

# Apoiando a Compreensão de Sistemas de Grande Escala Através da Visualização 3D

Claudia Susie C. Rodrigues<sup>1</sup>, Cláudia M. L. Werner<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE/UFRJ,  
Caixa Postal: 68511, Rio de Janeiro, Brasil

{susie, werner}@cos.ufrj.br

**Abstract.** *This paper presents an overview of the VisAr3D approach which has been designed, as an innovative proposal to be introduced in the classroom, to provide a 3D visualization of UML models. It includes exploration and interaction to establish a practical and pleasant learning activity, focusing in large scale systems. It is a new way to visualize and understand UML models, by combining the technologies of Virtual Reality and Augmented Reality. The paper also presents results of an experimental study conducted.*

**Resumo.** *Este artigo apresenta uma visão geral da abordagem VisAr3D, que foi desenvolvida, como uma proposta inovadora que deve ser introduzida em sala de aula, com o objetivo de proporcionar a exploração e interação de modelos UML através da visualização 3D. A abordagem estabelece uma atividade de aprendizagem prática e agradável, focando em sistemas de grande escala e combinando as tecnologias de Realidade Virtual e Realidade Aumentada. O artigo também apresenta resultados de um estudo experimental realizado.*

## 1. Introdução

O ensino de Engenharia de Software (ES) tem sofrido muita pressão ao longo dos anos, à medida que os sistemas se tornam maiores e mais complexos, com uma grande demanda por qualidade. Geralmente, os estudantes saem da faculdade sem lidar com problemas complexos, mudanças de objetivos durante o projeto, problemas com os clientes, pressão com tempo de entrega do produto, uma maior demanda por qualidade de software e como trabalhar com uma equipe grande, entre outros.

Booch (1994) afirma que a complexidade é uma propriedade inerente a todos os sistemas grandes de software, e nós devemos dominar essa complexidade. Perante esta situação, Jennings (2001) também concorda que o papel da ES é fornecer estruturas e técnicas que tornam mais fácil lidar com a complexidade. Nos últimos anos, a comunidade acadêmica tem investido muito esforço no desenvolvimento de novas formas de ensinar ES. Novas propostas de educação têm sido introduzidas na sala de aula para atender essas novas demandas, especialmente aquelas que tornam o ensino mais atraente aos alunos, como exemplo, Baker *et al.* (2005).

Com base nesses desafios, esta pesquisa combina as características das tecnologias emergentes de visualização 3D, como a Realidade Virtual e Aumentada, reconhecendo que a comunicação visual pode ser um fator-chave no processo de ensino e aprendizagem dos futuros arquitetos de software. Seu principal objetivo é apoiar a compreensão dos modelos de software, desenvolvendo a abordagem Visar3D (Visualização de Arquitetura de Software em 3D), que visa fornecer ao usuário a

capacidade de manipular e analisar uma grande quantidade de dados a partir de múltiplas perspectivas através de uma experiência atraente.

A abordagem VisAr3D traz uma nova dimensão à prática da disciplina de Modelagem de Software e propõe uma solução diferenciada para o apoio à compreensão dos modelos: (i) possibilita o apoio a aulas práticas interativas, incluindo a utilização de vídeos, animações, documentações etc.; (ii) permite a criação de um ambiente de troca de informações entre os alunos e professores; (iii) possibilita uma nova forma de disposição das informações contextualizadas a um modelo de software 3D; (iv) se propõe a surpreender os alunos com novas maneiras de ressaltar informações e relações existentes e relevantes; e (v) permite que o estudante, intuitivamente, interaja em um ambiente 3D para compreender um sistema com muitos elementos de modelagem proposto em sala de aula.

Segundo Alfert e Fronk (2000), de acordo com alguns aspectos, pode-se mostrar onde o 3D supera a visualização 2D e algumas experiências têm mostrado resultados otimistas. No escopo deste trabalho, um estudo experimental foi realizado para avaliar a viabilidade do apoio oferecido pelo visualizador UML 3D construído a alunos da disciplina de Modelagem de Sistemas, bem como a contribuição da inserção da terceira dimensão.

O restante deste artigo está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta alguns trabalhos relacionados. A Seção 3 descreve a abordagem VisAr3D. A Seção 4 detalha o estudo experimental. E, finalmente, a Seção 5 aborda algumas considerações finais.

## **2. Trabalhos Relacionados**

Pesquisas anteriores mostraram que há vantagens práticas na utilização de 3D para visualização em UML. Por exemplo, Mcintosh *et al.* (2005) focam no aspecto "visual" da UML como os meios de comunicação de informações com o usuário. A principal diferença com relação à abordagem VisAr3D é como explorar o ambiente 3D para fornecer os meios para compreender modelos de software complexos. Gil e Kent (1998) descrevem uma notação gráfica 3D que combina vários diagramas 2D conhecidos. Na VisAr3D, a ideia básica é fazer com que a visualização 3D seja tão familiar e intuitiva quanto a 2D. O trabalho de Radfelder e Gogolla (2000) utiliza diagramas estáticos e dinâmicos e é o que mais se assemelha à abordagem VisAr3D, ao destacar os pontos de interesse e animar mensagens entre os objetos no diagrama.

O framework GEF3D (2011) permite que editores UML 2D existentes do Eclipse sejam estendidos para 3D. E Lange *et al.* (2007) propuseram o MetricView, um framework que suporta a modelagem orientada a tarefas e visões e técnicas de visualização. A VisAr3D também utiliza visões de diagrama para visualizar o sistema sob diferentes perspectivas.

A VisAr3D, como a maioria dos trabalhos citados, tem como objetivo facilitar a compreensão de um sistema de grande escala. No entanto, nenhum deles tem a proposta de ser um ambiente para apoiar o ensino e a aprendizagem, facilitando a tarefa do professor, a aprendizagem dos alunos e a comunicação entre eles.

### **3. A Abordagem VisAr3D**

A abordagem VisAr3D<sup>1</sup> é composta por três módulos: Módulo Arquitetural, Módulo Realidade Aumentada e Módulo Realidade Virtual.

Em um curso regular voltado para as novas demandas do mercado, o professor ensina exibindo parte de um diagrama UML de um sistema grande e complexo, projetando-o na parede ou em um cartaz impresso. No Módulo Arquitetural, antes de usar a VisAr3D, o modelo do software é criado, documentado e exportado como um arquivo XMI por um editor UML.

No Módulo de Realidade Aumentada, a VisAr3D usa a tecnologia 3D para capturar e reconhecer a projeção 2D (diagrama do professor), ajudando o professor e o aluno a identificar e acessar rapidamente o modelo. Ao utilizar as bibliotecas ARToolKit [Kato 2011], um padrão gráfico presente na projeção é capturado pela webcam no computador do aluno. A VisAr3D identifica o modelo que está sendo estudado, o seu ponto de vista exato e a sua versão mais recente.

Após o reconhecimento do diagrama do software exibido em 2D, o Módulo de Realidade Virtual gera, automaticamente, um equivalente, em 3D e o exibe em um espaço ilimitado.

#### **3.1. Funcionalidades da VisAr3D**

O espaço ilimitado para a exploração dos dados num ambiente de visualização 3D facilita a compreensão dos modelos com diferentes níveis de abstração ou versão, que pode ter sido projetado por diferentes pessoas. A VisAr3D, como um ambiente virtual, permite a sua exploração pelo estudante com a ajuda do mouse, movendo-se no espaço para a direita, para a esquerda, para cima, para baixo, para longe ou para próximo do plano, com ângulos de rotação.

A presença de ícones e cores faz com que o aluno perceba a presença de informações contextualizadas que podem ser uma documentação, relações dentro do modelo que podem ser destacadas e informações relevantes. Este recurso permite a análise dos modelos de software numa nova perspectiva e, portanto, torna possível descobrir semelhanças entre as partes desse diagrama, para compreender as relações mais complexas, diferentes técnicas e estilos arquiteturais.

Os elementos de modelagem possuem uma pequena profundidade que pode conter, dependendo do caso, muitos tipos de informação que podem ser explorados pelo aluno. A camada de espessura presente numa classe, na cor vermelha e na cor azul, indica que a mesma pertence a mais de um diagrama e que contém documentações associadas a ela, respectivamente.

Segundo Mary Shaw (2000), projetos de software práticos e úteis não acontecem por acaso. Requerem habilidades por parte do aluno. Ela aponta deficiências no ensino e sugere soluções. Em consonância com este trabalho, a VisAr3D apresenta um conjunto de visões, que permitem diferentes formas de visualização. Ela possibilita a navegação através de todos os diagramas do sistema em estudo, no qual diferentes aspectos ou

---

<sup>1</sup> <http://lab3d.coppe.ufrj.br/index.php/projetos/66-visar3d-arquitetura-de-software.html>

perspectivas do sistema podem ser focados independentemente. Algumas dessas visões são:

**Visão dos Relacionamentos com Outros Diagramas:** este recurso apoia o estudo deste elemento de modelagem numa dimensão maior, no sistema como um todo, ajudando na compreensão de todos os seus relacionamentos. Ao sinalizar através de objetos virtuais coloridos em cada elemento de modelagem, os relacionamentos externos a este diagrama.

**Visão dos Relacionamentos com Outros Tipos de Diagramas:** o usuário visualiza ícones coloridos sobre os elementos de modelagem que apontam para outros tipos de diagramas, onde aquele objeto foi modelado. Ao clicar neste link, o usuário fará o acesso a esta mesma classe num outro tipo de diagrama.

O presente artigo enfatiza o estudo experimental, outros detalhes sobre as funcionalidades da VisAr3D, entre eles o recurso de *viewpoint* (ponto de vista), a técnica de zoom e o agente de busca que permite a procura de documentos por palavras-chave ou filtros, e outras visões como Pacote, Métrica, Atributos/Operações, Autor, Documentação, Anotação e Exercício, podem ser encontrados em [Rodrigues e Werner 2011].

#### 4. Estudo Experimental

A fim de avaliar a viabilidade da abordagem VisAr3D, foi planejado e realizado um estudo experimental (detalhado em [Rodrigues 2012]). A avaliação foi feita através do protótipo VisAr3D, de mesmo nome da abordagem (Figura 1), que apesar de implementar parte de suas funcionalidades, ajudou a analisar algumas suposições importantes sobre a abordagem, quanto à funcionalidade, tecnologia e sua contribuição quanto ao ambiente 3D.

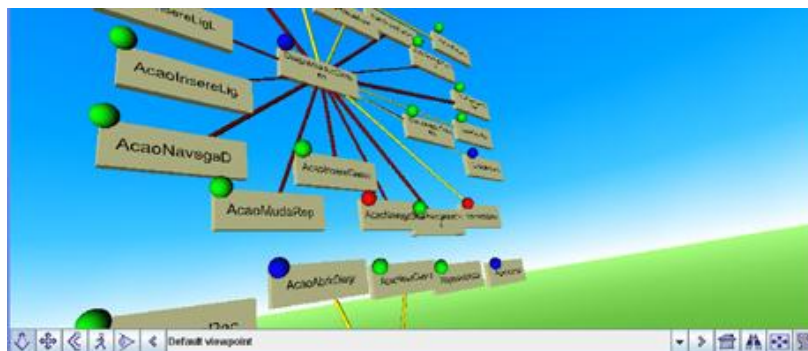


Figura 1: Tela do protótipo VisAr3D

O propósito deste estudo foi verificar a capacidade da abordagem VisAr3D de contribuir para a compreensão de modelos UML em sistemas com muitos elementos de modelagem (foram utilizadas cerca de 240 classes divididas em 13 diagramas). Segundo o relato dos participantes, a vantagem de usar este tipo de sistema é oferecer ao aluno a oportunidade de trabalhar com problemas mais próximos da realidade, semelhantes aos que eles vão lidar no mercado de trabalho.

Este estudo, também, ajudou a observar os seguintes pontos: (i) se a terceira dimensão contribui para apoiar a compreensão de modelos UML em sistemas com muitos elementos; (ii) se o ambiente na terceira dimensão desperta o interesse dos

alunos em relação ao ambiente 2D; e (iii) se a terceira dimensão dá suporte maior à prática de ensino em projetos com muitos elementos em relação ao ambiente 2D.

Para a preparação do experimento, primeiramente, foi executado um estudo piloto, onde dois pesquisadores, com experiência prévia no ensino de modelagem de sistemas, revisaram o planejamento e as ferramentas utilizadas.

#### 4.1. Planejamento

Seguindo a abordagem GQM – Goal/Question/Metric (BASILI *et al.*, 1994), o objetivo do estudo pode ser descrito como: **analisar** o uso do protótipo VisAr3D comparado ao uso da ferramenta *Enterprise Architect* (EA, 2012); **com o propósito de** caracterizar; **com respeito à** precisão, cobertura, tempo e percepção do usuário no uso e adoção de novas tecnologias; **do ponto de vista do** pesquisador; **no contexto da** execução de tarefas por alunos, semelhantes às aplicadas na disciplina de Modelagem de Sistemas, utilizando um sistema com muitos elementos de modelagem.

Neste estudo, os participantes desempenharam o papel de alunos da disciplina de Modelagem de Sistemas de Software e responderam algumas perguntas relacionadas com um sistema que tem muitos elementos de modelagem. Eles foram divididos aleatoriamente em dois grupos de trabalho, que realizavam as mesmas tarefas, utilizando uma ferramenta 2D ou 3D, mas em ordens diferentes.

Baseado em Knodel *et al.* (2006), as tarefas foram divididas em três grupos com diferentes níveis de dificuldade. Os conteúdos das tarefas foram elaborados da seguinte forma: tornar a identificação e reconhecimento das classes de um diagrama, uma tarefa simples, para o entendimento de um sistema grande; identificar uma classe, não somente dentro de um diagrama, mas dentro do sistema como um todo; utilizar exemplos de análise de operações, como polimorfismo, que, geralmente, passam despercebidas em sistemas com muitos elementos de modelagem; verificar se num universo com muitas classes é mais intuitivo ver, graficamente, os autores das classes (ou melhor, a participação da equipe naquele diagrama); explorar a completude da documentação do sistema; e explorar a correspondência entre o código Java e a modelagem do sistema, bem como identificar o elemento de modelagem em diagramas complexos.

Os participantes do experimento foram selecionados por conveniência. Do total de 18 participantes (6 alunos de graduação, 5 de mestrado e 7 de doutorado da COPPE/UFRJ), 28% tinham experiência de ensino de Modelagem de Sistemas de Software e 44,5% tinham experiência relevante em modelagem UML na indústria. 50% tiveram experiência com sistemas com mais de 50 classes, um índice significativo que contribui para o resultado da avaliação. No entanto, somente 2 participantes (11%) utilizaram um sistema com mais de 200 classes dentro de sala de aula.

#### 4.2. Execução

Todo o material necessário para o estudo foi instalado em um computador, incluindo dois vídeos de treinamento sobre a utilização do protótipo VisAr3D e sobre a utilização da ferramenta de visualização para os modelos UML 2D. Eles preencheram quatro tipos de formulários: Formulário de Consentimento, Caracterização do Participante, Tarefas (perguntas que tinham que ser respondidas) e questionário de avaliação.

### 4.3. Análise e Interpretação dos Resultados

**Análise Quantitativa:** Neste estudo, a precisão calcula as respostas corretas em relação ao número de respostas do participante. A cobertura é calculada com o número de respostas válidas, com relação ao número de respostas do gabarito.

O foco do estudo foi observar como cada participante realizava cada uma das tarefas e quais foram as suas necessidades e expectativas na utilização de cada ferramenta. A Tabela 1 apresenta a média geral dos resultados dos participantes por ferramenta, das métricas Precisão, Cobertura e Tempo, com seus respectivos desvios padrão, depois da remoção dos *outliers*. Os participantes conseguiram atingir os seus objetivos e conseguiram resolver as tarefas, com os indicadores de precisão e cobertura (ou eficácia), em média, próximos nas duas ferramentas (98,15%, utilizando a ferramenta EA, contra 98,88%, utilizando o protótipo VisAr3D, de precisão, e 96,94% utilizando a ferramenta EA, contra 97,96% utilizando o protótipo VisAr3D, de cobertura).

**Tabela 1: Média e Desvio Padrão dos resultados para cada ferramenta**

Métrica	EA		VisAr3D	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Precisão	98,15%	2,52%	98,88%	2,53%
Cobertura	96,94%	5,41%	97,96%	4,20%
Tempo (min.)	4,78	1,33	5,43	1,25

Num contexto geral, gastou-se mais tempo, em média, para resolver as tarefas utilizando a ferramenta 3D comparada à ferramenta 2D, como mostra a Tabela 1 (5,43 minutos contra 4,78 minutos); segundo os participantes, isto pode ser explicado pelo fato deles estarem mais familiarizados com padrões 2D.

Após a análise estatística realizada, concluiu-se que não há nenhuma diferença significativa estatisticamente em relação às variáveis precisão, cobertura e tempo na utilização das ferramentas VisAr3D e EA. Tratando-se da fragilidade de um protótipo com uma nova proposta de navegação e interação, com problemas de *performance* e onde apenas parte da abordagem foi implementada, ele ainda apresentou uma pequena vantagem. A análise quantitativa mostra um indício positivo que a ferramenta 3D está no caminho certo.

Os participantes perceberam e registraram conforme seus comentários, a importância e a contribuição de obter informações sobre a autoria e a documentação no ambiente 3D, utilizando recursos de cores e formas. Assim, nota-se a aceitação destes recursos e sugere-se sua exploração para futuras implementações. Os participantes comentaram sobre a Visão do Autor (94% de aceitação do 3D contra 0% do 2D): “Para projetos realmente grandes, percebe-se mais facilidade na gestão de projetos, por exemplo, a identificação dos autores foi muito fácil no modelo 3D”.

A Visão de documentação foi aprovada (94% para ferramenta 3D contra 0% para a 2D), mostrando a aceitação dos participantes quanto a inserção de cores como indicação de informação adicional aos diagramas. Eles acrescentaram: “A ferramenta 3D acaba dando uma melhor visão do diagrama como um todo e através do menu de documentação fica fácil verificar quais classes possuem documentação”.

**Análise Qualitativa:** Alguns participantes sentiram dificuldades em comparar ambientes de visualização tão diferentes, segundo eles: “fica injusto”, já que uma ferramenta é comercial e a outra um protótipo acadêmico. No entanto, o protótipo do VisAr3D foi muito bem avaliado. A ferramenta de visualização 2D tradicional utilizada, como ferramenta comercial, adota padrões do Windows já bastante conhecidos.

Entre os pontos positivos do protótipo VisAr3D, citados pelos participantes, destacam-se: “Informações, sobre os autores, disponibilizadas no diagrama através de elementos gráficos, não poluem a tela”; “A profundidade das classes, que informam a presença de documentação e que a classe está presente em mais de um diagrama”; “Possui bastante detalhamento de informações contidas no modelo numa representação visual confortável ao usuário”; “Clareza dos diagramas, nova forma de interação com diagrama UML (atrativa), facilidade dos comandos (basta passar o mouse)”; “A forma de ver o modelo é mais enriquecida. Percebe-se a potencialidade de exibir mais de um diagrama em uma mesma visão (perspectiva), certamente facilita o aprendizado”. Entre os aspectos negativos, citados pelos participantes, destacam-se: “Os mecanismos de navegabilidade da ferramenta precisam ser melhorados.”; “Resolução do diagrama quando diminui o zoom”; “Falta de direcionamento nos relacionamentos” e “A janela que mostra a informação deveria pertencer à mesma janela de visualização dos diagramas”.

Mais informações sobre o estudo experimental, como análises estatísticas, por agrupamento, ameaças à validade e limitações são detalhadas em [Rodrigues 2012].

## **5. Considerações Finais**

Este artigo apresentou a abordagem VisAr3D - Visualização de Arquitetura de Software em 3D. Aspectos gerais da abordagem foram descritos no presente trabalho, incluindo os resultados de um estudo experimental. Esta avaliação da abordagem teve como objetivo garantir que ele explora as vantagens do espaço 3D para a compreensão de modelos UML em sistemas de larga escala, incluindo o seu nível de precisão e eficácia na prática de ensino.

VisAr3D desenvolveu uma nova forma de visualizar e compreender os modelos UML, combinando as tecnologias de Realidade Virtual e Realidade Aumentada. Com esta abordagem, os professores e alunos têm a oportunidade de explorar um ambiente 3D, que enfatiza uma compreensão intuitiva do contexto de aprendizagem.

A abordagem permite aos usuários explorar diferentes pontos de vista, sem forçá-los a seguir um caminho específico. A intenção é incentivar uma maior criatividade e também para fazer observações interessantes. Eles podem achar erros, analisá-los e aprender com eles, e até mesmo compartilhá-los com colegas. Usando a abordagem VisAr3D, o estudante pode recuperar o gosto pelo saber dominar de uma forma agradável. A ideia é trazer um maior dinamismo à sala de aula, resultando em uma participação mais significativa dos alunos.

O resultado do estudo de viabilidade foi positivo, mostrando que a ferramenta VisAr3D cumpre a sua finalidade de auxiliar na compreensão de modelos UML em sistemas com muitos elementos de modelagem.

## Referências

- Alfert, K., Fronk, A. (2000) "3-dimensional visualization of Java class relations". In: Proceedings of the The Fifth World Conference on Integrated Design & Process Technology, pp. 91-106 Dallas, Texas, Jun.
- Baker, A., Navarro, E. O., Van der Hoek, A. (2005) "An experimental card game for teaching software engineering processes", *Journal of Systems and Software*, v. 75, n. 1-2 (Feb.), p. 3-16.
- Basili, V.; Caldiera, G.; Rombach, H., 1994, "Goal Question Metric Paradigm", *Encyclopedia of Software Engineering*, v. 1, n. edited by John J. Marciniak, John Wiley & Sons, pp. 528-532.
- Booch, G. (1994) "Object-Oriented Analysis and Design with Applications". Addison Wesley.
- EA (2012) Enterprise Architect, <http://www.sparxsystems.com.au>, Junho.
- GEF3D (2011) "GEF3D Eclipse Project Website", <http://www.eclipse.org/gef3d/>, Maio.
- Gil, J., Kent, S. (1998) "Three dimensional software modeling" In: Proceedings of the 20th international conference on Software engineering, IEEE Computer Society, Kyoto, Japan, p. 105-114.
- Jennings, N.R. (2001) "An agent-based approach for building complex software systems". *Communications of the ACM*. 44 (4), p. 35-41.
- Kato, H. (2011) "ARToolkit", Human Interface Technology Laboratory, University of Washington, from: <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit>.
- Knodel, J.; Muthig, D.; Naab, M. (2006) "Understanding Software Architectures by Visualization - An Experiment with Graphical Elements". In: Proceedings of the 13th Working Conference on Reverse Engineering (WCRE '06), pp. 39-50, Benevento, Italy.
- Lange, C.F.J., Wijns, M.A.M., Chaudron, M.R.V. (2007) "A Visualization Framework for Task-Oriented Modeling Using UML". In: Proceedings of the 40th Hawaii International Conference on System Sciences, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, USA, p. 289a-298a.
- Mcintosh, P., Hamilton, M., Van Schyndel, R. (2005) "X3D-UML: enabling advanced UML visualization through X3D". In: Proceedings of the 10th International Conference on 3D Web Technology (Web3D 2005), ACM Press, Bangor, U.K, p. 135-142.
- Radfelder, O., Gogolla, M. (2000) "On better understanding UML diagrams through interactive three-dimensional visualization and animation". In: Proceedings of the working conference on Advanced Visual Interfaces, ACM Press, New York, USA, p. 292-295.
- Rodrigues, C.S.C., Werner, C.M.L. (2011) "Making the Comprehension of Software Architecture Attractive". In: Proceedings of the 24th IEEE-CS Conference on Software Engineering Education and Training (CSEE&T 2011), Honolulu, Hawaii, p. 416-420.
- Rodrigues, C.S.C. (2012) "VisAr3D - Uma Abordagem Baseada em Tecnologias Emergentes 3D para o Apoio à Compreensão de Modelos UML". Tese de D.Sc. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Shaw, M. (2000) "Software Engineering Education: A Roadmap". In: Proceedings of the 22nd Conference on the Future of Software Engineering (ICSE), Limerick, Ireland, p. 371-380.