

Simulação interativa visual: uma ferramenta para tomada de decisão

Francisco Sabbadini¹

sabbadini01@yahoo.com.br

Mário Jorge F. de Oliveira¹

mario_jo@pep.ufrj.br

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

RESUMO

Os avanços na área de computação gráfica, associados à redução dos custos dos computadores têm possibilitado avanços significativos na simulação interativa visual e tornado mais efetiva a sua utilização na análise de sistemas complexos e como ferramenta de apoio à tomada de decisão. Este artigo apresenta um panorama relativo à simulação visual e a fundamentação conceitual do tema. Em seguida são relacionados os conceitos de Simulação visual Interativa e Modelagem Visual Interativa. Faz uma breve revisão histórica e posteriormente são apresentadas algumas aplicações e tendências futuras. Nos últimos anos muitos trabalhos tem sido desenvolvidos na área de ambientes de simulação voltados para tomadores de decisão. Novos conceitos de simulação visual têm sido apresentados e cada vez mais softwares têm sido desenvolvidos para aplicações de simulação interativa visual.

Palavras-Chave: Simulação Interativa Visual, Simulação, Tecnologia de informação.

1. INTRODUÇÃO

A difusão do uso da simulação em diferentes áreas de aplicação associada ao desenvolvimento de recursos de computação permitiu a análise e o estudo de sistemas cada vez mais complexos, que têm demandado o tratamento de um volume cada vez maior de dados e de informações.

Diante da necessidade de elevar a produtividade e tornar mais amigável a simulação e a interpretação dos resultados destas, realizaram-se diversas pesquisas para o desenvolvimento de ferramentas que possibilitassem um melhor tratamento e compreensão dos dados, através de formas mais eficientes e eficazes de apresentação dos mesmos. A partir de então, a utilização de elementos gráficos e de animação foi incorporada em todos os processos relacionados com a simulação.

Os estudos e pesquisas, que serão descritos a seguir, têm sido direcionados para plataformas e sistemas que ofereçam ao usuário maior facilidade para a modelagem e a realização de experimentos, assim como, para permitir maior interatividade no ambiente de simulação. O desenvolvimento de computadores com maior poder de processamento e custo reduzido contribuiu para o avanço significativo nesta área, assim como permitiu a incorporação das técnicas de visualização de dados, a partir do qual originou-se a simulação visual interativa, a modelagem visual interativa, a representação de modelos em 2D e mais recentemente os avanços na representação da simulação em 3D.

Com o intuito de descrever a simulação visual e os avanços nesta área, o presente artigo está estruturado da seguinte forma: Na seção 2 são apresentados os conceitos de simulação visual, de interatividade e de simulação interativa visual. Na seção 3 são detalhados os ambientes de simulação interativa visual (VIS) e modelagem interativa visual (VIM). Na seção 4 descreve-se a evolução histórica e são descritos alguns desenvolvimentos recentes no campo da simulação visual em 3D. A seção 5 apresenta as principais aplicações da simulação

visual e as conclusões obtidas a partir deste estudo. A seção 6 descreve algumas tendências para o futuro da Simulação visual. A seção 7 apresenta a conclusão deste artigo.

2. SIMULAÇÃO VISUAL E INTERATIVIDADE

A simulação visual consiste na utilização de recursos de computação gráfica, que permitem a apresentação de dados e informações em forma gráfica, de modo que o usuário ou o modelador possa utilizar sua percepção visual para melhor analisar e compreender os dados, as informações e os resultados da simulação.

Segundo Marshall et al (1990) três categorias podem ser estabelecidas em termos de interação e visualização na simulação dependendo da forma de relacionamento entre o usuário e o modelo durante o processo e do uso de recursos de visualização por este. Essas categorias são o pós-processamento, o monitoramento e o controle, as quais são apresentadas na figura 1.

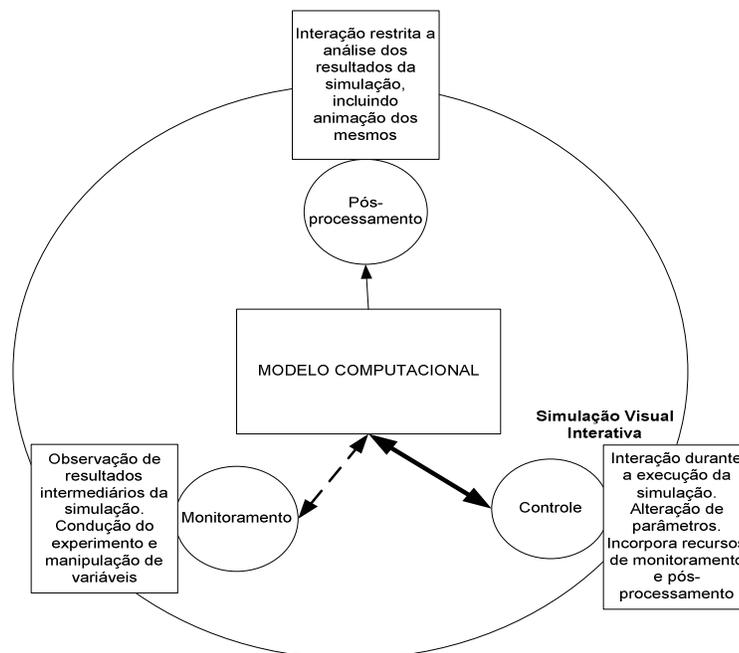


Figura 1 – Categorias de interação na simulação visual interativa
Fonte: Elaborado a partir de Wagner *et al* (1996)

De acordo com Hurrion (1976) e Bell e O'Keefe (1997) o conceito simulação visual interativa (Visual Interactive Simulation – VIS) incorpora os elementos de interatividade apresentados englobando a realização de várias etapas do processo de simulação, com a utilização de representações gráficas e animação, de maneira interativa.

3. AMBIENTES DE SIMULAÇÃO

Dois conceitos citados na literatura devem ser considerados dada a sua relevância na área de simulação visual: “*Visual Interactive Simulation*” (VIS), descrito por Hurrion (1976) e *Visual Interactive Modeling* (VIM) por Bell e O'Keefe (1987). Segundo Wagner et al. (1996; 1997) os dois conceitos estão voltados para a produção de ferramentas que visam possibilitar a condução dos experimentos de simulação de uma forma mais amigável, porém em ambientes distintos, sendo VIS voltados para experimentação e VIM para modelagem.

3.1. SIMULAÇÃO INTERATIVA VISUAL (VIS)

Segundo Hurrion (1976; 1991) e Bell (1991) e O'Keefe (1987; 1991) o conceito de VIS desenvolveu-se com o objetivo de facilitar a condução de experimentos de simulação, possibilitando a visualização de dados intermediários e controle completo do processo e dos parâmetros de modelo.

Para O'Keefe e Pitt (1991) VIS é o método pelo qual um modelo discreto apresenta visualmente a representação da dinâmica da simulação e permite a interação com o usuário que pode ver a estatísticas e realizar diferentes experimentos. A principal característica de VIS é a possibilidade de uma visualização de dados intermediários e a capacidade de interação com o modelo durante a realização da simulação de modo integrado, oferecendo ao usuário mecanismos para que este possa compreender e melhorar o sistema em estudo.

De acordo com Clark et al (1991) em sua fase original a técnica de VIS utilizou softwares de simulação visual para produzir diagramas animados na tela de um computador e definir as interações para um conjunto de variáveis de decisão estabelecidas previamente. Segundo O'Keefe e Pitt (1991) e Clark (1991) as principais vantagens de VIS são: 1) Melhor validação, aumento da credibilidade e aceitação do modelo; 2) Melhor comunicação entre o modelador e o cliente; 3) Incorporação de mecanismos de tomada de decisão, através da interação; e 4) Aprendizado pela prática.

Segundo Wagner et al (1996) as características desejáveis de um ambiente de VIS:

- a) Visualização gráfica do modelo de simulação;
- b) Possibilidade de interação do usuário com o modelo, ou seja, com sua representação gráfica;
- c) Possibilidade de interação do usuário com o experimento;
- d) Possibilidade de armazenar informações para análise em pós-processamento;
- e) Possibilidade de interação com os dados em nível de pós-processamento.

Considerando os recursos e as necessidades dos usuários no processo de simulação a estrutura de um ambiente VIS deve considerar os elementos apresentados na figura 2.

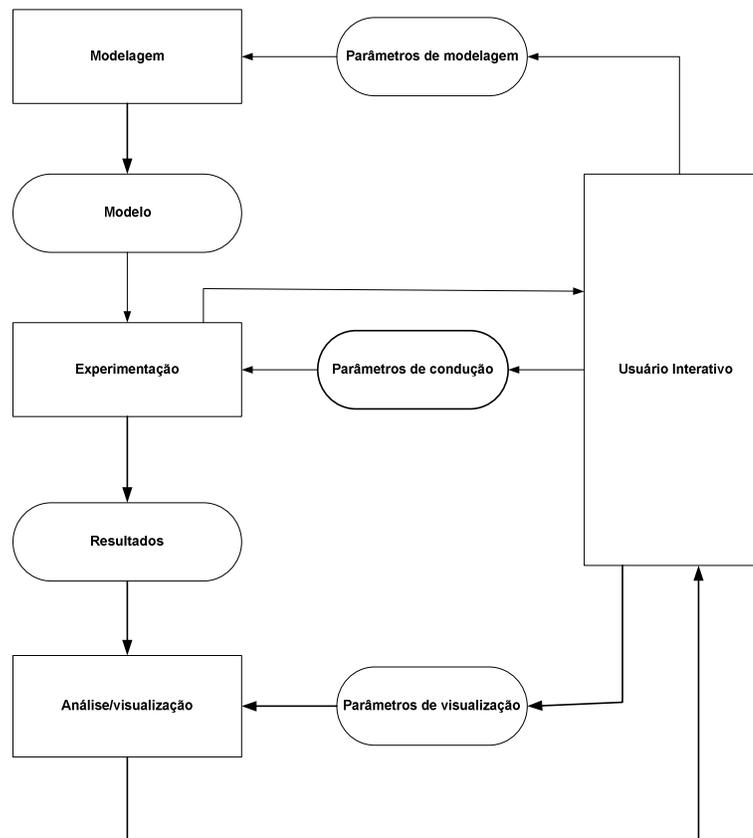


Figura 2 – Estrutura de ambiente de VIS

Fonte: Wagner et al (1996)

As facilidades propiciadas pela interatividade com o usuário de VIS logo foram incorporadas ao processo de modelagem, resultando no conceito de Visual Interactive Modeling (VIM) ou modelagem interativa visual.

3.2. MODELAGEM INTERATIVA VISUAL

Com relação a VIM, a idéia original era aumentar a produtividade do modelador, com ênfase na construção do modelo através dos recursos gráficos disponíveis naquela época. De acordo com Bell (1991) o desenvolvimento de modelos interativos visuais é um passo lógico de desenvolvimento da *Management Science* e da Pesquisa Operacional, consistindo numa técnica para a solução de problemas de modelagem. O conceito de VIM refere-se à construção do modelo de simulação em um ambiente gráfico-interativo de modo a permitir a descrição do comportamento dos elementos do sistema modelado.

Através de operações de seleção, posicionamento e conexão dos objetos o usuário pode construir o cenário do modelo utilizando para tal uma linguagem gráfica ou editor gráfico que permita a construção visual interativa do modelo de simulação. O modelo executável é representado através de uma linguagem de programação como C, C++ ou Pascal. A estrutura de um ambiente de modelagem interativa visual é apresentada na figura 3.

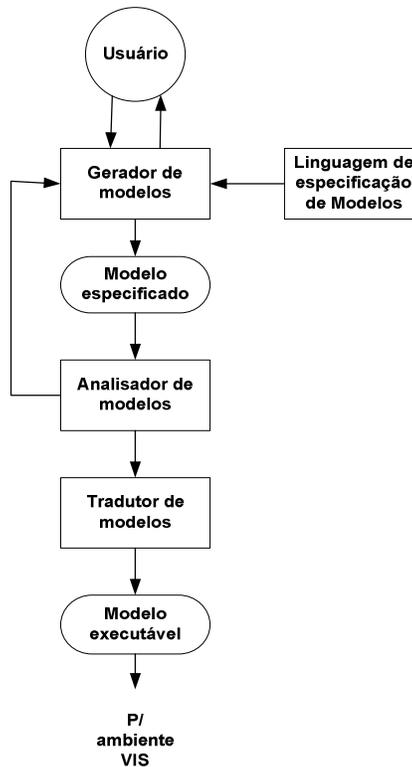


Figura 3 – Estrutura de VIM

Fonte: Wagner et al (1996)

Segundo Pidd (1998) um sistema de modelagem interativa visual conta com a disponibilidade de uma interface gráfica com o usuário, como por exemplo, o Microsoft Windows e alguns elementos básicos como um teclado, um mouse e uma tela colorida de alta resolução. De modo geral um modelo VIM é desenvolvido a partir de uma tela inicial vazia, onde se inserem ícones que irão representar os principais componentes do sistema, os quais são interligados para formar uma representação lógica de interação entre as entidades. A partir do momento em que o modelo encontra-se em status executável o ambiente VIS pode ser ativado para a realização de experimentos sobre o modelo construído e para as avaliações planejadas para alcançar os objetivos pretendidos na simulação.

4. BREVE HISTÓRICO DA SIMULAÇÃO INTERATIVA VISUAL

Serão listados abaixo as descobertas e avanços mais importantes na área de simulação visual desde seu início até os dias atuais.

Década de 60 - A difusão da simulação nas mais diferentes áreas de aplicação, o aumento da complexidade e do volume de dados gerados levaram a uma maior necessidade de visualização, além de exigir um nível mais aprofundado de compreensão destes, o que pode ser alcançado com a interação do usuário com o modelo que passa a ter a capacidade de influenciar seu comportamento. O desenvolvimento de computadores gráficos, principalmente a partir da década de 60, foi fundamental para a evolução das técnicas de simulação visual. O avanço da modelagem geométrica na representação de objetos e a produção de equipamentos que suportassem as exigências na representação visual significaram um salto significativo nesta área.

Década de 70 – Desenvolvem-se os conceitos e a plataforma de VIS (Visual Interactive Simulation), descritos por Hurrion (1976). Iniciam-se os primeiros estudos de VIM (Visual Interactive Modeling). Iniciam-se os projetos relacionados a softwares de simulação visual interativa.

Década de 80 – A primeira geração de softwares de simulação visual interativa inicia-se com o SEE WHY que permite a animação de diagramas e a definição de interações para mudanças nas variáveis de decisão. O SEE WHY foi originalmente desenvolvido para um mainframe IBM e foi posteriormente sendo adaptado para outros hardwares. Outros softwares comerciais foram desenvolvidos na década de 1980, a exemplo do FORSSIGHT e OPTIK (Bell, 1988). Uma segunda geração de softwares de simulação interativa visual foi desenvolvida ainda na década de oitenta, estes orientados para a manufatura industrial, a exemplo do WITNESS, XCELL e SimFactory (CLARK,1991).

O Conceito de Modelagem Interativa Visual (VIM) é consolidado com o desenvolvimento dos primeiros softwares de modelagem interativa, conforme Hurrion (1991) e Bell e O'Keefe (1987). A Warwick Expert Simulator desenvolve o software WES baseado na linguagem PROLOG utilizada até hoje em programas de inteligência artificial. Devido ao incremento da complexidade dos modelos de simulação e a necessidade de reduzir o ciclo de vida no desenvolvimento destes, a partir de 1983, iniciou-se o projeto SMDE (Simulation Model Development Environment), voltado para a pesquisa de problemas complexos, no sentido de prover a integração de ferramentas baseadas em computador para aumentar a produtividade, a qualidade e reduzir o tempo de construção dos modelos (BALCI, 1997).

Década de 90 até os dias atuais – O termo “Visual Simulation Environment” (VSE) surgiu no período compreendido entre 1983 e 1995, a partir de um projeto da marinha americana, onde desenvolveu-se um método de simulação a evento discreto de propósito geral, para a análise de problemas complexos (BALCI,1997). A consolidação do projeto deu-se nos anos noventa. O projeto VSE resultou de um processo evolutivo desenvolvido a partir de dois outros projetos: “Simulation Model Development Environment” (SMDE) e “Visual Simulation Support Environment” (VSSE). Partindo para a investigação da visualização e enfatizando o uso do paradigma orientado a objeto o protótipo VSSE foi desenvolvido em abril de 1992. A partir da experiência adquirida com os dois projetos anteriores e baseados no sistema operacional NEXTSTEP, para plataforma Unix, que consiste num software para desenvolvimento de ambientes orientado a objeto, foi desenvolvido um protótipo operacional completo de VSE, de uma plataforma de 2D (figura 4), em 1995, pelo Virginia Tech (BALCI, 1997).



Figura 4 – Simulação visual de uma clínica

Fonte: Balci, 1997.

Diversos softwares de simulação a eventos discretos utilizam o conceito de VIM, como por exemplo, o ProModel, Arena, AutoMod e MicroSaint (Pidd, 1998). Após o seu desenvolvimento, a tecnologia de VSE foi adaptada a diversos sistemas operacionais, assim como acompanhou da evolução de hardware e plataformas de suporte, conforme se pode observar no Quadro 1:

Tabela 1. Evolução dos sistemas operacionais e plataformas de suporte utilizadas pelo VSE.

Período	Sistema Operacional	Plataforma de Suporte (Hardware)
1996	NEXTSTEP/ Mach Unix	Intel / Pentium / Sun SPARC/ HP PA-RISK
1997	OPENSTEP/ Mach Unix	Intel Pentium
1997	Windows NT 4.0	Intel Pentium
1997	Windows 95	Intel Pentium
1998	New Machintosh / OS (Rapsody)	Power PC
1998	Windows 98	Intel Pentium
1999	Windows 2000	Intel Pentium
2002	Windows XP	Intel Pentium

Fonte: Adaptado de Balci (1987) e Orcacomputer (2000)

Avanços na modelagem visual na representação de objetos e a produção de equipamentos que suportassem as exigências na representação em 3D resultaram num avanço significativo da simulação interativa visual.

Uma plataforma para modelagem de simulação foi desenvolvida na UFRJ, a partir de 1980. Originalmente direcionada para o ensino de simulação, com ênfase na modelagem de problemas, sendo consolidada em 1990. A plataforma apresentou uma proposta inovadora, no sentido de produzir a visualização dos resultados do experimento num ambiente virtual em 3D (De Oliveira, 1999). A primeira aplicação foi o desenvolvimento de um hospital virtual, mostrado na figura 5.



Figura 5 - Hospital Virtual

Fonte: De Oliveira, 2002.

Outras aplicações da simulação visual 3D podem ser encontrados em áreas como manufatura e estudos de tráfego. Na manufatura podemos citar o trabalho de Mueller-Wittig *et al* (2002) e, também, Zhong e Yuan (2004) nos quais os autores desenvolveram uma fábrica

virtual, utilizando técnicas de visualização em 3D para avaliar os resultados da simulação (figura 6).

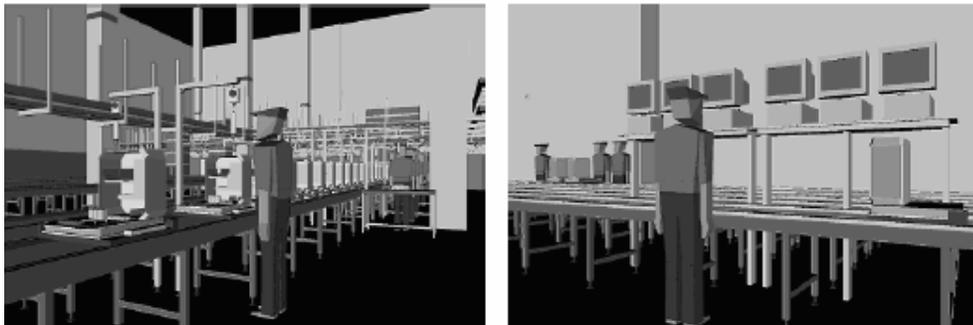


Figura 6. Linha de Montagem em 3D

Fonte: Zhong e Yuan, 2004.

Em estudos de tráfego, Hughes e Harkey (1999) utilizaram a simulação visual em 3D, integrando elementos de realidade virtual, para avaliar a percepção de ciclistas relacionada a fatores de risco no trânsito, conforme apresentado na figura 7.



Figura 7 - Ciclista em um ambiente virtual

Fonte: Hughes e Harkey , 1999.

5. APLICAÇÕES DA SIMULAÇÃO INTERATIVA VISUAL

Muitos pesquisadores hoje acreditam que simulação visual é uma área com grandes perspectivas de desenvolvimentos futuros, particularmente no caso da simulação visual em 3D. A seguir são apresentadas algumas áreas de aplicação da Simulação interativa visual embora sua utilização seja ampla como instrumento de apoio à decisão:

- Na área de saúde

No setor de saúde também existe a necessidade de utilizar-se de modo eficiente recursos limitados, buscando atender da melhor maneira os pacientes. Alguns exemplos recentes de aplicação da simulação visual interativa na saúde podem ser encontrados em sistema de admissão de emergência hospitalar (SABBADINI, 2005), no dimensionamento do serviço de atendimento móvel de urgência (GARCIA, 2006) e Gonçalves (2004) no planejamento da capacidade de atendimento em hospital de câncer, apresentado na figura 8.

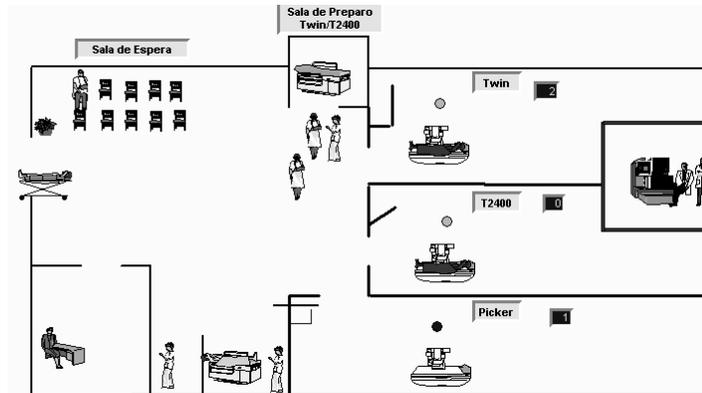


Figura 8 – Simulação visual no Hospital de Câncer

Fonte: Gonçalves, 2004.

- Gestão e Reengenharia de processos

Devido à competitividade cada vez mais intensa nos mercados, tem crescido o interesse de gestores e empresários em assegurar que seus processos mais importantes sejam eficientes e eficazes, o que resulta no redesenho de operações e processos. Alguns estudos nessa área são apresentados por Bhaskar et al. (1994) onde a simulação interativa visual é utilizada para a compreensão da maneira como os processos podem ser reorganizados. Davies (1994) desenvolveu um modelo computacional para a reorganização de processos empresariais.

- Aplicações no setor de defesa

O setor de defesa é uma área onde há uma ampla aplicação da simulação interativa visual, que varia desde estudos logísticos de guerra até a simulação de combates. Um campo de aplicação da simulação interativa visual no setor de defesa é na definição de estratégias e táticas relacionadas a elas. Um exemplo de aplicação nesta área pode ser visto em Martin (2001) e Balci (1998) apresentadas nas figuras 9 e 10 respectivamente.

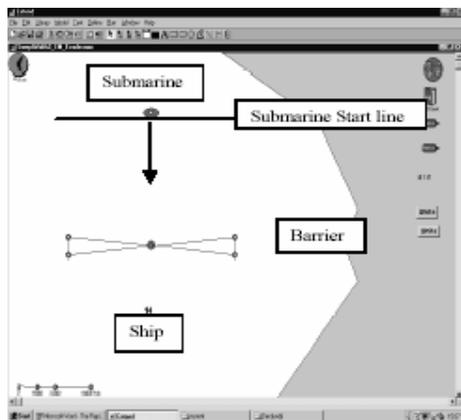


Figura 9 – Simulação de táticas

Fonte: Martins, 2001.

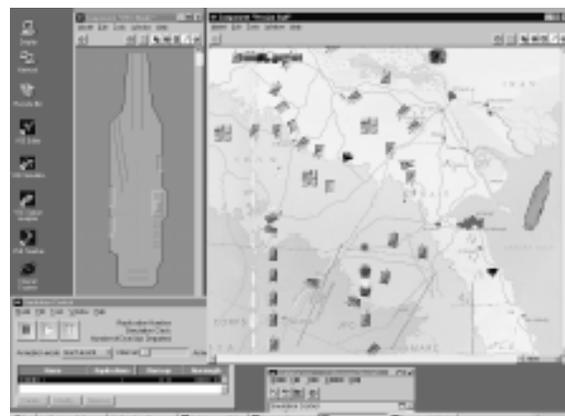


Figura 10 – Simulação da Guerra do Golfo

Fonte: Balci, 1998.

- Outras áreas de aplicação:

A simulação interativa visual tem sido utilizada em diversas áreas como logística, transporte, distribuição, educação, telecomunicações, engenharia e projetos, como instrumento de análise e apoio à tomada de decisão. Trabalhos e artigos desenvolvidos nestes segmentos

podem ser facilmente encontrados e baixados em formato PDF, nos *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, disponível em <http://www.wintersim.org>.

No campo da simulação interativa visual, as aplicações em 3D configuram-se como uma fronteira onde existem algumas aplicações e muitas perspectivas de desenvolvimento, inclusive com a integração a outras áreas do conhecimento. Alguns exemplos de aplicações envolvem: Simulação de filas (GASPAR, 1998), Fluxo de pacientes em hospital (GABCAN E DE OLIVEIRA, 2002), Simulação de tráfego urbano (HUGHES e HARKEY, 1999), sistemas de posicionamento e tráfego aéreo global (BALCI, 1998). Outro campo que têm se utilizado de recursos desta técnica são os desenvolvimentos em realidade virtual, conforme Zyda (2002).

6. TENDÊNCIAS PARA O FUTURO

Apesar de estar a mais de 50 anos em desenvolvimento a simulação interativa visual é um tópico abrangente em campos diferentes e tem tido uma importância crescente no desenvolvimento de vários projetos. Vamos listar abaixo algumas áreas de aplicação que estão sendo pesquisadas atualmente:

Simulação Interativa Visual em 3D:

- Desenvolvimento de plataformas que possibilitem gerar a simulação 3D em tempo real
- Desenvolvimento de sistemas de visualização em 3D

Simulação Interativa Multiusuário e ambientes WEB:

- Simulação visual interativa multiusuário em cirurgias
- Jogos educacionais
- Operação e manuseio de equipamentos a distância
- Desenvolvimento de ambientes e plataformas multiusuário

Realidade Virtual:

- Criação de tecnologias de imersão humana em ambientes virtuais
- Desenvolvimento de simulação para engenharia de performance
- Interoperabilidade
- Criação de recursos de Simulação interativa visual distribuída em ambiente virtual
- Desenvolvimento de aplicações e aprimoramento de ambientes virtuais multiusuário, baseado no conceito de MUVE (Multi-User Virtual Environment).

Sistemas de computação e ambientes:

- Desenvolvimento sistemas tutoriais inteligentes
- Linguagens de simulação que comportem os requisitos da simulação visual interativa
- Desenvolvimento de ambientes de simulação que comportem tanto os recursos de VIM quanto de VIS
- Construção de novos processadores, redes e softwares que vão superar limitações de programação e performances de rede inadequadas.

7. CONCLUSÃO

Neste artigo foi feita uma revisão da literatura e, a partir de uma perspectiva histórica, foram apontadas as origens e a direção de desenvolvimento de novas pesquisas no campo da simulação interativa visual. No mesmo sentido foram apresentados conceitos importantes que fundamentam o conhecimento acerca deste tema. Um dos principais benefícios observados na simulação interativa visual é a possibilidade que o usuário tem de entendimento, controle e experimentação assim como a utilização dessa ferramenta permite uma validação mais

consistente por parte dos usuários. Pode-se constatar que os avanços na área de informática e computação gráfica têm sido fatores relevantes no desenvolvimento da simulação interativa visual, onde novas oportunidades se apresentam com os avanços da WEB e dos sistemas de comunicação e posicionamento. Neste sentido apresenta-se como um importante recurso de suporte aos decisores, tendo em vista que os pacotes atuais tornaram mais fácil o desenvolvimento de modelos e experimentos por não especialistas em simulação e contribuíram para tornar mais amigável e flexível sua utilização.

Apesar de ser um campo com mais de 50 anos de desenvolvimento pode-se verificar que há fronteiras que não estão claramente definidas em relação a outras áreas e que indicam a tendência de se aproximar aplicações que utilizam 3D de outras, com tecnologias de imersão humana em ambientes virtuais, engenharia de performance humana, sistemas tutoriais inteligentes, aprendizado baseado em jogos, simulação baseada em agentes, linguagens de simulação (software), interoperabilidade, simulação distribuída e mundos virtuais. O crescimento do interesse pelo tema tem evoluído e pode ser percebido a partir da produção de artigos em jornais e da sua inclusão na temática de diversos associações e conferências.

7. REFERÊNCIAS

- BALCI, O. et al. The visual simulation environment technology transfer. In: Proceedings of the Winter Simulation Conference, 1997.
- BALCI, O. Visual Simulation Environment. In: Proceedings of the Winter Simulation Conference, 1998.
- BHASKAR, R. et al. Analyzing and re-engineering business processes using simulation. In: Proceedings of the Winter Simulation Conference, 1994.
- BELL, P.C.; O'KEEFE, R.M. Visual Interactive Simulation – history, recent developments and major issues. *Simulation*, 49, 3, set. 1997.
- BELL, P.C. Visual interactive modeling: the past, the presente and the prospects. *European Journal of Operational Research* 54, 274-286, 1991.
- CLARK, M.F. WITNESS: Unlocking the power of visual interactive simulation. *European Journal of Operational Research*, 54 293-298, 1991.
- DAVIES, M.N. Back-office process management in the financial services – a simulation approach using a model generator. *Journal of the Operational Research Society*, 45, 12, 1363-1373, 1994.
- De OLIVEIRA, M.J.F. 3D Visual Simulation Platform for the Project of a New Hospital Facility. In “ Monitoring, Evaluating, Planning Health Services”, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., pp 39-52, 1999, ISBN 981-02-4154-2
- De OLIVEIRA, M.J.F. 3D Visual Simulation Plataform for the project of a new hospital facility. In: Proceedings of 28th Meeting of the Euro Working Group of Operational Research Applied to Health Services, Rio de Janeiro, 2002.
- De OLIVEIRA, M.J.F.; GABCAN, L. 3D visual simulaton applied to new Thorax Disease Institute Visual Simulation a Hospital Sector. In: Proceedings of 28th Meeting of the Euro Working Group of Operational Research Applied to Health Services, Rio de Janeiro, 2002.
- GARCIA, L.C. Dimensionamento de Recursos de Atendimento Móvel de Urgência da Região Metropolitana II do Estado do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, 2006.

- GASPAR, N.B. Representação Visual de Modelos de Fila de Espera. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, 1998.
- HUGHES, R.G.; HARKEY, D.L. Using visual simulation to evaluate bicyclists' perception of selected risk factors. Chapel Hill. University of North Carolina Highway Safety Research Center, 1999.
- HURRION, R.D. The design, use and required facilities of an interactive visual computer simulation language to explore production planning problem. Londres. University of London, 1976 (PhD Thesis).
- HURRION, R.D. Intelligent Visual Interactive Modelling. European Journal of Operational Research 54, 349-356, 1991.
- MARSHALL, R. et al. Visualization methods and simulation steering for a 3D turbulence model of Lake Erie. Computer Graphics, vol. 24, n. 2, 89-97, mar 1990.
- MARTIN, P. The rapid modeling system: a component based approach to the simulation of tactics. In: Proceedings of the Winter Simulation Conference, 1994.
- MUELLER-WITIG et al. Virtual factory – Highly interactive visualization for manufacturing. In: Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2002.
- ORCACOMPUTER. Orca Computer. Inc. Visual Simulation Environment. Disponível em: <http://www.orcacomputer.com/vse/VSEMain.html>. Acesso em abril de 2006.
- O'KEEFE, R. M.; PITT, I.L. Interaction with a visual interactive simulation and the effect of cognitive style. European Journal of Operational Research 54, 339-348, 1991.
- PIDD, M. Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.
- WAGNER, P.H. et al. Um novo paradigma para modelagem e simulação interativa visual. In: Anais do IX SIBRAPI, 1996, 87-94.
- ZHONG, Y.; YUAN, X. 3D visualization of discrete event simulation and its applications in virtual manufacturing. International Journal of CAD/CAM, V. 4, nr. 1, 2004.
- ZYDA, M. et al. From visual simulation to virtual reality to games, 2002. Disponível em <http://dsonline.computer.org> . Acesso em 25/03/2006.