 702.37 bilhões de dólares, com uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 13.22%, todos os dados apresentados podem ser vistos na figura 2.

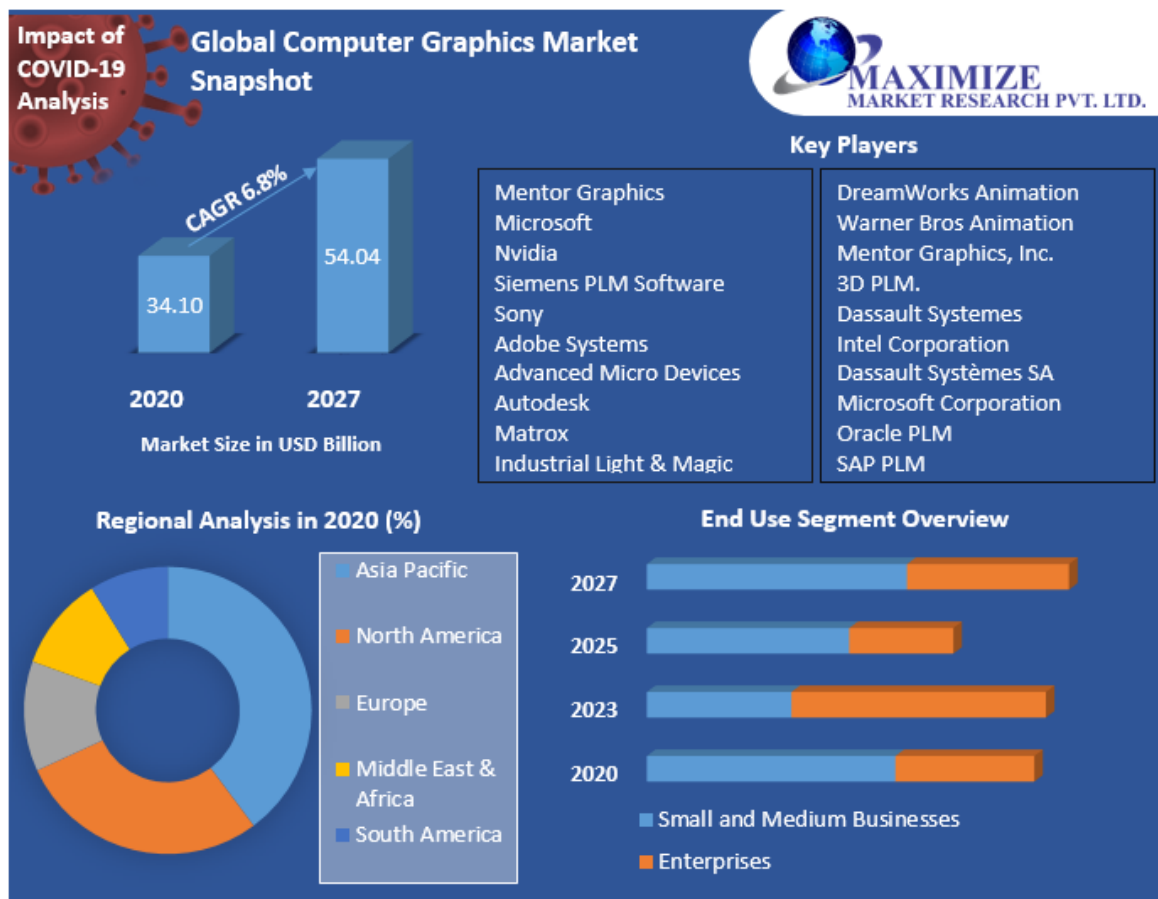
Figura 2 - Dados relacionados ao mercado de jogos



Fonte: Maximize Market Research (2022)

E assim como a previsão do mercado de jogos, a expectativa do mercado de CG também tende a aumentar, saindo de 34.10 bilhões de dólares em 2020, e deve aumentar até 2027, movimentando em torno de 54.04 bilhões de dólares, com CAGR de 6.8% esses dados podem ser observados através da figura 3.

Figura 3 - Dados relacionados ao mercado da CG



Fonte: Maximize Market Research (2021)

Para demonstrar a forte relação do mercado de jogos com o mercado da computação gráfica, utilizando-se ainda das informações do Maximize Market Research presentes nas figuras 1 e 2, é possível apontar os protagonistas em comum nos dois mercados abordados, entre eles os principais são: Microsoft, Nvidia e Sony. Essas 3 empresas são referências em aplicações visuais, muitas vezes aplicando-as nos *videogames*.

Como atestado anteriormente, há uma forte conexão da Computação Gráfica com os jogos eletrônicos, além de uma tendência de crescimento no mercado, mas a falta de acompanhamento dos algoritmos na atualidade, principalmente em IA, unido à dificuldade de buscar informações fundamentadas sobre os trabalhos conjuntos envolvendo CG aos jogos,

expõe um cenário geral sobre o déficit de documentações em meio acadêmico que relacionam as áreas citadas.

A partir desse ponto, os jogos digitais tornando o pilar da discussão, se faz necessário uma intervenção que acompanha a constante evolução da computação gráfica, além das tecnologias e algoritmos atuais, em sua maioria envolvendo a inteligência artificial com foco na melhoria de desempenho, qualidade e na redução do consumo de recursos.

Por este ser um tópico de alta relevância, como demonstrado através de sua ampla movimentação monetária, a qual possui uma grande projeção para os próximos anos, uma cronografia a fim de condensar informações que interligam a computação gráfica à indústria dos jogos eletrônicos se faz imprescindível, mostrando as principais melhorias acarretadas por técnicas e ferramentas, que facilita a busca futura de informações, além de melhorar a base científica relacionada ao assunto.

2.2 Metodologia da Pesquisa

Este trabalho consiste em um resumo de literatura, realizado através de buscas qualitativas históricas (GONÇALVES, 2019). As pesquisas foram baseadas prioritariamente em livros, repositórios acadêmicos e artigos científicos encontrados *on-line*, que foram publicados nos últimos 5 anos, com foco na história e nos principais eventos que marcaram a evolução da computação gráfica na indústria dos jogos, fornecendo informações documentais e históricas a respeito do tema.

Tabela 1: Relação da pesquisa.

| Parâmetros | Valor |
|-------------------|--|
| Palavras-chave | Computação Gráfica, Jogos, Inteligência Artificial |
| Publicação (Ano) | Janeiro/2018 a Dezembro/2022 |
| Idioma | Inglês ou Português |
| Repositório | <i>Google Acadêmico, IEEE e SciELO</i> |

Fonte: Autores (2022).

Entretanto, as buscas não foram satisfatórias, devido a dificuldade de encontrar materiais a respeito dos assuntos correlacionados. Dado este fato, o intervalo de publicação da

pesquisa expandiu de cinco anos para dez anos, além da pesquisa mais ampla através da plataforma de pesquisa do Google, com foco na busca de materiais em revistas digitais focada nos assuntos citados, conteúdos de alta relevância e embasamento, que tornou possível a continuidade do trabalho.

Como resultado, foram obtidos dois vídeos em formato de documentário, sendo um de gráficos nos jogos e outro de jogos em geral, dois algoritmos de IA focados nos gráficos e, como exceção do período de buscas, uma dissertação de mestrado de 2009, também focada nos jogos e nos gráficos.

Como objeto de estudo, foram selecionados trinta e um jogos e dois algoritmos para serem investigados a fundo e analisados. Para esse feito, foi necessário realizar outra relação de pesquisa com o assunto em específico, com a plataforma geral do Google ainda presente, dado que não existem tantos artigos relacionados ao tema escolhido.

Tabela 2: Relação da pesquisa específica.

| Parâmetros | Valor |
|-------------------|--|
| Palavras-chave | Nome do Jogo/Algoritmo, graphics, review |
| Idioma | Inglês ou Português |
| Repositório | Google, Google Acadêmico, IEEE e SciELO |

Fonte: Autores (2022).

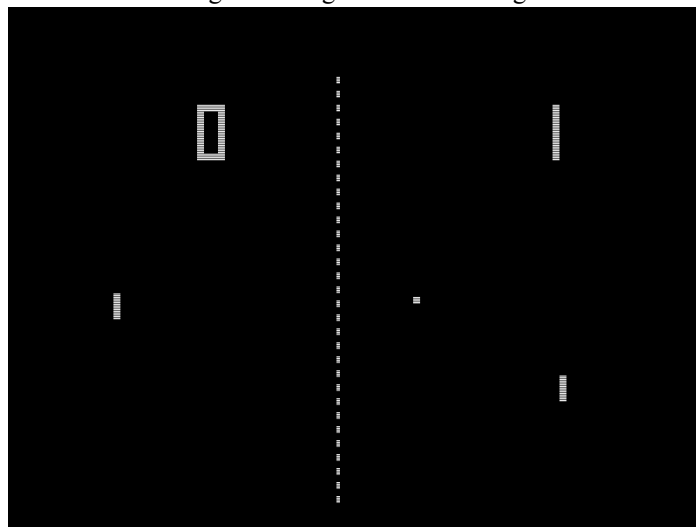
As pesquisas resultaram em 40 conteúdos encontrados, diversificando entre documentações, artigos, livros e revistas eletrônicas. Assim, foi possível criar uma cronografia detalhada com a seleção de materiais mais relevantes para a realização do objetivo e da discussão do trabalho.

2.3 Resultados

Ao final das pesquisas por trabalhos acadêmicos, foi sintetizada uma cronografia que apresenta os principais jogos que foram impactados pela evolução da computação gráfica e de que forma ocorreram essas mudanças.

Pong (1974): Famoso por ter popularizado o entretenimento eletrônico graças à sua maior interação entre jogador e jogo, Pong (Figura 4) teve seu lançamento em 1974, sendo este um jogo totalmente analógico com ênfase na biomecânica dos movimentos, sem envolvimento de processamento gráfico, baseando-se somente em circuitos eletrônicos.

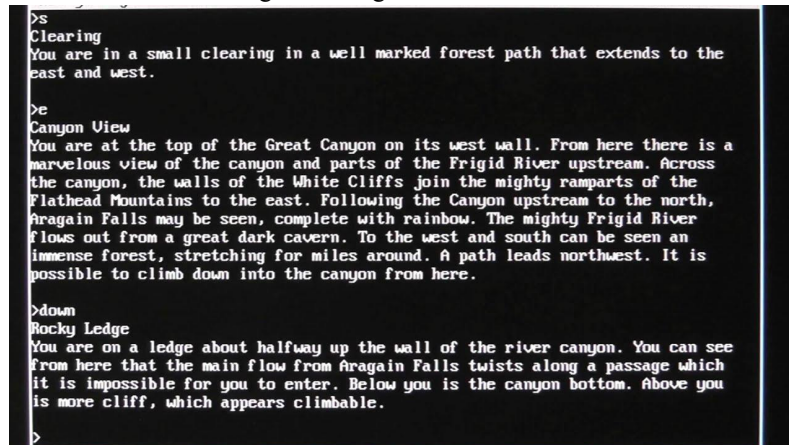
Figura 4 - Jogabilidade de Pong



Fonte: Luz (2009)

Zork (1977): Zork: The Great Underground Empire (Figura 5) teve seu lançamento em 1977 e fez parte de um estilo de jogos conhecido como aventura textual, que consiste apenas de elementos textuais presentes na tela do jogador, onde sua interação era limitada apenas a inputs resultantes em dados, sobrando a imaginação para recriar os cenários e personagens presentes.

Figura 5 - Jogabilidade de Zork



Fonte: Buckley (2012)

Radar Scope (1979): Radar Scope foi um jogo lançado em 1979, que seguiu a temática de guerra espacial, no qual o jogador controla uma pequena nave de batalha com o objetivo de destruir toda a brigada inimiga. A fim de tornar a experiência mais imersiva, os cenários utilizam a técnica *Sprite Scaling*, na qual os sprites encontrados distantes da tela são encolhidos e, à medida que o jogador se aproxima, vão se tornando maiores e mais detalhados, conforme a Figura 6.

Figura 6- Influência da distância no tamanho das sprites em Radar Scope



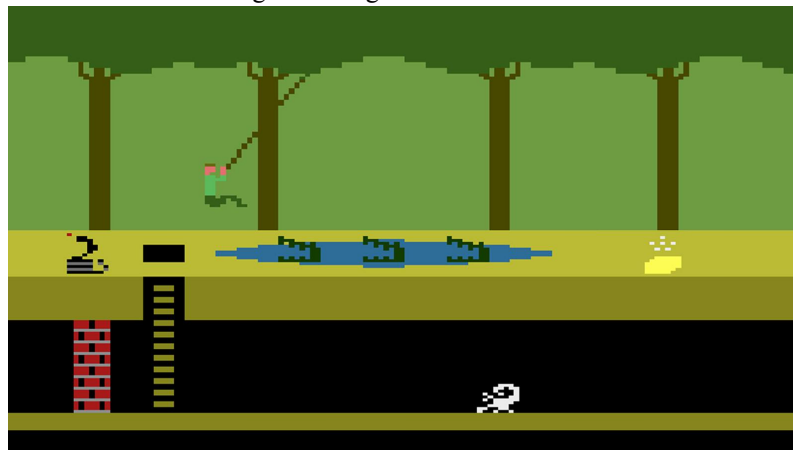
Fonte: Gfycat s.d

Pitfall (1982): Lançado em 1982, Pitfall Harry's Jungle Adventure (Figura 7) é muitas vezes referenciado como precursor do gênero *Side-Scrolling*, técnica que permitiu a mudança de cenários à medida que o jogador se aproxima das extremidades da tela, com o avanço para uma

próxima tela ou o retorno a anterior, a ideia de continuidade no jogo é demonstrada sempre que um novo ambiente é apresentado, esse conceito de fases sequenciais tornou-se a marca registrada dos primeiros jogos de plataforma.

Outro ponto a ser observado quanto aos avanços gráficos de Pitfall estão relacionados a seus avatares, que deixam de ser puramente funcionais e passam a apresentar características figurativas, sendo este o início da identidade dos personagens.

Figura 7 - Jogabilidade de Pitfall

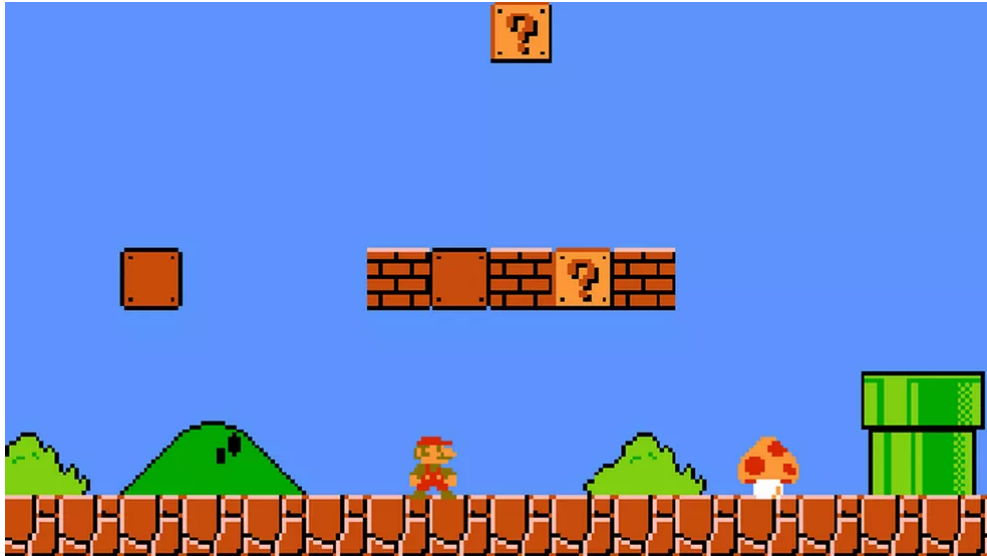


Fonte: Lazzaro1 (2020)

Super Mario Bros (1985): Como um dos jogos mais famosos que surgiram durante a era dos consoles, Super Mario Bros (Figura 8) revolucionou a computação gráfica da época, visto que, mesmo com *hardwares* sem suporte a grandes quantidades de dados na tela, conseguiu representar diversos elementos diferentes, graças a uma técnica de otimização em massa, que utiliza da atualização adaptativa de azulejos com gráficos monocromáticos, dessa maneira, apenas pequenos fragmentos de tela precisam ser redesenhados durante a progressão do jogador.

Com o aumento de capacidade na memória, as técnicas de *Side-Scrolling* puderam ser aprimoradas, em que os cenários evoluíram para uma tela com rolagem lateral contínua, deslizando o conteúdo para a esquerda conforme o personagem avança para o lado contrário, com a ideia de que o jogador está explorando um vasto mundo sem precisar de telas de carregamento do início ao fim de cada fase.

Figura 8 - Jogabilidade de Super Mario Bros



Fonte: Luz (2009)

Castlevania (1987): Em 1987 surgiu Castlevania, com o objetivo de explorar o castelo de Drácula a fim de derrotá-lo, o jogador é apresentado a uma ampla diversidade de ambientes cheios de cor e elementos visuais, como apresentado na figura 9. Isso ocorre em decorrência das tecnologias de *BitMapping* e do aumento de resolução, onde os designers ganharam a liberdade de trabalhar diretamente com a intensidade das cores, tornando possível reproduzir uma maior variedade de cores. Além disso, o refinamento estético tornou possível o acesso direto aos *pixels*, possibilitando maior facilidade na ambientação das áreas do castelo.

Figura 9 - Maior variedade de cores nos cenários de Castlevania



Fonte: Walker s.d

Contra (1988): Contra marcou o fim dos anos 80 com seus cenários construídos de maneira modular, como apresentado na Figura 10, no qual quadros modulares básicos são isolados e

replicados, o que tornou possível desenhar todos os cenários sem gastos exagerados de memória. Essa prática só foi possível graças às ferramentas de desenvolvimento que, por sua vez, auxiliaram nesse reaproveitamento de gráficos e código. Graças às vantagens acarretadas, os que vieram em seguida passaram a utilizar deste recurso, de modo que acabou por criar a identidade visual desse estilo de 8 bits.

Figura 10 - Utilização do Cenário Modular no Contra



Fonte: Luz (2009)

Prince of Persia (1989): As animações sempre foram uma parte importante para que as ações de movimentação dos personagens de um jogo possam ser vistas como algo mais próximo do “real”. Antes das técnicas de captura de movimento, Prince of Persia introduziu em 1989 um meio de melhorar as animações de movimento de personagens denominada *Rotoscope Animation* (Figura 11), técnica já utilizada em animações e filmes mas foi introduzida ao mundo dos jogos graças a este título, porém suas limitações só permitiram sua usabilidade em jogos 2D, além do fato das pessoas gravadas precisarem ter uma alta semelhança com os personagens.

Devido aos problemas citados anteriormente, uma forma aperfeiçoada para captura de movimentos logo foi desenvolvida para assumir seu papel, essa técnica ficou conhecida como *Motion Capture*.

Figura 11 - Utilização de *Rotoscope Animation* no Prince of Persia



Fonte: Nobody_joe (2011)

Sonic The Hedgehog (1991): Conhecido por seus efeitos de velocidade, ambientes cheio de cor, profundidade e avatares mais complexos, Sonic The Hedgehog (Figura 12) teve seu lançamento em 1991 e trouxe diversos avanços gráficos ao mundo dos jogos, dentre eles, é possível observar o uso do procedimento *Parallax Scrolling*, que por sua vez dividia a tela em layers que se movem a taxas de velocidade diferentes, criando senso de profundidade e maior velocidade.

Graças aos avanços trazidos juntamente da geração de 16 *bits*, os avatares puderam apresentar mais personalidade, como visto no protagonista Sonic, um porco espinho que expressa toda a transgressão e rebeldia através de seu olhar compenetrado, sua postura de peito estufado, e seu cabelo espetado como um punk londrino.

Figura 12 - Divisão da tela em diferentes camadas em Sonic



Fonte: Sarafim (2020)

Landstalker (1992): Publicado em 1992, Landstalker é um RPG (*Role Playing Game*) bem diferente dos encontrados no mercado da época, contando com uma visão isométrica do

cenário, como pode ser observado na figura 13, que trouxe como vantagem, gráficos 2D baseados em *sprites* e blocos que podem ser usados para representar ambientes de jogos 3D, visto que os objetos projetados paralelamente não sofrem alterações em sua escala à medida em que o jogador se move pela área, em razão disso as necessidades de redimensionar sprites ou fazer cálculos complexos se tornam nulas, o que permitiam sistemas sem muito poder de processamento como os de 8 e 16 *bits* representar grandes áreas de maneira simplificada.

Figura 13 - Visão Isométrica no Landstalker



Fonte: Mallos (2018)

Mortal Kombat (1992): Mortal Kombat é o pioneiro da técnica denominada *Digitized Sprites* (Figura 14), que consiste na captação de movimentos reais de atores para conversão em *pixels*. Antes do lançamento de MK em 1992, as sprites baseavam-se somente em animações bidimensionais puramente desenhadas.

Figura 14 - Utilização de *Digitized Sprites* no Mortal Kombat



Fonte: Video Game Evolution (2019)

Wolfenstein 3D (1992) e **Doom** (1993): Em 1992, a Id Software lançou o Wolfenstein 3D utilizando o algoritmo de *Ray Casting* (Figura 15) com mapeamento de textura em 2D e perspectiva 3D em primeira pessoa, acertando na fórmula através de um jogo dinâmico, com consideráveis taxas de *frames*, comparado a tentativas anteriores de desenvolvedores. Esse feito foi realizado graças à evolução dos PCs na época, que passou a utilizar processadores Intel i486 e VGA, invés de EGA, conectado à redução de preço e popularização das máquinas afetadas pela lei de Murphy.

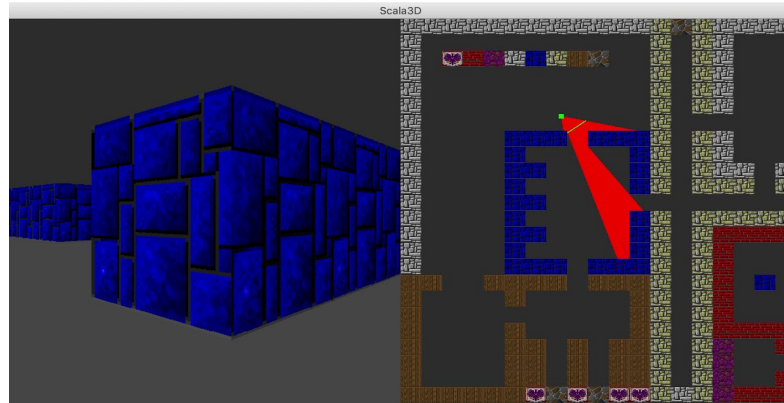
O personagem no *heads-up display* (HUD) interage com o ambiente, olhando para os lados, também com a saúde atual do personagem, tornando o rosto na tela limpo ou machucado, e resulta em uma experiência mais imersiva. Devido às limitações da época, o mapa do jogo é completamente horizontal, apenas as paredes possuem texturas personalizadas, tanto o chão quanto o teto possuem texturas lisas e sem diferenças de níveis de altura, entretanto foi implementado paredes móveis como recompensa secreta para os jogadores mais curiosos.

O jogo intitulado Doom, também lançado pela Id Software no próximo ano, repetiu a fórmula do jogo anterior e trouxe elementos bastante parecidos, com diferencial pelo avanço nas técnicas. Como o mapeamento de textura agora presentes no teto e no chão dos níveis, diferenças de altura com elevadores, escadas e janelas, e iluminação dinâmica, modificando as cores das texturas permitindo uma percepção de distância e criando uma melhor atmosfera.

Estes jogos foram inicialmente lançados para MS-DOS porém houveram inúmeros *ports*, por exemplo: SNES, que teve seu gráfico reduzido devido ao console possuir processador de 16 *bits*, e o do Atari Jaguar, que teve o gráfico melhorado e mais quadros por

segundo por trabalhar com processador de 64 *bits*. Dessa forma, esses dois jogos revolucionaram a renderização dos jogos, esta conhecida como 2.5D, e introduziram os primeiros jogos de *First-Person Shooter* (FPS).

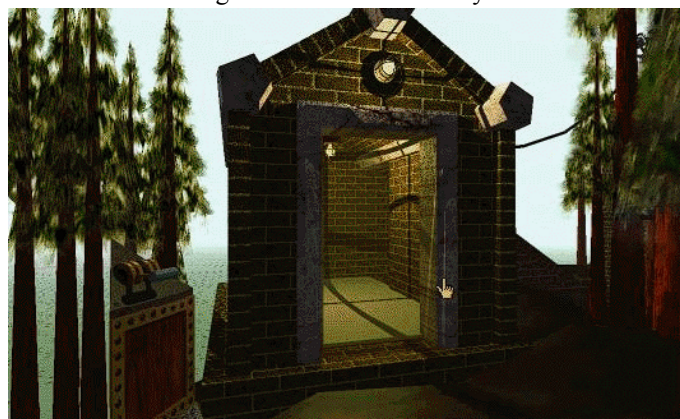
Figura 15 - Demonstração do uso do *Ray Casting* no Wolfenstein 3D



Fonte: Daniel Kohlsdorf (2019)

Myst (1993): Com a chegada da tecnologia de multimídia, *Myst* (Figura 16) em 1993 introduziu uma técnica de narração, conhecida como *Full Motion Video* (FMV), que se beneficiou do enorme espaço de armazenamento disponibilizados pelos CD's, para trazer ficheiros de vídeo gravados previamente que reproduzem as ações tomadas, jogos apresentados dessa forma como *Myst*, são conhecidos como filmes interativos. Apesar da inovação nos gráficos, esta técnica não se tornou muito popular, o que resultou no fim prematuro de sua utilização.

Figura 16 - Gráficos de *Myst*



Fonte: The Let's Play Archive s.d

Donkey Kong Country (1994): *Donkey Kong Country* é considerado o jogo que representa o auge das plataformas da era de 16 *bits*. Introduzido em 1994, *Donkey Kong* inovou a maneira

de representação de *sprites*, graças a criação de modelos 3D para melhoria das animações de personagens e maior fluidez, porém, em decorrência da falta de capacidade dos consoles da época, os modelos eram capturados apenas em imagens 2D, e utilizando a tecnologia de rotação e escalonamento de figuras em tela, foi possível apresentar gráficos que emulam os efeitos tridimensionais (Figura 17).

Figura 17 - Presença de gráficos 2.5D em Donkey Kong



Fonte: foles09 s.d

Super Mario 64 (1996): Marcou a era dos games em 1996, sendo o principal jogo do Nintendo 64 (N64). Super Mario 64 (Figura 18), ao invés de manter o padrão dos jogos anteriores da franquia, trouxe para seu novo título gráficos poligonais, níveis repletos de árvores, castelos e dinossauros tridimensionais, que cabem em apenas uma única tela. Esse feito foi realizado graças à arquitetura de 64 *bits* do N64, que possibilitou a renderização de amplos ambientes 3D.

Figura 18 - Gráficos poligonais do Super Mario 64



Fonte: Oliveira (2011)

The Legend of Zelda: Ocarina of Time (1998): Estreado em 1998, Zelda Ocarina of Time (Figura 19) ficou conhecido por introduzir os gráficos tridimensionais a franquia, durante o início de seu desenvolvimento, os desenvolvedores pensaram em estruturar o jogo de maneira semelhante a de Super Mario 64, no qual Link, personagem principal da franquia, estaria restrito ao castelo de Ganondorf e usaria de um sistemas de portais, semelhante às pinturas utilizadas por Mario para chegar aos reinos.

Porém, como forma de contornar as restrições de armazenamento por parte dos cartuchos de dados, normalmente lotadas com cenas renderizadas de *cutscene*, as *cutscenes* em Ocarina of Time foram totalmente geradas através de computação em tempo real no N64, promovendo assim continuidade instantânea da jogabilidade cinematográfica.

Figura 19 - Transições do Zelda Ocarina of Time



Fonte: ThatScottishGuy (2018)

Unreal (1998): O jogo lançado em 1998 pela Epic Games para PC trouxe diversas melhorias gráficas para a época, implementando um motor de jogo chamado Unreal Engine baseado na API Glide, o que foi de maneira contrária a habitual utilização das APIs Direct3D e OpenGL.

O conjunto final trouxe a texturização detalhada, marcada pelo aumento da superfície de objetos com uma segunda camada de textura com foco nos detalhes dos materiais, ambientes, névoa volumétrica, raios crepusculares, incandescência de luz, simulação de alto brilho e iluminação colorida, o que enriqueceu visualmente os cenários, podendo ser observado na figura 20.

Figura 20 - Maior detalhamento nas texturas de Unreal



Fonte: prolelol (2020)

Silent Hill (1999): Lançado em 1999 durante a geração de 32 *bits*, Silent Hill abriu as portas para o 3D imersivo e aperfeiçoou o uso da linguagem cinematográfica presente nos cenários dos jogos, apresentando câmaras flutuantes que seguem o personagem e mudam a perspectiva do jogador de acordo com as cenas apresentadas. Outro ponto importante a ser destacado neste jogo, ocorreu graças às limitações de *hardware* presentes no *PlayStation 1*, que a fim de mascarar o carregamento de cenário, utilizou de um nevoeiro, também conhecido como *fog*, que trouxe um clima de tensão maior para a ambientação do jogo (Figura 21).

Figura 21 - Perspectiva cinematográfica e uso da névoa em Silent Hill



Fonte: Burrows (2021)

The Legend of Zelda: Majora's Mask (2000): The Legend of Zelda: Majora's Mask teve seu lançamento em 2000 e utilizou de uma versão aperfeiçoada dos gráficos utilizados em The Legend of Zelda: Ocarina of Time, e em decorrência disso, demandava o uso do *Expansion Pak*, um módulo adicional e opcional lançado para o Nintendo 64, com seu uso o console pode contar com quatro *megabytes* de RAM adicionais, que possibilitou uma distância maior na renderização de áreas abertas (Figura 22), precisão das luzes dinâmicas, texturização, detalhamento das animações, efeitos mais complexos de *framebuffer* e uma quantia maior de personagens exibidos na tela do jogo.

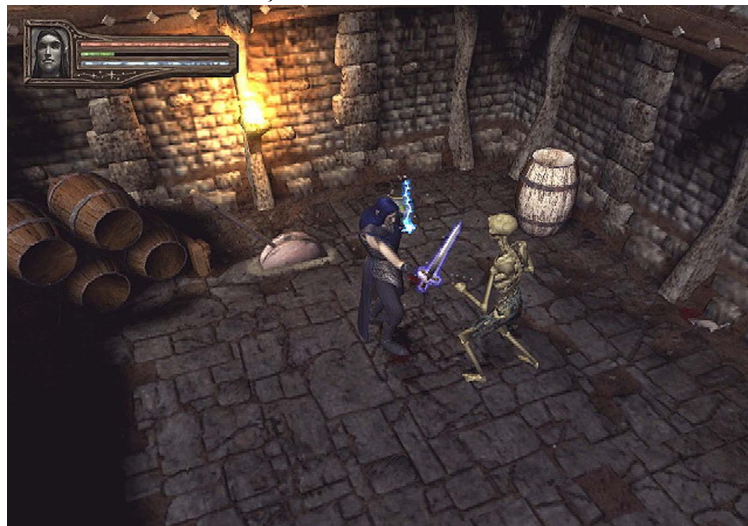
Figura 22 - Maior distância de renderização de áreas abertas no Majora's Mask



Fonte: Fontanini (2015)

Baldur's Gate: Dark Alliance (2001): A série de jogos Baldur's Gate é composta por RPGs de visão isométrica e este título em questão trouxe inúmeras inovações a esse gênero. Por utilizar uma nova *engine* dedicada, a Dark Alliance Engine trouxe diversas melhorias gráficas, como efeitos e reflexões da água, iluminação dinâmica, sombras em tempo real, interações mais detalhadas do cenário, como efeitos causados pela destruição de barris, além de modelos 3D de personagens e ambientes. Os desenvolvedores também implementaram uma tecnologia de *Anti-aliasing* chamado FSAA/SSAA, na qual as texturas são renderizadas em uma resolução maior da atual e depois é reduzida para a resolução configurada do monitor, podendo ser observado na figura 23.

Figura 23 - Efeito da iluminação dinâmica na visão isométrica do Dark Alliance



Fonte: bangchuck s.d

The Legend of Zelda: The Wind Waker (2002): Durante os primeiros estágios de The Legend of Zelda: The Wind Waker (Figura 24), os desenvolvedores seguiram os conceitos criados em The Legend of Zelda: Ocarina of Time, porém com gráficos melhorados e adaptados para as novas capacidades do atual console.

Com o passar do processo de desenvolvimento, a equipe resolveu explorar novos caminhos, um dos projetistas criou uma arte cartunesca de um jovem Link, e assim outros personagens de mesmo estilo surgiram, com os desenvolvedores criando novas possibilidades de jogabilidade e combate graças ao novo estilo escolhido.

Como base para os novos gráficos, os artistas utilizaram a técnica de *Cel Shading* em modelos tridimensionais com o objetivo de alcançar esta estética descrita, atribuindo um visual de desenho interativo ao jogo.

Figura 24 - Utilização de *Cel Shading* no *Zelda: Wind Waker*



Fonte: Nintendo Life (2009)

Resident Evil Zero (2002): Lançado para GameCube, o *Resident Evil Zero* (RE:0) trouxe todo o potencial do *hardware* do console na época. Os cenários estáticos pré-renderizados são bastantes minuciosos com detalhes em movimentos como luzes falhando e água escorrendo, a iluminação se destaca criando uma atmosfera bem adequada para o gênero e traz uma grande evolução comparado ao *Silent Hill* de 2 anos antes e da geração anterior, como é observado na figura 25.

Figura 25 - Cenários extremamente detalhados de RE:0



Fonte: Felipe Demartini (2011)

Doom 3 (2005): Lançado em 2005, *Doom 3* (Figura 26) apresenta como seu principal avanço a unificação entre sombreamento e iluminação, graças ao mecanismo gráfico ID Tech 4, que permite o *hardware* calcular em tempo real a maioria dos pontos de luz presentes no mapa,

dessa maneira torna-se possível os pontos de luz projetarem sombreamento mesmo em objetos não estáticos como os monstros e máquinas presentes no cenário.

Figura 26 - Demonstração do sombreamento em tempo real de Doom 3



Fonte: Schwärzler (2009)

GTA IV (2008): Grand Theft Auto IV teve seu desenvolvimento iniciado em novembro de 2004, logo após o lançamento de Grand Theft Auto: San Andreas. A desenvolvedora Rockstar North utilizou seu motor de jogo proprietário Rockstar Advanced Game Engine (RAGE), juntamente da Euphoria como motor de animação, na qual utiliza animações procedurais a fim de controlar a movimentação do jogador e tornar mais realista. GTA IV também utiliza de um *middleware* da Image Metrics, como mostrado na figura 27, que facilita a renderização de expressões faciais, também chamado de *Motion Capture*, e tem grande papel no processo do *LipSync*.

Figura 27 - Utilização de *Motion Capture* para renderizar expressões faciais no GTA IV



Fonte: Gfycat s.d

Red Dead Redemption (2010): Red Dead Redemption (RDR) foi planejado para ser um sucessor espiritual do jogo Red Dead Revolver de 2004, no qual foram aprimoradas as principais mecânicas de jogabilidade e buscaram expandir outros elementos. RDR, assim como outros jogos da Rockstar Games, utiliza o motor de jogo RAGE para renderizar texturas e realizar tarefas referentes a animação, enquanto Euphoria e Bullet foram utilizadas no auxílio para a física de jogo. Graças ao aprimoramento do poder de processamento da *game engine* utilizada, foram empregadas uma grande variedade de texturas e efeitos de iluminação ao criarem os objetos e as superfícies do mundo do jogo, assim como foram realizadas capturas de movimento em cavalos de verdade para garantir as animações mais realistas possível, demonstrado na figura 28.

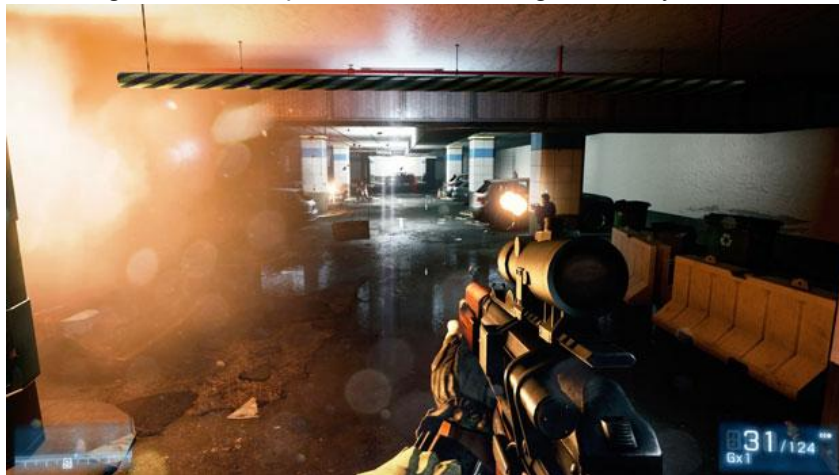
Figura 28 - Diferentes texturas e superfícies exibidas em RDR



Fonte: AusTiger666 s.d

Battlefield 3 (2011): Jogo do gênero FPS lançado pela DICE para várias plataformas baseado na *game engine* Frostbite 2, com diversas melhorias gráficas, entre elas: *Deferred Shading* e *Radiosity* (Figura 29), técnicas de sombreado e iluminação, respectivamente, em conjunto de partículas de alta qualidade enriqueceram o gráfico a partir das interações geradas por destruições no ambiente do mapa. Através de uma entrevista realizada com o animador principal do jogo, Tobias Dahl revelou a utilização da tecnologia de animação chamada ANT, já utilizada anteriormente em jogos de esportes pela EA Sports, trazendo mais realismo às movimentações dos personagens.

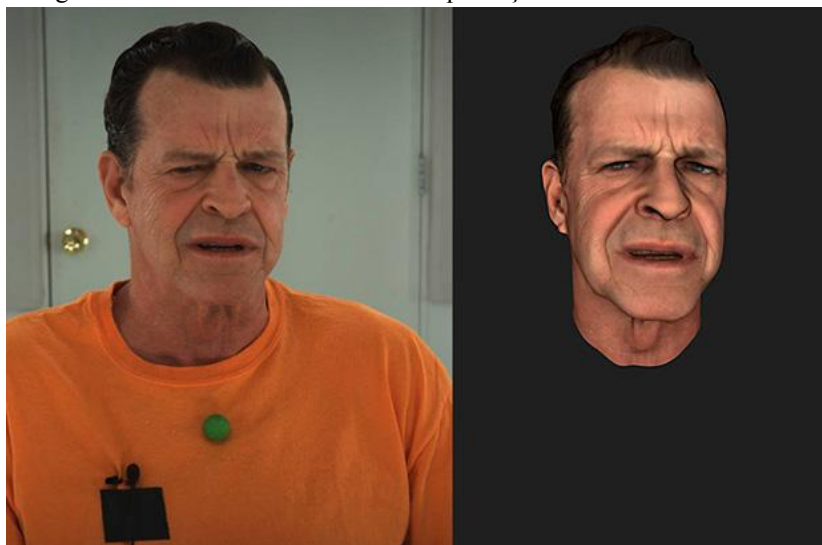
Figura 29 - Utilização de Deferred Shading e Radiosity em BF3



Fonte: G1 (2011)

L.A. Noire (2011): L.A. Noire é um jogo investigativo no qual o jogador é um investigador que trabalha em diferentes casos. Com o objetivo de trazer maior imersão ao jogo, foi desenvolvida uma tecnologia que captura a feição de atores para que, ao analisar depoimentos de personagens, o usuário tivesse que não só se atentar a história contada mas também as feições apresentadas, assim como em uma investigação real. O nome da tecnologia responsável pela captura de movimento é o *MotionScan* (Figura 30), que grava os atores com 32 câmeras ao seu redor, de maneira a registrar as expressões faciais de todos os ângulos, resultando em uma reprodução altamente realista e detalhada do rosto humano.

Figura 30 - *MotionScan* utilizado na reprodução de rostos em L.A Noire



Fonte: Ohannessian (2011)

GTA V (2013): Durante o ano de 2013, foi lançado o Grand Theft Auto V (Figura 31), no qual foi muito reconhecido por seus gráficos superiores comparado a primeira metade da geração,

principalmente por se tratar de um jogo de mundo aberto, com profundidade de campo, alta distância de visão, efeitos de clima detalhados, sem a necessidade de reduzir a resolução do jogo, como aconteceu no GTA IV. Esse feito foi realizado graças a otimização, que só se tornou possível graças às evoluções nos motores de jogos *Rockstar Advanced Game Engine (RAGE)*, para renderização, e *Euphoria* e *Bullet*, para complementar as renderizações de animação e ambiente, além de forçar a capacidade do *Xbox 360* e *Playstation 3* ao máximo, com os anos de experiência desenvolvendo para essa geração de consoles com os mesmos *hardwares*.

Figura 31 - Otimização na renderização de amplos cenários de GTA V



Fonte: Christian Costa (2013)

The Witcher 3 (2015): *The Witcher 3: Wild Hunt* lançado em 2015, utiliza do motor de jogo desenvolvido pela CD Projekt RED, REDengine 3, o qual foi projetado especificamente para jogos de RPG não lineares que apresentam grandes ambientes de mundo aberto. Esta base traz uma implementação focada em realismo, ao borrar as linhas entre as cenas pré-renderizadas e as cenas renderizadas em tempo real. A tecnologia também utiliza de novos efeitos de pós-processamento, como profundidade de campo, degradê de cores e técnicas para simular lentes de fotografia, conforme mostra a figura 32.

Outro motor integrado ao game foi o *Umbral 3 Visibility Solution*, especializado em *Occlusion Culling*, ou Descarte por Oclusão, técnica bastante importante para otimização, através da exclusão de renderização de objetos que não estão visíveis pela visão da câmera.

Em 2022, a desenvolvedora trouxe uma grande atualização ao jogo com foco na portabilidade para as gerações mais recentes de consoles. Sobre essa atualização, diversas melhorias gráficas foram aplicadas no jogo, como a inclusão do *Ray Tracing*, atualização de textura baseada em *mods* criados pela comunidade e jogabilidade mais fluida.

Figura 32 - Efeitos de pós-processamento em The Witcher 3



Fonte: Bruno Galvão (2014)

Upscaling de textura através de IA (2019): Com o intuito de melhorar o gráfico de jogos antigos, uma técnica chamada de *Upscaling* foi desenvolvida por fãs de jogos retrô, usando técnicas de *Deep Learning*, que modificam pixels e polígonos em baixa qualidade, resultando em uma aparência mais nítida. Graças aos *mods* que utilizam dessa IA, títulos como Final Fantasy VII e Doom (Figura 33) podem alcançar gráficos com resolução 4 vezes maior.

Este feito ocorre através de redes neurais de última geração que conseguem emular os detalhes que as renderizações originais possuem, dessa forma os visuais antigos se tornam mais próximos de uma nova renderização com resolução mais alta, tecnologias novas e performance melhorada.

Figura 33 - Comparativo entre a resolução original e resolução escalonada em 4X

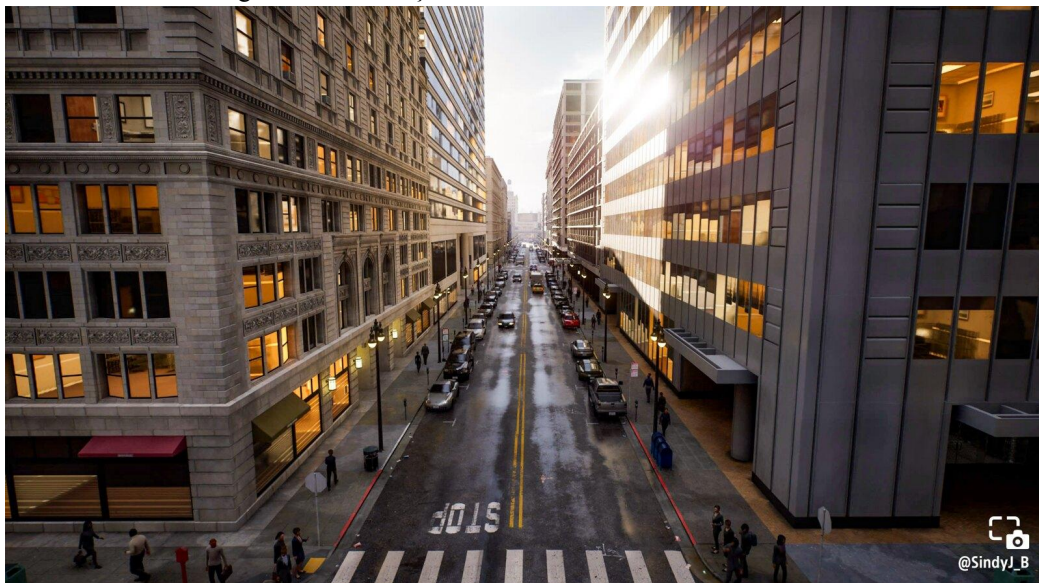


Fonte: Plunkett (2011)

The Matrix Awakens (2021): A estreia de *The Matrix Awakens*, trouxe grandes avanços ao mundo dos jogos eletrônicos, principalmente devido ao uso da Unreal Engine 5 que alcançou níveis extremos se tratando de renderização em tempo real, que tornou possível novos níveis referentes à criação de personagem, renderização ambiental, qualidade de iluminação e pós-processamento.

Uma das principais razões pela qual *The Matrix Awakens* pode lidar com a renderização desse mundo digital, é graças ao sistema Nanite, uma tecnologia de renderização através do escalonamento de polígonos baseados na câmera, que promete riqueza “ilimitadas” de detalhes. Outro ponto a se destacar está relacionado ao sistema de iluminação global em tempo real Lumen (Figura 34), uma solução de *Ray Tracing* acelerada por *hardware*, fornecendo desempenho e fidelidade extra em iluminação indireta e difusa.

Figura 34 - Utilização de Lumen em *The Matrix Awakens*



Fonte: SindyJ_B (2021)

Enhancing Photorealism Enhancement (2021): Em 2021, um grupo de pesquisadores da Intel utilizou o *GTA V* como base para uma ferramenta de *Machine Learning* para melhorar o fotorrealismo do jogo. A IA trabalha analisando cada frame do jogo, o compara com um enorme banco de dados de fotografias de várias cidades, selecionam as imagens mais parecidas e então aplica, através de um filtro (Figura 35), diversas melhorias visuais à imagem.

A tecnologia inclui reflexos e brilhos estrategicamente posicionados, visto que foi possível integrar os dados geométricos do jogo, chamados de “G-buffer”. Um dos pontos negativos relatados está em alguns objetos e cenas menos comuns nas imagens reais, como pedestres próximos, que torna as imagens menos convincentes.

Segundo os desenvolvedores, o algoritmo consegue entregar a sua implementação não-otimizada em meio segundo, sendo executado na GPU GeForce NVIDIA RTX 3090, um resultado nunca antes visto que torna-se bastante próximo do tempo real, e deve tornar possível com melhorias e otimizações futuras, principalmente com integrações aos motores gráficos dos jogos. Em termos gerais, os resultados foram bastantes satisfatórios e ofereceram uma visão de como uma remasterização do jogo ou a aplicação em jogos semelhantes poderão ocorrer no futuro.

Figura 35 - Aplicação de filtros no GTA V



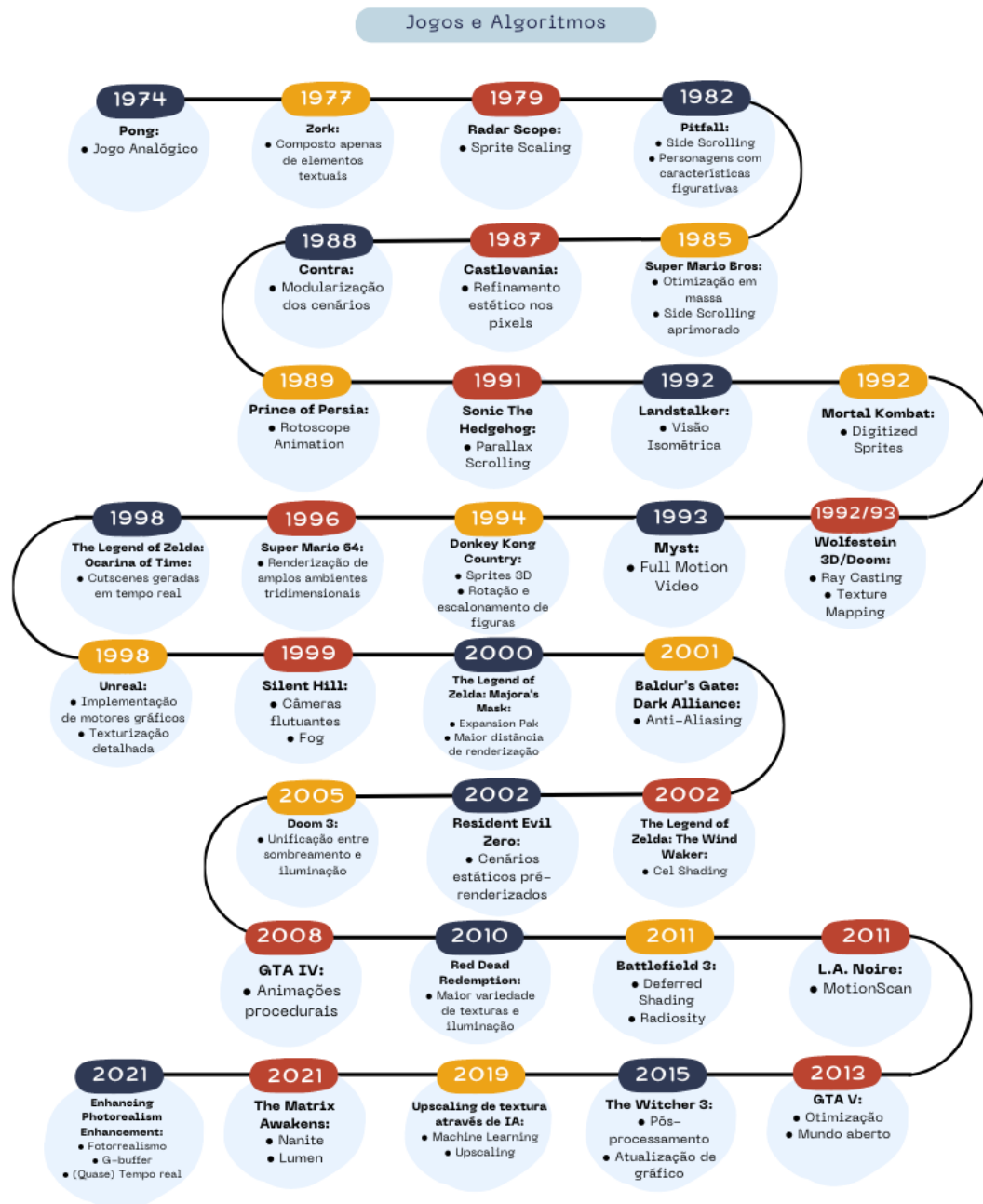
Fonte: Dickson (2021)

2.4 Discussão

Com o passar dos anos, a indústria dos jogos eletrônicos se tornou cada vez mais popular, graças aos grandes avanços trazidos pela computação gráfica, dado que a cada nova técnica desenvolvida, os jogos adquirem capacidade de superar suas limitações anteriores e alcançar novos patamares visuais.

Diante dos fatos apresentados, serão listados a seguir através do fluxograma temporal e, logo após, aprofundados pelos parágrafos que o seguem, com as principais melhorias gráficas, bem como os jogos e algoritmos de maior relevância que se beneficiam dessas tecnologias, e análise do estudo.

Figura 36 - Fluxograma temporal
RESULTADOS



Fonte: Autores (2022)

Nos primórdios do mercado de jogos, em específico nos anos 70, os *games* foram comercializados em *arcades* e consoles dedicados com apenas um jogo, caso do Pong e RadarScope. Com a rápida popularização dos jogos eletrônicos, em meados dos anos 80 aconteceu a Era de Ouro dos Jogos Arcades, acompanhado de títulos como Pitfall e Space Invaders, estenderam a gama de jogos que impulsionam os rendimentos desse mercado, que até

então possuíam gráficos simples. Entretanto, em 1983 houve uma recessão na indústria dos consoles e arcades, popularizando os computadores pessoais, que introduziu jogos com elementos textuais presentes na tela do jogador. Com o passar dos anos tornou-se possível a manipulação dos *pixels* na tela, dessa forma, trouxe elementos visuais e tornou pela primeira vez os jogos realmente divertidos, uma vez que existia uma interação mais direta entre jogo e jogador.

Durante o período de pós-crise, técnicas visuais como *Smooth Scrolling*, *Side Scrolling* e escalonamento de *Sprites* foram aprimoradas, tornando os cenários mais dinâmicos, visando um novo nível no desenvolvimento dos jogos com *sprites* mais ricos em detalhes. O jogo mais importante da época foi o Super Mario Bros, que se tornou referência para grande parte dos jogos de plataforma que vieram a seguir, exemplo de Castlevania e Contra, que também trouxeram melhorias gráficas e de processamento.

Com o constante sucesso dos games de plataforma, o lançamento de Sonic em 1991 foi extremamente relevante, por utilizar a mecânica *Parallax Scrolling* e marcar o mercado da época ao lado de Super Mario Bros.

As animações sofreram uma grande evolução durante os anos de 1991 e 1992, com o lançamento de dois jogos que revolucionaram a forma de produzir artes para os *games* com tecnologias que permitem a captação de movimento, Prince of Persia e Mortal Kombat. Prince of Persia utilizou a técnica *Rotoscope Animation*, que por apresentar dificuldades para sua utilização, como sua limitação a gráficos bidimensionais e a necessidade dos modelos possuírem grande semelhança com os personagens planejados para o jogo. Mortal Kombat, por sua vez, utilizou a *Digitized Sprites* que funcionava sem as limitações da técnica anterior.

Com a fama dos PCs, o *hardware* evoluiu bastante em comparação aos consoles da época e possibilitou o início dos gráficos com perspectiva em 3D, com o lançamento de dois jogos: Wolfenstein 3D e Doom, lançados em 1992 e 1993, respectivamente. A partir do uso do algoritmo de *Ray Casting*, foram precursores de jogos em primeira pessoa, utilizando também de mapeamento de texturas 2D para simular a imersão no falso 3D. Um ano após o lançamento de Doom, Donkey Kong Country foi lançado para console também utilizando de técnicas de *Sprites* em 3D, causando bastante sucesso no mercado de consoles.

Em 1996, Super Mario 64 foi lançado como principal jogo do Nintendo 64, e trouxe como evolução mais importante a introdução aos gráficos tridimensionais e poligonais, o que

proporcionou grande variedade de paisagens em 3D. Essa noção de profundidade tornou-se possível graças ao algoritmo *Z-buffer*, representando precisamente modelos tridimensionais complexos. Em decorrência das mudanças trazidas por Mario 64, o desenvolvimento de *sprites* tridimensionais tornou-se muito popular devido ao grande sucesso do jogo citado, fazendo com que boa parte dos jogos desenvolvidos desse marco em diante, deixassem as técnicas bidimensionais para trás e buscam espaço no mundo das três dimensões.

Durante a pesquisa, foi possível notar que grande parte das dificuldades no avanço da computação gráfica estavam relacionadas a *hardware*, principalmente se tratando de cada geração de consoles, porém essas limitações tiveram um lado positivo, já que graças aos impedimentos encontrados, novas otimizações e formas de contornar essas adversidades foram desenvolvidas.

Um exemplo de vantagem nas limitações foi a tecnologia utilizada no jogo Silent Hill, que usava do nevoeiro para disfarçar seus carregamentos de cenário, a *distance fog* proporcionou a outros jogos, como GTA IV e The Elder Scrolls IV: Oblivion, uma forma de mascarar suas limitações referentes a velocidade de renderização a medida que o jogador avança pelo mapa. Outro jogo da mesma época em que pode ser observada uma limitação é em Resident Evil Zero, que utiliza de cenários mais estreitos e da visão cinematográfica para limitar a visão do jogador, e mascarando o fato de que poucos elementos poderiam ser exibidos por vez em tela.

No início dos anos 2000, a utilização de *Game Engine*, como Unity e Unreal Engine, elevou o nível da programação dos jogos, com integração de ferramentas de gráficos, áudio, física, rede e IA, mudando de vez o mercado com o aumento de empresas focadas no assunto.

Baseado na game engine Frostbite 2, Battlefield 3 apresentou um salto significativo com diversas melhorias gráficas, dentre elas as que mais chamam atenção são *Deferred Shading* e *Radiosity*, que representam técnicas de sombreado e iluminação, respectivamente.

L.A Noire foi o precursor de uma funcionalidade chamada *MotionScan*, que permite a captura das feições humanas e como resultado torna possível a reprodução altamente detalhada do rosto humano e suas expressões, o que beneficiou diversos jogos que vieram depois, como Until Dawn lançado em 2015 e Detroit: Become Human, lançado em 2018 .

Chegando à atualidade, os jogos alcançaram um patamar excepcional se tratando de gráficos, principalmente em 2021, esse conceito foi levado a um nível acima com a chegada de *The Matrix Awakens*, desenvolvido com uso da Unreal Engine 5. *Matrix* alcançou níveis de renderização em tempo real extraordinários graças a tecnologia denominada Nanite, que através da renderização escalonada de polígonos baseados na câmera, consegue proporcionar uma maior riqueza de detalhamento. Outro ponto a ser destacado está relacionado ao seu sistema de iluminação global em tempo real, chamado Lumen, que fornece fidelidade extra se tratando de iluminação direta ou difusa.

A comunidade dos jogos eletrônicos cresceu bastante ao longo dos anos e atualmente proporciona *mods* e sugestões para melhorias dos jogos, melhorando a eficiência e a qualidade gráfica dos títulos produzidos por grandes empresas de desenvolvimento. Um exemplo está nos filtros que, em 2021, um grupo de pesquisadores da Intel utilizou *GTA V* para testar uma nova ferramenta de *Machine Learning*, visando melhorar o fotorrealismo presente no jogo. O filtro funciona através de uma IA que analisa o jogo *frame-to-frame* e comparado a um vasto banco de dados de fotografias, processando e melhorando elementos como a reflexão e brilho da imagem.

2.5 Conclusão

Ao fim da síntese e análise dos resultados obtidos através dos materiais selecionados, foi observado que a computação gráfica possui papel fundamental no desenvolvimento de jogos, visto que a manipulação de elementos em tela, o manejo dos *pixels*, aplicação de sombreamento e iluminação dos cenários e a renderização de objetos só foram introduzidos nos jogos graças a GC.

Como comprovado pela cronografia, os limites gráficos são definidos pelas limitações de *hardware* em cada época. Todavia, graças aos impedimentos, novas técnicas de otimização foram desenvolvidas com intuito de contornar as restrições presentes. A IA apresenta uma forte relação com os gráficos dos jogos na atualidade, se tornando cada vez mais essencial, tanto para melhorar a qualidade gráfica, quanto para melhorar o desempenho, seja pela implementação própria dos desenvolvedores dos jogos ou através de *mods* realizados pela comunidade. É muito provável que no futuro essa relação se torne ainda mais dependente.

Durante as pesquisas realizadas, foi possível notar como principal impedimento nas buscas, o grande déficit de trabalhos acadêmicos relacionados ao tema produzidos nos últimos 5 anos, o que acarretou no aumento no período de buscas para artigos realizados nos últimos 10 anos. Graças ao aumento no período de buscas de material, foi possível concluir a cronografia proposta e com isso enriquecer a base de dados científica referente aos avanços da computação gráfica dentro dos jogos eletrônicos.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1Kurgan1. **Battlefield 3 Clubhouse.** TechPowerUp. Disponível em: <<https://www.techpowerup.com/forums/threads/battlefield-3-clubhouse.139681/page-76#post-2353512>>. Acesso em: 01 dez. 2022.

Ahoy. **A Brief History of Graphics.** Youtube, 18 jan. 2015. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=QyJyWUrHsFc>>. Acesso em: 25 set. 2022.

Ahoy. **A Brief History of Video Games.** Youtube, 16 set. 2013. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=GoyGlyrYb9c>>. Acesso em: 25 set. 2022.

BERNSTEIN, Joseph. **"Way Beyond Anything We've Done Before": Building The World Of "Grand Theft Auto V".** BuzzFeed News, 2013. Disponível em: <<https://www.buzzfeednews.com/article/josephbernstein/way-beyond-anything-weve-done-before-building-the-world-of-g>>. Acesso em: 10 out. 2022.

BERTZ, Matt. **March Cover Revealed: Battlefield 3.** Game Informer, 2011. Disponível em: <<https://www.gameinformer.com/b/news/archive/2011/02/03/march-cover-revealed-battlefield-3.aspx>>. Acesso em: 10 out. 2022.

BROUGHALL, Nick. **The Story Behind LA Noire's Creepy-Real Faces.** Kotaku, 2010. Disponível em: <<https://kotaku.com/the-story-behind-la-noires-creepy-real-faces-5714438>>. Acesso em: 01 dez. 2022.

BUCKLEY, Sean. **Creators of Zork to accept Pioneer Award at DICE Summit, hide WIRED interview behind new text adventure.** Engadget, 2012. Disponível em: <<https://www.engadget.com/2012-12-20-creators-of-zork-to-accept-pioneer-award-at-dice-summit-hide-wi.html>>. Acesso em 26 nov. 2022.

BURROWS, Zack. **SILENT HILL (REVIEW).** Sight-in Games, 2021. Disponível em: <<https://sightingames.wordpress.com/2021/01/07/silent-hill-review/>>. Acesso em: 14 set. 2022.

BRITAIN, Oscar. **Paint of Persia & rotoscoping**. GameJolt, 2017. Disponível em: <<https://br.pinterest.com/pin/482588916295771496/>>. Acesso: 01 dez. 2022.

brotherbrain. **Super Mario Bros. (NES) Nintendo 1985**. Tumblr, 2013. Disponível em: <<https://brotherbrain.tumblr.com/post/57891025125/super-mario-bros-nes-nintendo-1985-gif>>. Acesso em: 01 dez. 2022.

COHEN, Michael F.; WALLACE, John R.; HANRAHAN, Pat. **Radiosity and realistic image synthesis**. Morgan Kaufmann, 1993.

COHEN, D. S. **Cathode-Ray tube amusement device—The first electronic game**. Retrieved, v. 9, n. 10, 2012.

Daniel Kohlsdorf. **Scala3D: Implementing Ray Casting**. Youtube, 10 jan. 2019. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=9U5KTrdYfXI>>. Acesso em: 25 set. 2022.

deepanshut041. **Reinforcement-Learning**. Github, 2020. Disponível em: <https://deepanshut041.github.io/Reinforcement-Learning/cgames/05_sonic/>. Acesso em: 30 nov. 2022.

DICKSON, Ben. **What Intel's image-enhancing AI means for the gaming industry?**. Tech Talks, 2021. Disponível em: <<https://bdtechtalks.com/2021/05/24/intel-ai-photorealistic-enhancement/>>. Acesso em: 19 nov. 2022.

foles09. **Is Donkey Kong Country Nintendo's Greatest Ever Game????** Disponível em: <<https://steemit.com/gaming/@foles09/is-donkey-kong-country-nintendo-s-greatest-ever-game>>. Acesso em: 28 nov. 2022.

FOLEY, James D. et al. **Computer graphics: principles and practice**. Addison-Wesley Professional, 1995.

G1. **'Battlefield 3' tem instalação nos consoles para ter gráficos melhores**. Globo, 2011. Disponível em:

<<http://g1.globo.com/tecnologia/noticia/2011/10/battlefield-3-tem-instalacao-nos-console-para-ter-graficos-melhores.html>>. Acesso em: 17 set. 2022.

GALVÃO, Bruno. **Novo vídeo gameplay de Witcher 3: Wild Hunt**. EuroGamer, 2014. Disponível em: <<https://www.eurogamer.pt/novo-video-witcher-3>>. Acesso em: 01 dez. 2022.

Gazragore. **Silent hill GIF**. Gifer. Disponível em: <<https://gifer.com/pt/4k7A>>. Acesso em 30 nov. 2022.

Gfycat. **Arcade Game: Radar Scope (1980) GIF**. Disponível em: <<https://gfycat.com/sinfultheseinsect>>. Acesso em: 01 dez. 2022.

Gfycat. **– GIF**. Disponível em: <<https://gfycat.com/darkyawningcamel-grand-theft-auto-video-game-series>>. Acesso em: 01 dez. 2022.

GONÇALVES, Jonas Rodrigo. **Metodologia Científica e Redação Acadêmica**. 8. ed. Brasília: JRG, 2019.

GRAF, Rudolf F. **Modern dictionary of electronics**. Newnes, 1999.

DAINTITH, John. WRIGHT, Edmund. **Oxford Advanced Learner's Dictionary**. 2008.

DAVIS, Justin. **Uma história visual de The Legend of Zelda**. IGN, 2016. Disponível em: <<https://br.ign.com/the-legend-of-zelda/8404/feature/uma-historia-visual-de-the-legend-of-zelda>>. Acesso em: 26 nov. 2022.

DEMARTINI, Felipe. **E se Enrico fosse o protagonista de Resident Evil Zero?** ResidentEvilSAC, 2011. Disponível em: <<http://residentevilsac.com.br/e-se/e-se-enrico-fosse-o-protagonista-de-resident-evil-zero/>>. Acesso em: 02 dez. 2022.

HANSEN, Ben. **The Technology Behind Battlefield 3**. Game Informer, 2011. Disponível em: <<https://www.gameinformer.com/b/features/archive/2011/03/01/the-technology-behind-battlefield-3.aspx>>. Acesso em: 10 out. 2022.

HUGHES, John F. et al. **Computer Graphics: Principles and Practice**. Pearson Education, 2013.

IGN. **First Zelda Gaiden Details Exposed**. Disponível em: <<https://www.ign.com/articles/1999/08/20/first-zelda-gaiden-details-exposed>>. Acesso em: 02. oct. 2022.

IGN. **Zelda on Gamecube**. Disponível em: <<https://www.ign.com/articles/2000/08/24/zelda-on-gamecube>>. Acesso em: 02. oct. 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/IEC 7942-1:1994**. Disponível em <<https://www.iso.org/obp/ui/#!iso:std:14915:en>>. Acesso em: 13 set. 2022.

KIRRIEMUIR, John; MCFARLANE, Angela. **Literature review in games and learning**. 2004.

KOHLER, Chris. **Nintendo 64 Came Out 20 Years Ago. Here's How a Teenaged Me Reviewed It**. Wired, 2016. Disponível em: <<https://www.wired.com/2016/09/nintendo-64-20th-anniversary/>>. Acesso em: 08. out. 2022

KOSAK, Dave. **John Carmack: The Technology of Doom 3 and What's Next**. GameSpy, 2004. Disponível em: <<http://uk.pc.gamespy.com/pc/doom-3/539049p1.html>>. Acesso em: 26 nov. 2022.

LAL, Arjun Krishna. **O sistema Nanite da Unreal 5 flexiona seus músculos em um mapa de gotas na mandíbula, com bilhões de polígonos na tela**. NotebookCheck, 2021. Disponível em: <<https://www.notebookcheck.info/O-sistema-Nanite-da-Unreal-5-flexiona-seus-musculos-em-um-mapa-de-gotas-na-mandibula-com-bilhoes-de-poligonos-na-tela.543957.0.html>>. Acesso em: 05 set. 2022.

lazzaro1. **Arcade Game: Radar Scope (1980) GIF**. Tenor, 2020. Disponível em: <<https://tenor.com/pt-BR/view/pitfall-lakewoodpit-gif-18467068>>. Acesso em: 01 dez. 2022.

LEADBUTTER, Richard. **Inside The Matrix Awakens: a vision for the future of real-time graphics**. Eurogamer, 2021. Disponível em: <<https://www.eurogamer.net/digitalfoundry-2021-inside-the-matrix-awakens-previewing-the-future-of-gaming-graphics>>. Acesso em: 29 ago. 2022.

LMachado. **O que é iluminação direta e indireta?** Nvidia, 2022. Disponível em: <<https://blog.nvidia.com.br/2022/08/09/o-que-e-iluminacao-direta-e-indireta/>>. Acesso em: 02 dez. 2022.

LUZ, Alan Richard da. **Linguagens gráficas em videogame: Nascimento, desenvolvimento e consolidação do videogame como expressão gráfica**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LYON, Richard F. **A brief history of 'pixel'**. In: Digital Photography II. SPIE, 2006.

MACEDO, Thiago B. **Introdução ao Desenvolvimento de Motor Gráfico 3D Utilizando a API OpenGL**. 2007.

MANSSOUR, Isabel Harb; COHEN, Marcelo. **Introdução à computação gráfica**. RITA, v. 13, n. 2, p. 43-68, 2006.

Mallo. **LANDSTALKER, MEGADRIVE/GENESIS**. The King of Grabs, 2018. Disponível em: <<https://thekingofgrabs.com/2018/06/05/landstalker-megadrive-genesis/>>. Acesso em: 29 nov. 2022.

MAXIMIZE MARKET RESEARCH. **Gaming Market: Global Industry Analysis And Forecast (2022-2029)**. Disponível em: <<https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-gaming-market/44697/>>. Acesso em: 13 set. 2022.

MAXIMIZE MARKET RESEARCH. **Computer Graphics Market – Global Industry Analysis and Forecast (2021-2027)**. Disponível em <<https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-computer-graphics-market/55272/>>. Acesso em: 13 set. 2022.

MEDRADO, Andreone T. **Da importância do Registro**. Disponível em <<https://devaneiosfilosoficos.com/2018/07/22/da-importancia-do-registro/>>. Acesso em: 8 nov. 2022.

MORALES, Aaron. **The 10 best Atari games**. Entertainment Weekly, 2013. Disponível em: <<https://ew.com/article/2013/01/25/the-10-best-atari-games/>>. Acesso em: 10 out. 2022.

mynameisnotspecial. **Comparison between Wind Waker HD on Wii U and Wind Waker with HD textures**. Reddit, 2013. Disponível em: <https://www.reddit.com/r/zelda/comments/1k75jt/comparison_between_wind_waker_hd_on_wii_u_and/>. Acesso em: 02 dez. 2022.

Nintendo Life. **The Legend of Zelda: The Wind Waker Screenshots (41)**. Disponível em: <https://www.nintendolife.com/games/gamecube/legend_of_zelda_the_wind_waker/screenshots>. Acesso em: 03. nov. 2022.

Nobody_joe. **Imagens e vídeos raros da criação do primeiro Prince of Persia**. Neogamer, 2011. Disponível em: <<http://www.neogamer.com.br/2011/04/imagens-e-videos-raros-da-criacao-do.html>>. Acesso em: 20 set. 2022.

NUTT, Christian; ZENKE, Michael. **Gamefest: How GTA IV's Niko Bellic Got Animated**. Game Developer, 2008. Disponível em: <<https://www.gamedeveloper.com/pc/gamefest-how-i-gta-iv-i-s-niko-bellic-got-animated>>. Acesso em: 11 nov. 2022.

OLIVEIRA, Arize. **Super Mario 64: a história de um dos melhores jogos do Mario**. Techtudo, 2011. Disponível em:

<<https://www.techtudo.com.br/noticias/2011/05/super-mario-64-historia-de-um-dos-melhores-jogos-do-mario.ghml>>. Acesso em: 18 set. 2022.

OLIVEIRA, Jardel Rodrigo do Sacramento. **Desenvolvimento de jogos eletrônicos: Uma perspectiva das etapas e estratégias de desenvolvimento**. Niterói, RJ, 2016.

OHANNESSIAN, Kevin. **Game Face: L.A. Noire Brings Actors' Full Performance to Gaming**. Fast Company, 2011. Disponível em: <<https://www.fastcompany.com/1724050/game-face-la-noire-brings-actors-full-performance-gaming>>. Acesso em: 11 set. 2022.

PACHECO, Márcio. **Landstalker**. GameHall, 2016. Disponível em: <<https://gamehall.com.br/landstalker/>>. Acesso em: 02 set. 2022.

PARISH, Jeremy. **2013 in Review: Grand Theft Auto V: An Ugly Journey Through a Beautiful World**. VG247, 2013. Disponível em: <<https://www.vg247.com/2013-in-review-grand-theft-auto-v-an-ugly-journey-through-a-beautiful-world>>. Acesso em: 01 dez. 2022.

Partyfjes05. **Super Mario 64 GIF**. Tenor, 2020. Disponível em: <<https://tenor.com/pt-BR/view/super-mario-64-mario-nintendo-dunkey-gif-18551427>>. Acesso em: 01 dez. 2022

PERRY, Doug. **Super Mario 64 Review**. IGN, 1996. Disponível em: <<https://www.ign.com/articles/1996/09/26/super-mario-64> >. Acesso em: 24 nov. 2022.

PLUNKETT, Luke. **'HD' Doom Is Looking Very Nice**. Kotaku. 2018. Disponível em: <<https://www.kotaku.com.au/2018/12/hd-doom-is-looking-very-nice/>>. Acesso em: 25 set. 2022.

PLUNKETT, Luke. **Mod Creates 'HD' Final Fantasy VII Using AI Neural Networks**. Kotaku. 2019. Disponível em: <<https://www.kotaku.com.au/2019/01/mod-creates-hd-final-fantasy-vii-using-ai-neural-networks/>>. Acesso em: 25 set. 2022.

proleloI. **Here are some of game screenshots I took of Unreal: Gold (1998)**. Imgur, 2020. Disponível em: <<https://imgur.com/gallery/vQz3cu3>>. Acesso em 30 nov. 2022.

PURCHESE, Robert. **I was there when The Witcher 3 launched**. Eurogamer, 2016. Disponível em: <<https://www.eurogamer.net/inside-the-witcher-3-launch>>. Acesso em: 25 nov. 2022.

Red Dead Wiki. **Blackwater**. Disponível em: <<https://reddead.fandom.com/wiki/Blackwater>>. Acesso em: 01 dez. 2022.

RICHTER, Stephan R.; AL HAIJA, Hassan Abu; KOLTUN, Vladlen. Enhancing photorealism enhancement. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 2021.

ROBINSON, Martin. **The Revolution of Red Dead**. IGN, 2010. Disponível em: <<https://www.ign.com/articles/2010/02/22/the-revolution-of-red-dead>>. Acesso em: 24 nov. 2022.

ROLLINGS, Andrew; ADAMS, Ernest. **Andrew Rollings and Ernest Adams on Game Design**. New Riders, 2003.

RPG-O-MANIA. **Landstalker**. Disponível em: <https://www.rpg-o-mania.com/spot_after_landstalker.php>. Acesso em: 01 set. 2022.

RUSSEL, Stuart; NORVIG, Peter. **Inteligência Artificial**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Campos, 2004.

SERRES, Mark. **Why Are You Here? Shigeru Miyamoto And The Ocarina Of Time**. Disponível em: <<https://www.kotaku.com.au/2013/07/why-are-you-here-miyamoto-and-the-ocarina-of-time/>>. Acesso em: 01 out. 2022

Shady Morte. **AnáliseMorte: The Legend of Zelda - Majora's Mask - Conheça o Lado Macabro e Real de Zelda Majora!**. DivulganteMorte, 2015. Disponível em:

<<https://www.divulgantemorte.com/2015/07/analismorte-legend-of-zelda-majoras.html>>.

Acesso em: 01 dez. 2022.

SindyJ_B. **Share of the Week – The Matrix Awakens: An Unreal Engine 5 Experience.**

Playstation Blog, 2021. Disponível em:

<<https://blog.playstation.com/2021/12/17/share-of-the-week-the-matrix-awakens-an-unreal-engine-5-experience/>>. Acesso em: 30 out. 2022.

STONE, Robert J.; PANFILOV, Peter B.; SHUKSHUNOV, Valentin E. **Evolution of aerospace simulation: From immersive Virtual Reality to serious games.** In: Proceedings of 5th International Conference on Recent Advances in Space Technologies-RAST2011. IEEE, 2011. p. 655-662.

Sumoneknew. **Ocarina of Time.** Imgur, 2021. Disponível em:

<<https://imgur.com/gallery/DoIZngb>>. Acesso em 28 nov. 2022.

TecToy. **Mortal Kombat – Violência e polêmica marcam primeiro jogo da série.** 2019.

Disponível em:

<<https://blogtectoy.com.br/mortal-kombat-violencia-e-polemica-marcam-primeiro-jogo-da-serie/>>. Acesso em: 14 set. 2022.

ThatScottishGuy. **DOOM or Wolfenstein?** Video Games Amino, 2018. Disponível em:

<https://aminoapps.com/c/video-games/page/blog/doom-or-wolfenstein/epS3_ubWvNgMP3QV8lk3gLJNYwb30J>. Acesso em: 02 dez. 2022.

The Let's Play Archive. **Part 2: Atrus' Message.** Disponível em:

<<https://lparchive.org/Myst/Update%202/>>. Acesso em: 29 nov. 2022.

The Zork Library. **What Is Zork?.** Disponível em:

<<https://www.gameinformer.com/b/features/archive/2011/03/01/the-technology-behind-battlefi-eld-3.aspx>>. Acesso em: 12 out. 2022.

Unreal Engine. **Lumen Global Illumination and Reflections**. Disponível em: <<https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/lumen-global-illumination-and-reflections-in-unreal-engine/>>. Acesso em: 06 set. 2022.

VIDAL, Vítor. **Especial: Conheça a história dos gráficos dos games**. Showmetech, 2017. Disponível em: <<https://www.showmetech.com.br/historia-dos-graficos-dos-games/>>. Acesso em: 30 out. 2022.

Video Game Animation Study. **The Beauty of Parallax**. Youtube, 19 abr. 2019. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=z9tBce8eFqE>>. Acesso em: 19 out. 2022.

Video Games Evolution. **MORTAL KOMBAT real actors VS in game characters**. Youtube, 14 dez. 2018. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Tj3_0AmiJbg>. Acesso em: 25 out. 2022.

WALKER, Barry. **Game: Castlevania [NES, 1986, Konami]**. Pinterest. Disponível em: <<https://br.pinterest.com/pin/482588916295771496/>>. Acesso em: 01 dez. 2022.

WOLF, Mark J. P Perron, Bernard. **The Video Game Theory Reader. New York and London: Routledge**. 2003.

WOLF, Mark J. P Perron, Bernard. **Video Game History: From Bouncing Blocks to a Global Industry**. GreenwoodPress, Westport, Conn, 2008.

XBU ringdrossel. **Ist ein Baldur's Gate: Dark Alliance II Remaster in Arbeit?** XboxUser, 2021. Disponível em: <<https://www.xboxuser.de/news/ist-ein-baldur-s-gate-dark-alliance-ii-remaster-in-arbeit>>. Acesso em 02 dez. 2022.

ZHANG, Hansong. **Effective occlusion culling for the interactive display of arbitrary models**. The University of North Carolina at Chapel Hill, 1998.

ZWIEZEN, Zack. **Nintendo Was Worried Donkey Kong Country Was 'Too 3D'**. Kotaku, 2019. Disponível em: <<https://www.kotaku.com.au/2019/11/nintendo-was-worried-donkey-kong-country-was-too-3d/>>. Acesso em: 16 nov. 2022.

ZWENTNER. **Original Footage Used to Animate the Characters in the First Mortal Kombat Game.** Disponível em: <<https://www.zwentner.com/original-footage-used-to-animate-the-characters-in-the-first-mortal-kombat-game/>>. Acesso em: 10 dez. 2022.