

APLICAÇÃO DE GAME ENGINE NA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: ANÁLISE DO POTENCIAL A PARTIR DE UMA TAXONOMIA DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Daniel Braatz Antunes de Almeida Moura (UFSCar)

braatz@dep.ufscar.br

Esdras Paravizo de Brito (UFSCar)

esdras@dep.ufscar.br



A utilização de ferramentas e técnicas computacionais no âmbito da simulação em Engenharia de Produção é recorrente. Entre as diversas áreas que podem se beneficiar de tais aplicações a Gestão da Produção e, mais especificamente, o Planejamento e Projeto de Instalações Industriais se destacam como usuárias frequentes de ferramentas de desenho assistido por computador (computer-aided-design, CAD), simuladores de eventos discretos e outros. Atualmente, com o desenvolvimento acelerado de tecnologias de suporte à criação de jogos digitais as Game Engines (GE) - plataformas de criação e edição de ambientes virtuais - apresentam características de visualização e interação que vão além das ferramentas computacionais tradicionais. Nesse contexto, o presente estudo se baseia na taxonomia para tomada de decisão sobre técnicas de visualização para simulação em sistemas produtivos e logísticos proposta por Wenzel, Bernhard e Jessen (2003) para analisar o potencial de aplicação de GEs na Engenharia de Produção. A maior aplicabilidade de GE a determinados contextos e públicos alvos e suas características intrínsecas que possuem maior ou menor aderência aos critérios da taxonomia são algumas das conclusões derivadas deste trabalho.

Palavras-chave: Simulação, Projeto, Ambientes Virtuais, Imersão

1. Introdução

A simulação tem papel de destaque em diversas áreas de atuação profissional ligadas à engenharia de produção. Gestão da produção, logística, projeto de fábrica, ergonomia e projeto do trabalho podem ser destacadas como usuárias tradicionais de técnicas que buscam compreender os sistemas atuais de produção e prever (antecipar) comportamentos futuros em possíveis cenários (configurações).

No entanto, é importante destacar que o conceito de simulação é bastante amplo e não pode ser confundido com uma técnica específica (simulação de eventos discretos, por exemplo) ou uma ferramenta (um determinado software). Neste artigo compreende-se a “simulação” conforme o conceito de “situação de simulação” apresentado por Béguin e Weill-Fassina (2002) que apresentam a simulação como uma situação de trocas e um processo de construção de significações, considerando perspectivas de conhecer conteúdos (principalmente, ações e comportamentos), de transformação e de modo de expressão.

Dentro deste contexto algumas técnicas têm sido pesquisadas, em especial nos últimos dez anos, para melhorar e aperfeiçoar as situações de simulação. Este trabalho apresenta o uso de plataformas computacionais de desenvolvimento de jogos eletrônicos, conhecidas como *Game Engine* (GE), pelo potencial de contribuição que deve ser considerado e incorporado ao ferramental técnico clássico da engenharia de produção.

Para tal análise, parte-se da taxonomia proposta por Wenzel, Bernhard e Jessen (2003) para tomada de decisão sobre técnicas de visualização para simulação em sistemas de produção (e logística) e tem como referência o grupo alvo desejado e seu campo de aplicação principal.

2. Jogos eletrônicos e a técnica computacional game engine

Em fevereiro de 1946, criado para calcular tabelas de trajetórias balísticas para o exército americano, o primeiro computador do mundo foi posto em funcionamento: o *Electronic Numeric Integrator and Calculator – ENIAC* (DONOVAN, 2010). Desde então novas aplicações foram vislumbradas e desenvolvidas, culminando em grandes avanços nessa área.

A partir da década de 1960, os primeiros jogos eletrônicos começaram a ser desenvolvidos para computadores, com destaque para o “Spacewar!”, onde dois jogadores controlavam naves espaciais e duelavam no espaço; com os computadores tornando-se paulatinamente mais baratos, mais potentes e acessíveis, houve um impulso na criação de consoles, como o Odissey e Atari no início dos anos 1970 e de jogos, como Pong (considerado o primeiro jogo lucrativo da história) (DONOVAN, 2010). Na década seguinte são lançados jogos para sistemas de computador caseiros e o Pac-Man é um dos destaques da época (e reconhecido até hoje). Os avanços pós década de 1980 são gigantescos, com o número de títulos e plataformas aumentando de forma exponencial. No Quadro 1 apresenta-se um panorama condensado da evolução histórica dos jogos 3D, dando enfoque principal aos jogos de tiro em primeira pessoa (do inglês *first-person shooter*, FPS) e qual Game Engine utilizada. Tal categoria de jogo eletrônico (FPS) têm tido destaque em termos de desenvolvimento computacional, em especial no que se refere à modelagem física e dinâmica dos ambientes tridimensionais, manequins humanos e suas interações.

Quadro 1 – Breve descrição da evolução histórica dos jogos FPS

Ano de Lançamento	Jogo (Desenvolvedor)	Game Engine	Observações
1974	Maze War (Steve Colley)	ND	Considerado o primeiro jogo de tiro em primeira pessoa e um dos primeiros a simular um ambiente 3D (perspectiva) e permitir dois jogadores em rede.
1980	Battlezone (Atari)	ND	Tecnologia 3D <i>wireframe</i> inovadora. Governo dos EUA requisita uma versão para treinamento de tropas (sendo um exemplo de aplicação de <i>serious game</i>).
1987	MIDI Maze (Xanth Software F/X)	ND	Visual inspirado no PACMAN. Possibilidade de jogar em multiplayer (até 16 pessoas) com computadores conectados via cabo.
1992	Wolfenstein 3D (Id Software)	Wolfenstein 3D Engine	Jogo de referência do estilo FPS em 3D. A GE utilizada para o desenvolvimento do jogo foi a primeira a ser licenciada para outros desenvolvedores criarem seus jogos.
1993	Doom (Id Software)	Doom Engine	Divisor de águas pelos requisitos de hardware. Primeiro jogo a oferecer suporte para usuários fazerem modificações no jogo (<i>modding</i>). Suporte à multiplayer via internet.
1996	Quake (GT interactive & Id Software)	Quake Engine	Considerado o primeiro jogo modelado completamente em 3D. Intensifica e potencializa a criação de conteúdo pelos usuários.
2000	Counter-Strike (Valve Corporation)	Source Game Engine	Jogado em equipes (multi-player) com objetivo definido. Responsável pela popularização das Lan-houses em todo o mundo.
2004	Far Cry (Ubisoft)	CryEngine 1	Introduz a GE CryEngine na criação de jogos 3D com gráficos ultra realísticos, marcando uma nova era na indústria.
2013	Crysis 3 (Crytek)	CryEngine 3	Apresenta um salto de qualidade gráfica com altíssimo grau de personalização através de um editor de cenários.
2015	Fallout 4 (Bethesda Games)	Creation Engine	Desenvolvido em uma versão atualizada da GE utilizada no jogo Skyrim, apresenta diversas funcionalidades novas para a animação de personagens e com possibilidade de edição de cenários.

O desenvolvimento das tecnologias computacionais e sua subsequente popularização, possibilitaram a um grande público o acesso ao *hardware* necessário para executar os jogos e suas respectivas GE, especialmente as mais recentes que requerem alta capacidade de processamento gráfico dada a quantidade e complexidade de cálculos necessários à renderização em tempo real de cenários 3D de alto realismo. Atualmente, destacam-se as game engines CryEngine (Crytek), Unreal Engine (Epic Games) e Unity 3D (Unity Technologies), sendo largamente referenciadas e utilizadas pela indústria de jogos.

O aproveitamento do conceito de jogos em aplicações externas ao objetivo original (entretenimento) também ficou conhecido como *serious games* e tem um potencial irrestrito à um campo do conhecimento único; estudos recentes indicam a possibilidade de uso de GE na área de psicologia e estudo do comportamento humano (VARA et al, 2015), ensino (HAMARI et al, 2016; KOOPS et al, 2016), treinamento de pessoal e gestão do conhecimento (AZIZ et al, 2014; ALLAL-CHÉRIF e MAKHLOUF, 2015; KWON e LEE, 2016), gerenciamento de plantas produtivas (CHE MAT et al, 2015) e projeto e simulação de instalações (BRAATZ et al, 2011; HJELSETH; MORRISON e NORDBY, 2015).

Em um contexto no qual a indústria de jogos eletrônicos se encontra em contínua expansão, com orçamentos multimilionários, além do crescente interesse por tecnologias de imersão e realidade virtual, nota-se uma potencial apropriação das tecnologias desenvolvidas por tal indústria para o contexto de planejamento e projeto de instalações produtivas, articulando-as com as técnicas e ferramentas tradicionalmente empregadas.

3. Método

A análise da GE aplicada ao planejamento, projeto e gestão de sistemas produtivos proposta tem como referência a taxonomia desenvolvida por Wenzel, Bernhard e Jessen (2003). Os autores afirmam que a taxonomia é a base para a classificação de técnicas de visualização de simulação relevantes e permite definir/atender necessidades específicas. As intenções de uso dos estudos de simulação são diversas e variam conforme a etapa (momento do processo) e público alvo. Os diferentes campos de aplicação e públicos-alvo apresentados na taxonomia proposta são sintetizados no Quadro 2.

Quadro 2 – Diferentes características dos estudos de simulação de sistemas de produção

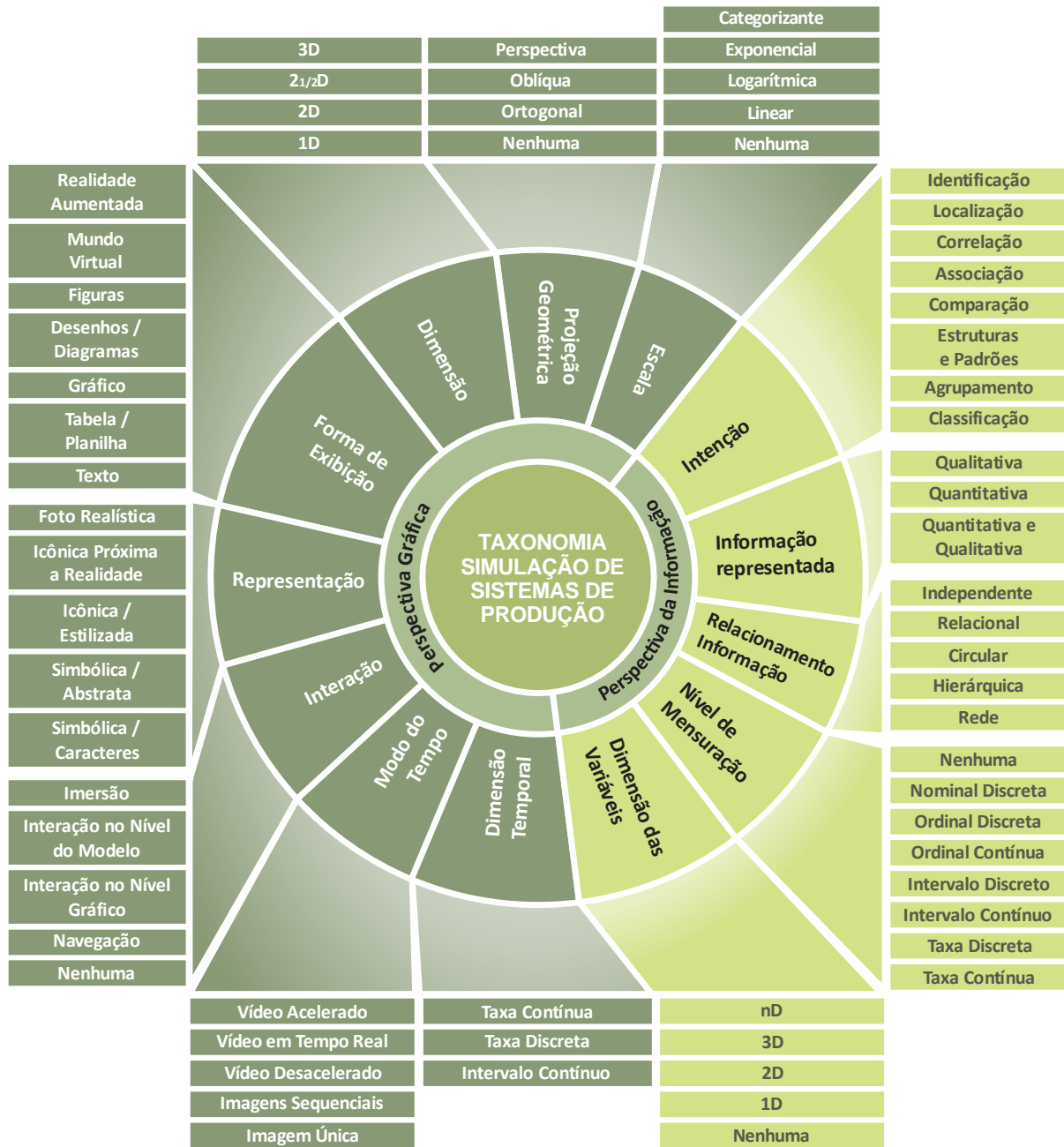
Campo de Aplicação	Público-alvo
Análise de sistemas produtivos	Departamento de Simulação
Modelagem	Departamento de Planejamento
Validação	Gerência
Experimentação	Comercial Técnico
Representação e interpretação dos resultados	Manutenção de Instalações
Treinamento	Produção e Logística
Operação em paralelo	Distribuição e Marketing
Promoção de vendas e relações públicas	Consumidores
Comunicação interdisciplinar	Público

Fonte: elaborado a partir de Wenzel, Bernhard e Jessen (2003)

A confrontação destacando a relevância entre os campos de aplicação e os grupos alvo é descrita em um padrão da Associação de Engenheiros da Alemanha direcionado a usuários de tecnologia de simulação (planejadores, fornecedores, operadores, prestadores de serviços) que estão envolvidos na preparação, implementação e avaliação de estudos de simulação para investigar sistemas de manuseio de materiais, logística e produção. A norma VDI 3633 define os conceitos, descrições gerais e relação de temas como otimização, visualização, recursos humanos e custos com estudos de simulação (VDI, 2003).

São duas as perspectivas exploradas pela taxonomia em uso: (1) do ponto de vista gráfico e (2) pelo ponto de vista relacionado à informação. Assim, na primeira (1) são apresentados critérios que auxiliam na classificação de técnicas de visualização de simuladores de eventos discretos, que variam desde apresentações estáticas com valores estatísticos e com pouco auxílio para a compreensão da dinâmica do sistema analisado até animações tridimensionais que ilustram o comportamento dos modelos, porém não fornecem informações quantitativas sobre o mesmo. A segunda perspectiva (2) traz critérios norteadores da classificação das técnicas de visualização em simulação do ponto de vista da informação que é apresentada, identificando desde sua intenção principal até as características que são determinadas pela técnica de visualização escolhida. Os critérios e possibilidades de classificação são apresentados na Figura 1; as definições são apresentadas no tópico Resultados, juntamente com a análise realizada e classificação proposta.

Figura 1 – Taxonomia de Simulação de Sistemas de Produção



Fonte: criada a partir de Wenzel, Bernhard e Jessen (2003)

Os dados para análise de Game Engines como potencial ferramenta de simulação de sistemas de produção foram extraídos dos resultados de pesquisas desenvolvidas pelos autores entre os anos de 2014 e 2016. Tais experimentos foram criados com GE Unreal Engine (versão 4.10.1) e tinham como objetivo reproduzir uma instalação produtiva em termos de estrutura predial, presença de máquinas, materiais e humanos (simulando trabalhadores) e possibilitasse a exploração deste ambiente virtual e a interação com o modelo (sendo a principal interação programada a mudança de layout dos equipamentos de um arranjo funcional para um arranjo celular). A Figura 2 ilustra o ambiente virtual modelado para simulação de um sistema de produção usando a GE Unreal.

Figura 2 – Ambiente Virtual Desenvolvido com GE para Simulação de Sistemas de Produção



4. Resultados

Nesta seção são apresentadas as definições e opções (destacadas em **negrito**) dos critérios de classificação elencados por Wenzel, Benhard e Jessen (2003), seguindo-se da análise dos resultados.

4.1. Critério dimensão

O critério de Dimensão tem como objetivo avaliar a importância e o número de dimensões utilizadas na ferramenta de visualização. A apresentação pode considerar uma única dimensão (**1D**) como, por exemplo, o comprimento de barra de um gráfico; uma representação **2D** pode ser obtida ao se empregar gráficos e arranjos físicos de modelos bidimensionais. Os autores apresentam ainda a **2_{1/2}D** dimensões como uma apresentação tridimensional desenvolvida a partir de uma apresentação bidimensional (e.g. gráficos tridimensionais ou um layout 2D em perspectiva fixa dando ideia de profundidade) e, por fim, as apresentações **3D** que se configuram por apresentação espacial com livre escolha de perspectiva.

A ferramenta de GE aplicada pode ser classificada dentro deste critério como uma técnica de visualização 3D, uma vez que os ambientes e cenários desenvolvidos nela são tridimensionais e pela possibilidade de variar o posicionamento da câmera e a perspectiva (primeira ou terceira pessoa) durante a simulação em tempo real.

4.2. Critério representação

O critério de Representação tem o intuito de caracterizar a maneira pela qual informações são visualmente apresentadas. Essa representação pode ser **simbólica por caracteres** (utilizando-se de elementos alfanuméricos), **simbólica abstrata** (onde símbolos são representações bi ou tridimensionais com um significado específico, a

partir de uma codificação prévia, dentro do contexto no qual está inserido), **icônica estilizada** ou **icônica próxima a realidade** (onde os ícones representam seu significado imediatamente, sem necessidade de legenda ou convenção de códigos; dado o grau de fidedignidade da representação gráfica ou real ela estará mais próxima ao estilizado ou realista) e por fim, **foto-realística** (alto grau de verossimilhança com a situação real).

Em termos de representação, entende-se que a ferramenta sob análise comporta todos os tipos de representação gráfica apresentados na taxonomia, uma vez que o emprego conjunto de símbolos, ícones e representações foto-realísticas é possível de ser implementado concomitantemente e de forma complementar. É ainda importante destacar que a ferramenta de GE utilizada é extremamente poderosa em termos de representações foto-realísticas; as técnicas de texturização com imagens dos objetos, manequins e cenários têm sido desenvolvidas nos últimos anos e a possibilidade de renderização em tempo real (computando sombras, iluminação e efeitos ópticos no ambiente) são características significativas dessa ferramenta.

4.3. Critério forma de exibição

Tal critério compreende a representação de um evento em uma determinada técnica de visualização. A representação **textual** se caracteriza pela utilização de uma sequência de caracteres; já a forma de **tabela/planilha** apresenta caracteres arranjados em uma estrutura visual (linhas e colunas); e o **gráfico** congrega um arranjo estruturado com caracteres, símbolos e ícones. **Desenho/diagrama** é uma abstração que carrega as principais características do original (podendo ser uma representação 2D, $2_{1/2}D$ ou 3D, com uma estrutura similar à do original), **figura** é uma representação que é extremamente parecida com o original. Por fim, os autores apresentam **mundo digital** como um ambiente tridimensional que pode ser vivenciado pelo usuário e **realidade aumentada** sendo a incorporação de objetos e cenários virtuais à realidade.

Com relação à forma de exibição a ferramenta de GE aplicada está na categoria de mundo digital, uma vez que ela possibilita a criação de cenários e ambientes completos (com imensa variedade de objetos, estruturas e personagens tridimensionais) que podem ser livremente explorados pelo usuário, de acordo com seu próprio interesse (ao contrário de um vídeo tradicional, por exemplo). Destaca-se o potencial que as GE apresentam por permitirem diversos tipos de navegação (primeira ou terceira pessoa, com veículos, visão aérea livre, etc.), além da realidade virtual e imersão, que conglomeram hardware específico para possibilitar ao usuário uma interação intensa no ambiente virtual.

4.4. Critério escala

A Escala se refere à medida dimensional escolhida como referência para o sistema de coordenadas (cartesiano, polar, cilíndrico ou esférico). Assim, a técnica de visualização pode apresentar **nenhum** sistema geométrico de referência ou escalas **linear**, **logarítmica** e **exponencial**, nas quais os eixos são particionados de forma equidistante, logarítmica ou exponencial, respectivamente. Caso a partição do eixo não siga uma escala, mas sim categorias, é então classificada como **categorizante**.

A ferramenta de GE em geral não apresenta sua escala de forma explícita, entretanto, especificamente para os desenvolvimentos discutidos no escopo desse trabalho, a classificação mais coerente é de escala linear, uma vez que cria-se um ambiente tridimensional (em um sistema de coordenadas XYZ), no quais as dimensões são usualmente medidas em metros.

4.5. Critério projeção geométrica

A projeção é um fenômeno físico recorrente na natureza (e.g. quando se incidem raios luminosos sobre um objeto, a sombra do mesmo verificada sobre uma superfície é uma projeção) que pode ser reproduzido e utilizado para transformar objetos em um espaço de n-dimensões em um espaço com menos dimensões. Para efeitos do critério de Projeção Geométrica, utiliza-se a projeção cilíndrica (na qual os raios se originam em um ponto infinitamente distante do objeto, cruzando todos seus pontos e intersectando o plano de projeção). Assim, identificam-se as classificações de projeção geométrica como nenhuma (quando nenhuma projeção geométrica é necessária), **ortogonal** (quando os raios projetantes incidem sobre o plano de projeção perpendicularmente), **oblíqua** (quando o ângulo é diferente de 90°) e em **perspectiva** (quando o centro da projeção está a uma distância finita do plano de projeção), podendo ser empregadas mais de um tipo de projeção em uma mesma técnica de visualização, caso necessário.

Dado o caráter tridimensional por excelência da ferramenta de GE empregada, pode-se categoriza-la como projeção em perspectiva, sendo que o usuário fica livre para navegar pelo modelo e interativamente mudar seu ponto de observação dos diferentes objetos e cenários em um *continuum* de visualização 3D.

4.6. Critério dimensão temporal

A Dimensão Temporal do modelo gráfico, determina basicamente se (e como) a visualização é definida em relação a um referencial de tempo. Se o modelo ou visualização é estático, sem mudanças, conclui-se que ele possui **nenhuma** dimensão temporal; caso o modelo seja dinâmico, com mudanças em pontos específicos do tempo, afirma-se que é um modelo de **taxa discreta**; e quando as mudanças ocorrem de forma contínua no tempo, tem-se um modelo de **taxa contínua**

Nesse critério a GE não só apresenta dimensão temporal contínua, como se desenvolve em tempo real, incorporando os inputs do usuário ao decorrer da visualização. Dada à flexibilidade da ferramenta, há a possibilidade de criação de “pontos de singularidade” que avancem ou retrocedam a linha do tempo original em incrementos, de acordo com a necessidade da aplicação.

4.7. Critério modo do tempo em apresentação

O Modo do Tempo em Apresentação determina como uma imagem (ou sequência de imagens) é apresentada ao usuário em relação a um referencial de tempo. Pode-se apresentar uma **imagem única** do modelo (que é estático ou dinâmico) ou **imagens sequenciais**, apresentando vistas discretas do modelo de modo a compor um fluxo de imagens organizadas cronologicamente. Quando são apresentadas imagens do modelo organizadas cronologicamente e proporcionais a um referencial de tempo (*frames* por segundo, normalmente) tem-se **vídeos** que podem ser **desacelerados, em tempo real** ou **acelerados**, de acordo com a constante de proporcionalidade aplicada.

A ferramenta de GE utilizada pode ser caracterizada como vídeo em tempo real, dadas as suas características que emulam não só o ambiente físico, mas também o aspecto temporal da visualização gerada. Os parâmetros podem ser configurados na GE de forma a possibilitar a manipulação da proporcionalidade temporal padrão para obter efeitos de aceleração ou desaceleração, conforme a necessidade da visualização.

4.8. Critério interação

A Interação define como o usuário interpreta a visualização da simulação e como ele pode manipular essa apresentação. Um sistema pode ser considerado interativo quando seu tempo de resposta a um comando dado não influi no processo de trabalho do usuário. Assim, pode-se dizer que uma técnica de visualização possui **nenhuma** interação (sendo possível unicamente assistir à apresentação) ou com **navegação** (quando o usuário pode controlar a apresentação, através de botões de iniciar-parar, por exemplo). A interação pode ainda se dar **no nível gráfico** (mudando zoom, detalhes ao clicar, etc.) ou **no nível do modelo**, alterando seu comportamento ou características (e.g. quantidade e posição de objetos, modelos humanos, entre outros). Por fim, tem-se a **imersão**, na qual o usuário se torna parte do modelo e interage intensamente com o ambiente virtual gerado.

Nesse sentido a ferramenta aplicada se destaca por ser imersiva, uma vez que o usuário assume o papel de um personagem dentro do mundo virtual criado, podendo interagir em diversos níveis com o modelo, com interação entre usuário-ambiente (ligando/desligando máquinas ou mudando a posição/layout dos objetos, como no experimento desta pesquisa), interação entre usuário-atores (diálogos programados ou acompanhar/definir ações de um personagem não jogável/manipulável - do inglês *non-player character* ou NPC) e multi-usuários (quando o ambiente virtual comporta um espaço multi-jogadores com possibilidade de comunicação).

4.9. Critério intenção

O critério de Intenção é o primeiro que caracteriza as técnicas de visualização de simulação de sistemas de produção pela perspectiva da informação. Define-se neste quesito a função primária pretendida com o modelo de simulação, podendo ser: a **identificação** de valores característicos, a definição de **localização** relativa ou absoluta de algo, a **correlação** ou **associação** para apontamento de relações diretas ou indiretas, respectivamente, a **comparação** visando destacar semelhanças e ou diferenças, o **reconhecimento** de estruturas e padrões típicos, o **agrupamento** por características e tipologias, e por fim, a **classificação** conforme características conhecidas.

A ferramenta de GE analisada neste artigo pode ser classificada dentro deste critério em qualquer uma das funções levantadas com destaque para os objetivos de comparação e localização. Em todos os casos a GE pode ser muito útil para intenções direcionadas por percepções qualitativas, como é apontado pelo próximo critério.

4.10. Critério informação a ser representada

A tipologia da informação a ser representada estabelece um critério fundamental para classificação e escolha dos suportes de simulação de sistemas de produção. As informações **qualitativas** refletem preferencialmente ideias e correlações que não podem ser descritas de forma exata por gráficos, números ou expressões matemáticas como as informações **quantitativas**. Situações nas quais onde as duas tipologias são desejáveis podem ocorrer e demandam a mescla para representações e tratamentos tanto de caráter objetivo (sintético) quanto subjetivo (analítico/descritivo).

Como apresentado anteriormente, o ferramental utilizado de GE possui grande potencial para representação de informações de ordem qualitativa. Porém, destaca-se que o mesmo apresenta recursos que permitem a programação personalizada para tratamento e apresentação de informações quantitativas (com sérias restrições,

principalmente se comparado com softwares especialistas de simulação discreta e contínua que possuem, inclusive, base estatística para auxílio no tratamento de dados quantitativos).

4.11. Critério relacionamento da informação

O nível de dependência das informações apresentadas nas simulações de sistemas de produção pode ser classificado desde nulo, isto é, **independente**, até um nível máximo, denominado em **rede**. Níveis intermediários são: **relacional**, **circular** e **hierárquico**. A GE aplicada pode ser classificada com um relacionamento das informações do tipo independente ou relacional. Outros tipos de relacionamento são possíveis através de um esforço via programação (sob as mesmas condições apresentadas no critério anterior).

4.12. Critério nível de mensuração

A codificação da informação pode ser estabelecida em um critério que trata do nível de mensuração que indica a exatidão da ilustração e, especialmente, das conclusões deduzíveis a partir das técnicas de visualização. Assim, a informação resultante pela técnica gráfica pode ser compreendida (e medida) por uma das seguintes formas: **taxa contínua ou discreta**, **intervalo contínuo ou discreto**, **ordinal contínuo ou discreto**, **nominal discreto** ou **nenhuma**. A análise da GE aponta para uma classificação relativa entre o intervalo da taxa contínua até o nominal discreto, visto a possibilidade de alta interação com o modelo e captura (mensuração) de vários tipos de informação, desde o tempo (contínuo), distâncias (intervalo discreto ou contínuo) e até quantidades de recursos/elementos presentes no sistema (nominal discreto).

4.13. Critério dimensão das variáveis dependentes

Outra possibilidade de codificação da informação pode se dar pela dimensão das variáveis dependentes. Tais dimensões variam conforme o número de valores que podem ser apresentados (codificados) visualmente para cada ponto observado. Tais valores podem ser **nD** (múltiplas dimensões), **3D** (tridimensional), **2D** (bidimensional), **1D** (unidimensional) e sem dimensão (**nenhuma**).

Novamente, a análise aponta para uma classificação relativa entre o intervalo 1D até o nD, visto a possibilidade de alta interação com o modelo e captura (mensuração) de vários tipos de informação, como altura, comprimento e largura de um objeto (isoladamente, 1D, ou nos três eixos, 3D) e seu comportamento ao longo do tempo (quarta dimensão).

5. Discussão

A análise dos critérios definidos pela taxonomia proposta por Wenzel, Bernhard e Jessen (2003) permite uma reflexão do uso potencial de uma tecnologia inovadora (e com perspectiva de avanço contínuo) ligada ao desenvolvimento de jogos eletrônicos. Os resultados apontam para critérios que foram atendidos com destaque ou de forma satisfatória e que podem servir como referência para as empresas de desenvolvimento de software tradicionais de modelagem e simulação discreta de sistemas de produção. Importante destacar que outros critérios, também considerados de fundamental importância para a aplicação desejada, não obtiveram resultados aceitáveis, isto é, a GE analisada não atendeu aos requisitos desejados de forma suficiente. Além destes, apenas um critério foi considerado como não atendido, apesar da análise apontar para a viabilidade do mesmo ser

acolhido, porém com um alto custo de programação. O Quadro 3 apresenta uma síntese da análise dos critérios e resultados obtidos para a GE aplicada para simulação de sistemas de produção.

Quadro 3 – Síntese da análise dos critérios da taxonomia e avaliação final

Critérios da Taxonomia	Análise em Relação à GE	Avaliação Final
Dimensão	Ambientes e cenários 3D por excelência, com livre escolha de perspectivas e posicionamento de câmera	Critérios Atendidos com Destaque
Representação	Comporta todos os tipos de representação. A representação foto-realística é um dos maiores diferenciais	
Forma de Exibição	Mundo digital, com potencial de imersão nos ambientes e cenários desenvolvidos	
Projeção Geométrica	Projeção em perspectiva, dado o caráter 3D da GE	
Interação	Imersiva, sendo possível atuar sobre o modelo e suas características gráficas	
Dimensão Temporal	Visualização das mudanças em taxa contínua	Critérios Atendidos Satisfatoriamente
Modo do Tempo	Emulação em tempo real	
Escala	Sistema de coordenadas 3D linear	
Intenção	Destaque para os objetivos de comparação e localização de questões de caráter qualitativo	Critérios Atendidos Parcialmente
Informação Representada	Principalmente qualitativa	
Nível de Mensuração	Variado, dependente do enfoque da análise	
Dimensão das Variáveis	Múltiplas dimensões, principalmente por possibilitar a interação com modelo 3D ao longo do tempo (4D)	
Relacionamento da Informação	Informações independentes ou relacionais, podendo-se implementar outros relacionamentos através de programação	Critérios Não Atendidos

A partir dos critérios e avaliações realizadas e em termos das diferentes características dos estudos de simulação de sistemas de produção, é possível destacar quais campos de aplicação e públicos alvo podem ser atendidos via tecnologia de jogos eletrônicos. A síntese desta análise pode ser observada no Quadro 4.

Quadro 4 – Síntese da análise dos campos de aplicação e públicos-alvo atendidos

Campo de Aplicação	Avaliação	Públicos-alvo	Avaliação
Comunicação interdisciplinar	Atendido com Destaque	Departamento de Planejamento	Atendido com Destaque
Treinamento		Gerência	
Promoção de vendas e relações públicas		Distribuição e Marketing	
Validação	Atendido Satisfatoriamente	Consumidores	
Análise de sistemas produtivos		Público	
Modelagem	Atendido Parcialmente	Produção e Logística	Atendido Satisfatoriamente
Representação e interpretação dos resultados		Departamento de Simulação	
Experimentação	Não Atendido	Manutenção de Instalações	Atendido Parcialmente
Operação em paralelo		Comercial Técnico	

6. Considerações Finais

A análise apresentada a partir de uma taxonomia para classificação de técnicas de visualização para simulação de sistemas permite uma percepção mais objetiva do potencial uso de Game Engines para o planejamento e projeto de situações produtivas.

A partir dos resultados obtidos, dois caminhos distintos (não excludentes) são claramente percebidos: (1) empreendimento de esforços para que as GE incorporem os critérios e campos de aplicação não atendidos, o que pode ocorrer em atitudes isoladas e voluntárias de usuários programadores; e (2) as empresas desenvolvedoras de

softwares de simulação desenvolvam suas ferramentas no sentido de incorporar características pelas quais as GE têm proeminência em determinados critérios - esta iniciativa tende a ocorrer objetivando ter nesta evolução um diferencial de produto e, assim, buscar uma maior participação nesse mercado.

REFERÊNCIAS

ALLAL-CHÉRIF, Oihab; MAKHLOUF, Mohamed. Using serious games to manage knowledge: The SECI model perspective. **Journal of Business Research**, v. 69, n. 5, p. 1539-1543, 2015.

AZIZ, EL-Sayed S. et al. Virtual Mechanical Assembly Training Based on a 3D Game Engine. **Computer-Aided Design and Applications**, v. 12, n. 2, p. 119-134, 2015.

BÉGUIN, Pascal.; WEILL-FASSINA, Annie. Das Simulações das Situações de Trabalho à Situação de Simulação. In: DUARTE, Francisco. (Ed.). **Ergonomia e Projeto: na indústria de processo contínuo**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ; Editora Lucerna, 2002. 34–63 p.

BRAATZ, Daniel et al. Conceptual and methodological issues for the application of game engines in designs of productive situations. In: **Proceedings of 21st International Conference on Production Research**. Stuttgart. 2011.

CHE MAT, Ruzinoor et al. Online 3D oil palm plantation management based on game engine: A conceptual idea. **Jurnal Teknologi**, v. 78, n. 2, p. 109-113, 2015.

DONOVAN, Tristan. **Replay: the history of videogames**. Lewes, UK: Yellow Ant, 2010. 516p.

HAMARI, Juho et al. Challenging games help students learn: An empirical study on engagement, flow and immersion in game-based learning. **Computers in Human Behavior**, v. 54, p. 170-179, 2016.

HJELSETH, Snorre; MORRISON, Andrew; NORDBY, Kjetil. Design and computer simulated user scenarios: Exploring real-time 3D game engines and simulation in the maritime sector. **International Journal of Design**, v. 9, n. 3, p. 63-75, 2015.

KOOPS, Martijn C. et al. Learning Differences Between 3D vs. 2D Entertainment and Educational Games. **Simulation & Gaming**, v. 1, p. 20, 2016.

KWON, Jungmin; LEE, Youngsun. Serious games for the job training of persons with developmental disabilities. **Computers & Education**, v. 95, p. 328-339, 2016.

VARA, Maria Dolores et al. A game for emotional regulation in adolescents: The (body) interface device matters. **Computers in Human Behavior**, v. 57, p. 267-273, 2016.

VDI 3633 Part 11: Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf: VDI-Richtlinie 3633, Blatt 11, **Simulation und Visualisierung**. VDI-Handbuch Materialfluss und Fördertechnik, Volume 8, Berlin: Beuth Verlag, 2003.

WENZEL, Sigrid; BERNHARD, Jochen; JESSEN, Ulrich. A taxonomy for simulation in production and logistics. In: **Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference**, New Orleans, USA, 2003.