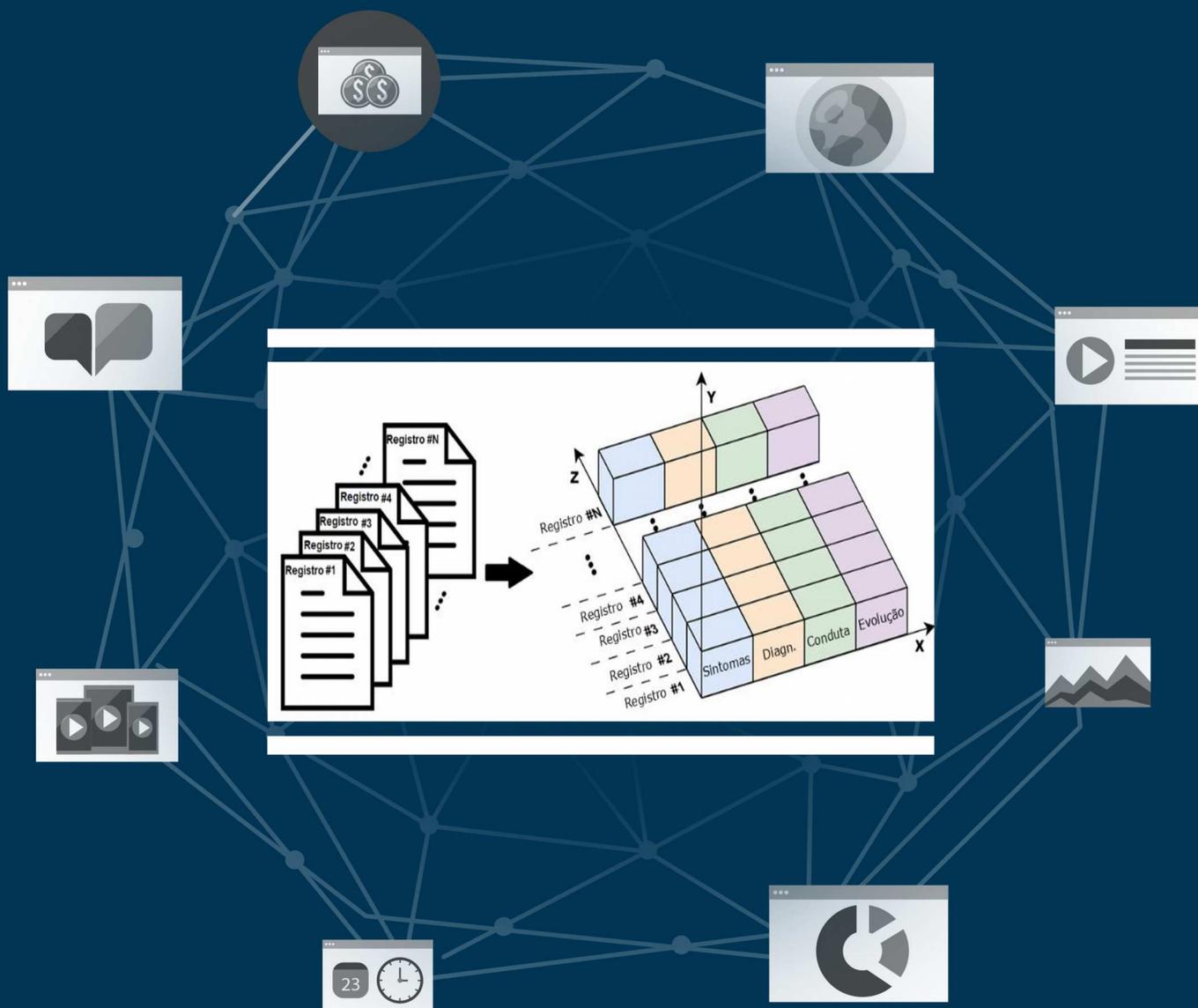


# Revista Comunicações em Informática



# A Fault-Based Testing Approach for VR Applications

Stevão A. Andrade<sup>1</sup>, Fátima L. S. Nunes<sup>2</sup>, Márcio E. Delamaro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, <sup>2</sup>Escola de Artes, Ciências e Humanidades  
Universidade de São Paulo, Brazil

stevao@icmc.usp.br, fatima.nunes@usp.br, delamaro@icmc.usp.br

**Abstract:** Technologies such as Virtual Reality (VR) have emerged, allowing the development of three-dimensional environments with real-time interaction. VR systems lack similarities between traditional programs, which makes it ineffective to apply traditional software testing criteria in them. Considering this motivation and the acceptance between researchers and engineers that quality is an essential factor in software development, in this paper we examine software testing practices available for the VR domain and present the possibilities for improvement to provide an automated software testing approach that can contribute to the quality assurance of VR applications.

**Keywords:** *software testing, fault-based testing, metamorphic testing, validation, virtual reality.*

## 1. Introduction

Virtual Reality (VR) uses computers to create 3D environments, enabling navigation and real-time interaction. The user can navigate through the environment to explore possible features present in a 3D representation, such as training simulations.

The visual aspects are often the most related to the creation of VR environments because the vision is the main form of perception for the acquisition of information for most of the users. However, VR is not limited to what we can see. Other vital components of human perception play an essential role in shaping a virtual environment, such as sounds, and perceptions gained through touch [1].

Despite the huge benefits of adopting VR to develop applications in various areas, this poses new challenges for software quality assurance activities [2]. For example, VR developed software presents unconventional software structures, such as scene graphs, which may represent new sources of faults. These new challenges motivated the development of some approaches that aim to contribute to the quality assurance process of software in the context of VR.

Previous software testing approaches specific to VR applications fail because of a lack of generalization and the difficulty of systematizing how a testing procedure can be measured. This problem is described in the literature as the “oracle problem,” and occurs in cases in which traditional approaches of measuring the execution of a test case are impractical or are not useful to judge the correctness of outputs generated from the input domain data [3, 4].

As previously discussed, it is hard to infer a test oracle for VR applications, needing, in general, the figure of a human as an oracle. This problem directly compromises the feasibility of applying automated testing techniques [4]. One possible solution to this problem is the use of metamorphic testing. Metamorphic testing aims to verify whether a given program behaves according to a set of metamorphic relations. A metamorphic relationship specifies how a particular change in a program’s input data can modify its behavior and hence its output. Therefore, it is possible to infer the correction of the program even though there is no explicit presence of a test oracle [5].

Since, in general, fault-based test approaches, which are the focus of this work, heavily rely on the figure of a test oracle, the hypothesis raised here is that:

**Hypothesis** – *It is possible to propose a software testing approach based on fault-based techniques, applicable to the VR domain, by combining the mutation testing criterion with the metamorphic testing technique.*

We considered that this hypothesis is feasible as various studies discuss the application of the fault-based test in several contexts [6], as well as studies that successfully present the use of metamorphic testing in multiple domains [5].

We assume that if both approaches are combined, we can propose a systematized approach to be applied to the VR domain to conduct the software testing activity, as well as to ensure a quality criterion that measures its application.

The idea is to leverage the benefits of a fault-based test approach that is well-recognized for its fault reveal ability and to use concepts extracted from metamorphic testing as a way to mitigate the oracle problem [3], which is one of the main challenges for the application of an automated testing approach in VR applications.

Therefore, the main goals of this work are:

**Objective 1** – To define a fault taxonomy specific for the VR domain;

**Objective 2** – To define metamorphic relationships that comply with the fault taxonomy;

**Objective 3** – To define mutation operators that comply with the fault taxonomy;

**Objective 4** – To propose a fault-based testing approach for VR domain.

In summary, the idea is to generate mutants that model possible faults in VR applications and use metamorphic relationships to “kill” such mutants in order to prove that the modeled faults are not present in the original program. The goal of using mutants together with metamorphic testing is because metamorphic testing is considered a black box testing approach, which does not give much information regarding the spot location of the revealed fault; otherwise, VR

applications heavily depend on visual aspects. Therefore, mutants can guide the tester more objectively to identify the point of the program that contains the revealed fault.

## 2. Methodology

According to the research gap characterized in the previous section, this project aims to study and propose mechanisms to enable the application of a fault-based testing approach to the context of VR applications.

Focusing on answering the presented research question, the subsections below present the main activities to be performed during the development of the work.

### 2.1 Definition of a VR Fault Taxonomy

According to the collection of norms defined by IEEE, a taxonomy is a scheme that divides a set of knowledge and defines relationships between the parts of that set. It is used to classify and understand the body of knowledge about a particular topic.

The focus of this activity is to investigate the proneness of specific types of faults during the development of VR applications, considering specific VR properties, harmful implementation mechanisms, and recurrent fault scenarios. Based on these observations, it is expected to define a defect taxonomy that should be able to categorize the variety of faults that can occur in VR software.

### 2.2 Definition of metamorphic relations aligned with the fault taxonomy

The effectiveness of metamorphic tests is highly related to the metamorphic relationships that are used in the process. Therefore, building effective metamorphic relationships is a critical step in the successful application of metamorphic testing. Thus, it is advisable to use a variety of metamorphic relationships to ensure that software has been evaluated adequately.

Defining good metamorphic relationships requires knowledge of the problem domain. Therefore, understanding typical defects, as well as frequent failures that occur in the development of VR applications, are fundamental steps for the success of this work step, which instantiates such information through constraints that an application must respect during its execution.

### 2.3 A fault-based testing approach to VR applications

Fault-based approaches have been proved in experimental evaluations as a robust test selection criterion [7, 8]. We intend to propose a fault-based approach for VR software. To do so, the VR fault taxonomy should guide the development of mutation operators that will support the application of the test criteria.

The metamorphic relations defined in the previous step should guarantee the mechanisms to evaluate the mutants that represent the faults, which are commonly made during the software development process. Those pieces of information would allow us to define an adequacy metric for the modeled faults concerning the test cases developed during the test activity.

## 2.4 Automation of the proposed test approach

Testing techniques heavily rely on support and automation to enable their application to real projects. Without this, testing tends to be a costly and error-prone activity [9].

This activity enables the application of the content developed during the previous steps.

## 3. Results

In this section, we detail the main results achieved so far. First, we present the general results obtained from an exploratory study on the application of metamorphic tests. Afterwards, we discuss the feasibility and necessity of applying automated tests for the VR domain. Thus, the remaining section responds to the previously defined research question.

### 3.1 Analyzing the application of metamorphic relations in similar contexts

We have observed that many works in the literature present solutions that use metamorphic testing in several domains. Therefore, in this study, we investigate the existing challenges of using existing metamorphic relationships for new problems. The aim is to verify the ability to adapt metamorphic relationships since the greatest challenge of success in metamorphic testing applications lies in the appropriate definition of metamorphic relationships. Moreover, this is a task that requires the expertise of a domain expert.

We successfully adapted, without making any major changes, metamorphic relationships to similar problems. The results of the experiments indicated good results in terms of the ability to reveal faults. These results indicate the possibility of conducting similar work for the VR domain.

The results of the experiments indicated good results in terms of the ability to reveal faults. These results show the possibility of conducting similar work for the VR domain [10].

### 3.2 Software testing practice in the VR domain

We discussed the main challenges of software testing practice in the VR domain [11]. Some of the critical issues related to the quality of these systems were pointed out and possible solutions were also discussed that could be used and adapted to deal with such issues.

The study was guided by 3 research questions, whose objectives were: to understand the state of the practice of software testing in the context of VR programs ( $RQ_1$ ), to measure metrics and quality attributes in VR software ( $RQ_2$ ), and finally to evaluate fault proneness in the software analyzed ( $RQ_3$ ).

Results showed that most of the open source VR projects fail to present quality principles, such as the presence of test cases in their source code. This problem extends to the quality of the code produced as untested code tends to present a higher amount of code characteristic that may indicate a code smell. Similarly, we also note that untested code snippets tend to be more prone to failures than code snippets that have been properly tested.

### 3.3 Survey with interest groups

Software development is an extremely complex business. To be successful, software teams also need to consider aspects such as user satisfaction, as well as the functionality of the software itself. User satisfaction can only be guaranteed when the software development team implements an entire user-centric development process [12].

Similarly, we believe that the software testing phase, which also makes up one of the development phases, should also have this kind of concern. Therefore, it is necessary to understand the point of view of researchers, developers, designers, and users in order to target software testing activity that address stakeholders' major issues, thus prioritizing verification for failures that should have a greater impact on VR applications.

To do so, we asked stakeholders' opinions through a survey, in which the participant answered questions about what types of failures in VR applications contribute to a poor experience. The purpose of this study is to gain an insight into stakeholders (e.g., which types of failures are most critical, which are less relevant, how much each affects the quality of the end product, etc.) and to investigate the knowledge of the groups of interest regarding specific types of failures in VR applications.

### 4. Discussion

After analyzing the results obtained from the study described in Subsection 3.1, which sought to understand the effectiveness of applying metamorphic relationships already existing in the literature to similar problems, it was decided, based on the results and the bibliographic survey conducted during the development of this work, to perform a similar study applied to the VR domain.

The results presented by Chan et al. [13] and by Donaldson et al. [14] are under analysis in order to verify the applicability of the proposed metamorphic relations to the VR domain. To achieve this, an experiment that will use the set of applications adopted during the development of the activity described in Subsection 3.2 is currently being prepared.

The studies cited above discuss, respectively, the application of metamorphic testing to the domain of programs that generate meshes and shader compilers. Due to the similarity of characteristics between such applications and VR applications, we believe that we can explore the results of these studies so as to propose similar metamorphic relations for the VR domain. We intend to use the results of this activity to corroborate the expected results in the development of the activities described in Subsection 2.1.

The results of the work described in Subsection 3.3 discuss the main challenges related to using software testing practice in the VR domain. A collection of 119 VR projects, available in open source projects and manually analyzed, was cataloged to understand the state of the practice concerning the application of software testing techniques. We observed that most of the projects do not maintain software testing artifacts.

The lack of concern regarding software testing implies a high incidence of code smells in the projects analyzed. The presence of code smells points out that about 12% of the analyzed VR classes are fault-prone,

revealing a significant risk to the success and maintenance of the projects. The distribution of these classes was also evaluated when observed concerning the size of the projects analyzed. It was observed that the larger a project becomes, there is a higher incidence of fault-prone classes.

The preliminary evaluation of the results of the survey being conducted shows a high recognition of the need for software testing practice for VR applications (up to 80% of the respondents), but a low observation, from the point of view of the roles involved, regarding which approaches and techniques should be applied during the VR application development process. The results also indicate a low concern of the respondents regarding the need to observe quality aspects related to the network, audio and network. In general, interest groups tend to attach more importance to visual aspects such as physics and design issues. These results serve as a motivation for the development of the activity discussed in Subsection 2.1, as they show aspects considered fundamental by the roles involved in the process.

One last point that can be noted is the poor observation of the respondents regarding various quality aspects that should be guaranteed in a VR application. Based on the set of major flaws cataloged for 3D games [15], which also fall under VR applications, we observed that respondents are not aware of most of them. This result points to a scenario that may indicate that those involved are not aware of the risk of the presence of this type of failure.

### 5. Conclusion

The differences between general purpose software and VR applications, such as the lack of complex data structures, conditionals, and loops makes the application of traditional software testing methods inefficient. This paper discussed the major challenges existing in order to apply software testing methods for VR applications and recognized some limitations. Furthermore, we presented a proposal that addresses such problems by combining fault-based testing and metamorphic testing; we also outline the focus of our research and present the main objectives of our work and some preliminary results.

Regarding the preliminary results, we focused on investigating the possibility of applying existing knowledge developed in similar areas that could be used in the VR domain. Furthermore, we discussed the main challenges related to using software testing practices in the VR domain by analyzing open-source VR projects. We also started collecting information regarding major issues that impacts experience in VR applications. In order to do so, we started interviewing principal roles (researchers, developers, designers, professors, students, and users) involved in the development process of VR applications. By understanding their point of view, we intend to deliver a less biased software testing approach.

As future work, we are consolidating the results of Objectives 1 and 2 in order to address the major goal of the project that consists of proposing a software testing approach specific to VR domain considering the details and specificities related to it.

## Acknowledgments

Stevão A. Andrade research was funded by FAPESP (São Paulo Research Foundation), process number 2017/19492-1. This study was also financed in part by FAPESP (São Paulo Research Foundation) process number 2019/06937-0. The authors are grateful to Brazilian National Council of Scientific and Technological Development (CNPq) for assistance (process 308615/2018-2), and National Institute of Science and Technology – Medicine Assisted by Scientific Computing - INCT-MACC (Process 157535/2017-7).

## Bibliography

- [1] LaValle, S. M. (2019) Virtual Reality. Cambridge University Press.
- [2] Santos, A. C. C.; Delamaro, M. E.; Nunes, F. L. S. (2013) The relationship between requirements engineering and virtual reality systems: A systematic literature review. Proc. XV Symposium on Virtual and Augmented Reality, p. 53-62. IEEE. DOI: [10.1109/SVR.2013.52](https://doi.org/10.1109/SVR.2013.52)
- [3] Rapps, S.; Weyuker, E. J. (1985) Selecting software test data using data flow information. IEEE Transactions on Software Engineering SE-11(4): 367-375. DOI: [10.1109/TSE.1985.232226](https://doi.org/10.1109/TSE.1985.232226)
- [4] Barr, E. T.; Harman, M.; McMinn, P.; Shahbaz, M.; Yoo, S. (2015) The oracle problem in software testing: A survey. IEEE Transactions on Software Engineering 41(5): 507-525. DOI: [10.1109/TSE.2014.2372785](https://doi.org/10.1109/TSE.2014.2372785)
- [5] Chen, T. Y.; Kuo, F.C.; Liu, H.; Poon, P. L.; Towey, D.; Tse, T. H.; Zhou, Z. Q. (2018) Metamorphic testing: A review of challenges and opportunities. ACM Computing Surveys 51(1): article 4. DOI: [10.1145/3143561](https://doi.org/10.1145/3143561)
- [6] Harman, M.; McMinn, P.; Shahbaz, M.; Yoo, S. (2013) A Comprehensive Survey of Trends in Oracles for Software Testing. University of Sheffield Tech. Rep. CS-13-01: 1-32. DOI: [10.1.1.371.9004](https://doi.org/10.1.1.371.9004)
- [7] Smith, B. H.; Williams, L. (2009) Should software testers use mutation analysis to augment a test set? Journal of Systems and Software 82(11): 1819-1832. DOI: [10.1016/j.jss.2009.06.031](https://doi.org/10.1016/j.jss.2009.06.031)
- [8] Chekam, T. T.; Papadakis M.; Le Traon, Y.; Harman M. (2017) An Empirical Study on Mutation, Statement and Branch Coverage Fault Revelation That Avoids the Unreliable Clean Program Assumption. 2017 IEEE/ACM 39th International Conference on Software Engineering, p. 597-608. IEEE. DOI: [10.1109/ICSE.2017.61](https://doi.org/10.1109/ICSE.2017.61)
- [9] Lu L. (2001) Software testing techniques. Carnegie Mellon University Tech. Rep. 17-939A: 1-20. <http://www.cs.cmu.edu/~luluo/Courses/17939Report.pdf> Accessed on 21/11/2019.
- [10] Andrade, S. A; Santos I; Junior, C. B; Júnior, M; Souza, S. R.S; Delamaro, M. E. (2019) On Applying Metamorphic Testing: An Empirical Study on Academic Search Engines. Proc. IEEE/ACM 4th International Workshop on Metamorphic Testing, p. 9-16 DOI: [10.1109/MET.2019.00010](https://doi.org/10.1109/MET.2019.00010)
- [11] Andrade, S. A; Nunes, F. L. S; Delamaro, M. E. (2019) Towards the Systematic Testing of Virtual Reality Programs. Proc. XXI Symposium on Virtual and Augmented Reality, p. 180-189. IEEE. DOI: [10.1109/SVR.2019.00044](https://doi.org/10.1109/SVR.2019.00044)
- [12] Scholtz, J.; Morse, E. (2003) Using consumer demands to bridge the gap between software engineering and usability engineering. Software Process: Improvement and Practice 8(2): 89-98. DOI: [10.1002/spip.172](https://doi.org/10.1002/spip.172)
- [13] Chan, WK.; Ho, J. CF.; Tse, TH. (2007) Piping classification to metamorphic testing: An empirical study towards better effectiveness for the identification of failures in mesh simplification programs. Proc. 31st Annual Int. Computer Software and Applications Conf., p. 397-404. IEEE. DOI: [10.1109/COMPSAC.2007.167](https://doi.org/10.1109/COMPSAC.2007.167)
- [14] Donaldson, A. F.; Evrard, H.; Lascu, A.; Thomson, P. (2017) Automated testing of graphics shader compilers. Proc. ACM on Programming Languages, Article 93. ACM. DOI: [10.1145/3133917](https://doi.org/10.1145/3133917)
- [15] Levy, L.; Novak, J. (2009) Game development essentials: Game QA & Testing. Cengage Learning.

# Mapeamento das Características do Terreno em Ambiente Virtual como Ferramenta de Apoio ao Ensino Militar

Raphael de Souza e Almeida<sup>1,2</sup>, Alexandre de Menezes Villarmosa<sup>2</sup>, Alberto Barbosa Raposo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>PUC-Rio, <sup>2</sup>Marinha do Brasil  
Rio de Janeiro/RJ - Brasil

rsalmeida@tecgraf.puc-rio.br, alexandremvilla@gmail.com, abraposo@tecgraf.puc-rio.br

**Resumo:** Este estudo apresenta o SVETT (Simulador de Estudo Topotático do Terreno), um simulador criado com o intuito de auxiliar os alunos dos Cursos de Aperfeiçoamento Avançado do Corpo de Fuzileiros Navais. O SVETT permite recriar uma região qualquer no globo terrestre onde é possível inserir o aluno nesta área e, com os recursos visuais disponibilizados ao instrutor, possibilita maior facilidade na transmissão de seus conhecimentos. Avaliamos o simulador com 12 usuários, sendo 5 instrutores e 7 alunos, obtendo resultados satisfatórios no que diz respeito à aprendizagem e usabilidade tanto para os alunos como para os instrutores.

**Palavras-chave:** Realidade virtual; Experiência do usuário; Ambiente de treinamento sintético.

## 1. Introdução

A Marinha do Brasil estabelece, entre outras tarefas de sua Doutrina Básica, a constante prontidão para atuar na garantia dos poderes constitucionais e, por iniciativa de qualquer destes, da lei e da ordem [1], cabendo estas operações à Força de Fuzileiros da Esquadra [2], composta pelo Corpo de Fuzileiros Navais (CFN), que encontra-se permanentemente em condição de pronto emprego, assegurar sua capacidade de projeção de poder do mar para a terra [3]. Para que as tarefas citadas sejam cumpridas da melhor maneira possível, um planejamento detalhado e bem estruturado se faz necessário [4]. Seu preparo é feito por pessoal altamente treinado e capaz de interpretar todos os dados disponibilizados, que envolvem normalmente aspectos relacionados ao relevo, inimigo, vegetação e clima, conhecidos como aspectos Topotáticos [5].

Ensinar a militares esse tipo de atividade por vezes é difícil dentro de uma sala de aula fechada. Por isso os alunos são normalmente levados a diferentes regiões, de forma que possam ter um melhor contato com o terreno e entender o que deve ser considerado para seu estudo. Esses deslocamentos, por vezes distantes e sem apoio logístico da unidade, geram custos elevados com pessoal e material.

Baseado na tendência mundial onde o desenvolvimento de diferentes categorias de simuladores [6], pela imersão em um Ambiente Sintético de Treinamento (modelos gerados por computador para os participantes experimentarem e interagirem intuitivamente em tempo real [7]) reproduzido com precisão, o primeiro contato com o terreno poderia ser feito já em sala de aula. Nesse sentido propomos o Simulador Virtual para Estudo Topotático do Terreno (SVETT). Um simulador (a simulação utiliza a modelagem baseada em um sistema computacional para criar um programa, que representa o todo ou uma parte de um processo [8]), através da utilização em realidade virtual de recursos instrucionais normalmente encontrados em sala, tem a finalidade de facilitar a transmissão de conhecimento do instrutor, bem como unificar o entendimento dos alunos. O objetivo deste estudo é avaliar se o uso dos diferentes recursos disponíveis contribuem para a aprendizagem dos usuários.

A próxima seção apresenta a motivação para o estudo. Na seção posterior elucidaremos trabalhos

relacionados. Em seguida, descrevemos a solução proposta e falaremos sobre a avaliação. Posteriormente, versaremos sobre os resultados obtidos, analisando-os concomitantemente. Finalizando, mencionaremos trabalhos futuros e as conclusões.

## 2. Motivação

Para iniciar o conteúdo, precisamos entender o processo onde procuramos observar as características do terreno que pode influenciar decisivamente as ações em um certo local, conhecido como “Giro do Horizonte”.

Por definição, “Giro do Horizonte” é a identificação em uma Carta Militar (CM) dos vários pontos do terreno, que é formado até a linha do horizonte. Esta linha é limitada a uma distância de 4 quilômetros por causa da dificuldade de observar além desta distância sem equipamentos adequados.

Este estudo facilita o entendimento à medida que observamos as principais características da região e sua conformação. Após esta fase iniciamos o estudo tático do terreno, onde efetuamos uma série de comparações entre faixas do terreno com a finalidade de melhor explorá-lo. Importante ressaltar que, por não ser possível posicionar os meios no terreno antes de uma operação militar, existe a necessidade de se “imaginar” os aspectos militares tais como Unidades Militares e instalações, entre outros.

Para a realização dos exercícios no terreno real, alguns fatores devem ser considerados, entre eles disponibilidade de tempo no calendário escolar para os preparativos e execução do exercício, custos envolvidos tanto para acomodação como alimentação e deslocamento, além da disponibilidade de pessoal e meios para apoiar em atividades como transporte e segurança dos alunos e equipes. Por exemplo, para viabilizar a viagem, há custos de compra de passagens, hospedagem, combustível e alimentos. Tomando como base o Curso de Aperfeiçoamento Avançado dos Oficiais do Corpo de Fuzileiros Navais da Marinha do Brasil, em vários treinamentos visitando 9 regiões diferentes, são gastos cerca de R\$ 550.000,00 para uma média de 35 alunos e 15 instrutores.

## 3. Trabalhos Relacionados

Horst Liske [9] demonstra a validade em utilizar treinamentos baseados em computador (do inglês *Computer-Based Training - CBT*) como forma de fixar o

conteúdo tendo como a finalidade o preparo para futuras avaliações. Ele conclui em seu trabalho que a utilização dessa plataforma fornece uma boa visão geral do conhecimento adquirido pelos alunos em algumas áreas. Esse conceito utilizado entre as aulas e o exercício no terreno real como forma de verificação da aprendizagem permite que as dúvidas que antes apareciam somente nos exercícios propriamente ditos apareçam antes, aumentando a qualidade do adestramento.

Maarten van Veen [10], em seu livro, aborda diversos aspectos relativos à validação de adestramentos utilizando os seguintes tipos de simulação: viva, quando pessoas de verdade operam sistemas de armas de verdade, Virtual, quando pessoas de verdade estão em um ambiente virtual, e construtiva, quando existe a simulação de tropas operando em um ambiente simulado. São enfatizadas nesta publicação ainda aspectos como a influência do realismo da simulação com a finalidade de preparar o militar para o combate, possibilitando, por vezes, que este entre em conflito armado sem hesitação. Ele discorre também as formas de validação e, entre elas, destaca que na validação militar os simuladores são adquiridos ou até mesmo construídos pelos militares para resolver um problema específico.

Kay Palkhivala et al. [11] descrevem as estratégias para a criação de plataformas para treinamento baseado em computador, onde citam diversas observações sobre sistemas de aprendizagem. Neles foram constatados que as preferências para os métodos de aprendizagem dos usuários são aulas individuais, seguindo uma aula estruturada, a observação de uma demonstração, usando um manual ou descobrindo por si mesmo. Outro fato encontrado foi que as pessoas gostam de ser entretidas por vídeos, respostas personalizadas e interações interativas.

Alex W. Stedmon et al. [12], em seu estudo, versa sobre a importância do treinamento em simuladores como ferramenta de capacitação para os militares. Em conjunto com o exame da ergonomia cognitiva da Realidade Aumentada, foi realizado um trabalho adicional sobre o potencial de *feedback* de treinamento em uma tarefa complexa de tomada de decisão baseada em atividades reais envolvendo Operações Navais. Além deste estudo foi desenvolvido e discriminado, com uma Força Aérea e dois exemplos navais, o atual estágio de implementação de tecnologias de ambiente virtual em treinamento militar. Como ficou evidente, o treinamento avançado ainda usa realidade virtual e é usado principalmente como parte de cursos de treinamento avançado, em vez de integrado ao ambiente de trabalho operacional.

Baseado nos resultados desses estudos constatamos que, em linhas gerais, eles se complementam e fornecem conceitos importantes para a criação de uma experiência agradável. Com a finalidade de conceber uma simulação que contemplasse soluções para o problema proposto, foram criadas ferramentas que possibilitam uma melhor interação entre o instrutor e os alunos, conforme apresentada a seguir.

#### 4. SVETT - Simulador de Estudo Topotático do Terreno

O SVETT é um simulador utilizado para o estudo dos aspectos topológicos e táticos do terreno, conhecido como aspectos Topotáticos (aspectos topológicos são

entendidos como as conformações dos relevos de uma determinada região, já os aspectos táticos, são estudos voltados à utilização desse relevo com a finalidade de se aproveitar suas características para se obter sucesso no cumprimento de uma tarefa estabelecida, que pode ser derrotar um inimigo ou até mesmo estabelecer uma posição defensiva). A plataforma, criada usando a *game engine* Unity 3D (<https://unity.com>), é dividida em duas interfaces: uma primeira, a ser utilizada pelo instrutor, que, por não utilizar realidade virtual pode vir a ser um *laptop*, *desktop* ou *tablet*, e a outra, a ser utilizada pelo aluno, utiliza um *Head Mounted Display* (HMD) com a finalidade de observar as informações enviadas pelo instrutor. Detalhes sobre os recursos e interações disponíveis são descritos a seguir.

##### 4.1 Interface do Instrutor

Tanto instrutor como aluno possuem a observação da mesma região do globo terrestre, escolhida em função do potencial de conhecimento que esta área pode ajudar a fornecer. Por se tratar de uma aplicação a ser utilizada entre o período de ensinamentos teóricos e a prática, normalmente esses locais são regiões a serem futuramente visitadas. A diferença está na interface: no caso do instrutor, este observa uma carta topográfica (cartas confeccionadas mediante um levantamento topográfico regular ou compiladas de cartas topográficas existentes e que incluem os acidentes naturais e artificiais, permitindo facilmente a determinação de altitudes [12]) da região a ser estudada, tendo a posição do aluno marcada com a bandeira do CFN (Figura 1). Outras telas disponíveis são: um quadro branco que possibilita confeccionar desenhos e uma tela onde é possível projetar slides. Nos dois últimos casos, ambos são projetados no ambiente do aluno de forma diegética, inserindo as informações necessárias ao usuário em algum elemento que faça parte do ambiente [13].



Figura 1. Interface utilizada pelo instrutor exibindo a opção para desenhar no terreno.

##### 4.2 Interface do Aluno

O aluno é inserido no Ambiente Sintético de Treinamento onde ele observa o terreno produzido, observado na figura 2, por meio do HMD, neste caso, o OCULUS Rift (<https://www.oculus.com/>). Nele o aluno é capaz de interagir com os objetos próximos, tais como carta topográfica, *slides* e quadro branco, quando disponibilizados. Ele também é capaz de apontar para posições no terreno através de um apontador laser lançado a partir de sua mão. O terreno é produzido utilizando o *asset* "Real World Terrain" (<https://assetstore.unity.com/packages/tools/terrain/real>

world-terrain-8752), utilizado pela Unity 3D. Este recurso utiliza fonte aberta, neste caso o site *Open Street Maps* (<https://www.openstreetmap.org/>), para obter os dados relativos ao relevo e imagens, gerando um terreno onde as imagens de satélite são ajustadas ao relevo na forma de texturas.



Figura 2. Interface utilizada pelo aluno observando o terreno e a carta disponibilizada.

### 4.3 Recursos Instrucionais

Para a orientação no terreno os alunos são capazes de observar os pontos cardeais, assim como qualquer localização ou direção apontada pelo Instrutor. Além disso, quadrículas (série de linhas retas que se cruzam a intervalos regulares, formando quadrados que podem ser facilmente designados pelos números indicativos das retas que se cruzam no seu canto inferior esquerdo [5]) da carta topográfica poderão ser projetadas no terreno, dando uma noção distância. Para facilitar seu estudo e navegação foi disponibilizada uma carta militar onde uma bandeira do Corpo de Fuzileiros Navais indica a posição do Observador.

Uma maneira de estudar os aspectos táticos do terreno é iluminando elevações cuja importância nas ações está em servir de referência para transmissão de informações. Na aplicação é possível iluminar elevações previamente programadas, facilitando o estudo. Outro tipo de iluminação está na possibilidade de inserir desenhos, que podem ser feitos pelo instrutor em sua carta militar e projetados no terreno para o aluno, permitindo melhor observação. Isto servirá para ressaltar aspectos do terreno tais como hidrografia, planimetria e estradas, bem como exibir medidas de coordenação entre outros.

Outros recursos instrucionais estão disponíveis caso explicações com projeções no terreno não esclareçam as dúvidas. Existindo a necessidade de efetuar desenhos em um quadro branco, este poderá ser exibido e manipulado, bem como o instrutor, com a disponibilidade de slides de uma apresentação, poderá exibi-los para conduzir as explicações. Além destes é possível transmitir a noção do posicionamento de tropas e simular interações entre forças por meio de animações no terreno.

Com a finalidade de transmitir as dificuldades atinentes ao posicionamento e observação, alterações na visibilidade e na localização dos alunos são possíveis. Assim, a opção de poder se posicionar em um local e tentar observar possíveis deslocamentos, bem como movimentar-se na rota pela qual a tropa passaria torna a

experiência melhor e traz mais benefícios no contexto da instrução.

### 5. Avaliação

Realizamos uma avaliação do SVETT com 5 instrutores e 7 alunos a fim de identificar se o uso dos diferentes recursos disponíveis contribuem para a aprendizagem dos usuários. Avaliamos dois cenários para os alunos e um cenário para os instrutores.

Para o instrutor, o contextualizamos em uma aula e solicitamos que ele utilizasse o equipamento para transmitir seu conhecimento.

Já para os alunos foram utilizados dois cenários, onde eles tiveram uma instrução tanto no terreno (normalmente executado durante o processo ensino aprendizagem) como no simulador, divergindo apenas na ordem em que foram executados. Neste caso, chamaremos de “SVETT” o cenário onde 4 dos 7 alunos passam primeiro pelo simulador e, posteriormente vão ao exercício real e “terreno” o cenário onde 3 dos 7 alunos passam primeiro pelo exercício no terreno e depois pelo simulador (Figuras 3 e 4).

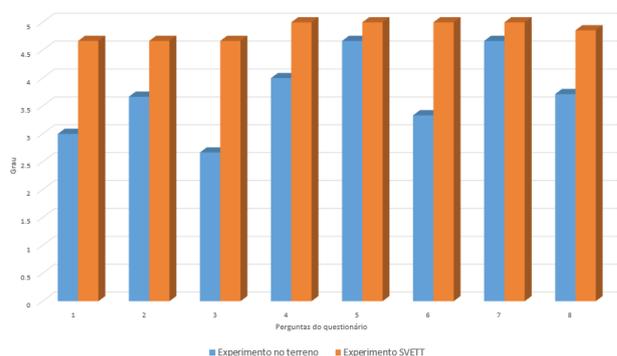


Figura 3. Gráfico contendo as médias das respostas individuais dos alunos.

1	A condução do giro do horizonte foi...
2	O entendimento do estudo tático do terreno foi...
3	Receber instrução através da utilização dos recursos instrucionais (quadro branco ou slides) foi...
4	A observação do terreno foi...
5	De modo geral em achei a ferramenta de instrução...
6	Receber instrução com essa ferramenta foi...
7	Com relação às respostas que deste neste questionário, eu estou...
8	Média Final

Figura 4. Índice das perguntas feitas aos alunos.

### 6. Resultados e Análise

Os resultados constataram uma melhora no processo de aprendizagem dos alunos. No cenário “SVETT”, onde o tempo de intervalo entre os experimentos foi de oitenta e dois dias, os alunos, por ocasião da segunda entrevista, reportaram terem se lembrado das perguntas realizadas bem como reconheceram o terreno. Além disso, por ocasião do término dos experimentos foi perguntado se os alunos estavam sentindo algum tipo de dor de cabeça, o que foi negado por todos.

Os instrutores relataram como aspectos positivos a possibilidade de utilizar os recursos normalmente disponibilizados em sala e sua facilidade de uso, além

de deixar o entendimento muito interessante, onde podemos inferir a boa aceitação por parte dos destes. Um aspecto negativo relatado foi a dificuldade em observar o rosto do aluno, o que facilitaria a detecção se este está com dúvida.

## 7. Conclusão

Neste estudo apresentamos o SVETT, um simulador virtual de estudo topotático do terreno que utiliza fontes abertas para reproduzir uma região qualquer e inserir tanto o aluno como o instrutor em uma área através de suas interfaces, com finalidade de majorar o ganho de conhecimento e preparar alunos para um melhor desempenho em exercícios militares.

Avaliamos nossa aplicação com 12 participantes, entre alunos e instrutores, onde obtivemos resultados favoráveis no processo ensino-aprendizagem. Através de dados coletados por meio de entrevistas e questionários, todos os alunos que passaram pelo simulador identificaram facilmente a região ao chegarem ao local propriamente dito, bem como se lembraram das questões realizadas na primeira etapa.

Nossa solução é adequada à medida que tanto docentes acharam a ferramenta fácil de usar, como discentes absorveram conhecimento, fato comprovado com a lembrança adquirida fruto do uso do simulador. Os resultados sugerem também melhorias para que o simulador seja adequado para todo tipo de usuário, além de uma proposta de estudos futuros, como a possibilidade da identificação, mesmo utilizando o HMD, da expressão do rosto do usuário, bem como a possibilidade da transmissão da instrução para alunos localizados em diferentes Unidades Militares.

## Bibliografia

- [1] Armada, E. M. (2014) Doutrina Básica da Marinha. Estado-Maior da Armada, Brasília, 2a Revisão.
- [2] Brasil (2012) Livro Branco de Defesa Nacional'. Ministério da Defesa, Brasília. Online: [https://www.defesa.gov.br/arquivos/estado\\_e\\_defesa/livro\\_branco/livrobranco.pdf](https://www.defesa.gov.br/arquivos/estado_e_defesa/livro_branco/livrobranco.pdf)
- [3] Ministério da Defesa (2012) Política Nacional de Defesa - Estratégia Nacional de Defesa. Brasília. Online: [https://www.defesa.gov.br/arquivos/estado\\_e\\_defesa/END-PND\\_Optimized.pdf](https://www.defesa.gov.br/arquivos/estado_e_defesa/END-PND_Optimized.pdf)
- [4] Marinha do Brasil (2008) Manual de planejamento dos Grupamentos Operativos de Fuzileiros Navais. Comando-Geral do Corpo de Fuzileiros Navais, Rio de Janeiro, 1a edição.
- [5] Marinha do Brasil (2008) Manual do Combatente Anfíbio. Comando-Geral do Corpo de Fuzileiros Navais, Rio de Janeiro, 1a edição.
- [6] Arbia, D. B.; Ouersighni, R. (2012) Simulation Systems for armed forces training. Proc. International Conference on Computer Related Knowledge, Sousse, Tunisia.
- [7] Stedmon, A. W.; Stone, R. J. (2001) Re-viewing reality: Human factors of synthetic training environments. Int. J. of Human-Computer Studies 55(4): 675-698. Academic Press. DOI: [10.1006/ijhc.2001.0498](https://doi.org/10.1006/ijhc.2001.0498)
- [8] Abreu, C. E. M.; Gonzaga, D. R. B.; Santos, F.J.; Oliveira, J.F.; Oliveira, K. D. M. et al. (2017) Indústria 4.0: Como as Empresas Estão Utilizando a Simulação para se Preparar para o Futuro. Revista Ciências Exatas e Tecnologia 12(12): 49-53. DOI: [10.17921/1890-1793.2017v12n12p49-53](https://doi.org/10.17921/1890-1793.2017v12n12p49-53)
- [9] Liske, H. (2010) A Lightweight Model of Computer Based Training for Exam Preparation. Proc. Int. Conf. on Computer Systems and Technologies, p. 365-369, ACM. DOI: [10.1145/1839379.1839444](https://doi.org/10.1145/1839379.1839444)
- [10] Veen, M. V. (2014) Validating the virtual: An Extensive Case Study of a Military Training Simulator. 280 pp. Dissertação. UvH Universiteit voor Humanistiek. Online: <https://repository.uvh.nl/handle/11439/381>
- [11] Palkhivala, K.; Bowllan, C.; Barnwell, T. (2003) CBT on the fast track. Proc. 17th Annual Int. Conf. Computer Documentation. Pp 169-175. ACM. DOI: <https://doi.org/10.1145/318372.318585>
- [12] Anderson, P. S. (1982) Princípios de Cartografia Básica.
- [13] Bailer, F. S.; and Alves, A. G. (2018) Boas práticas em Realidade Virtual Imersiva. Proc. SBGames 2018, p. 88-96. SBC.

# Visualização 3D Interativa de Dados Médicos Temporais Baseada em Modelo de Atenção Visual

Leonardo S. Silva, Ricardo Nakamura, Fátima L. S. Nunes

Laboratório de Tecnologias Interativas – Interlab/EPUSP  
Laboratório de Aplicações de Informática em Saúde – LApIS/EACH-USP  
Universidade de São Paulo  
{leonardosilva, ricardonakamura, fatima.nunes}@usp.br

**Resumo:** Este trabalho apresenta o projeto de um ambiente 3D interativo, desenvolvido com o suporte de conceitos de Atenção Visual, para a visualização de dados médicos com característica temporal. Ao estabelecer uma relação entre os elementos gráficos utilizados e as preferências do usuário, por meio de técnicas de aprendizagem de máquina objetiva-se contribuir com a melhoria da percepção visual nas ferramentas de visualização de informação, bem como avançar na personalização das visualizações oferecidas a partir das preferências dos usuários. Resultados preliminares apontam que a Atenção Visual pode ser um recurso importante no projeto de visualização de informações, além de sinalizarem possibilidades de pesquisa na exploração de técnicas de aprendizagem de máquina no contexto do projeto das interfaces dessas visualizações.

**Palavras-chave:** Visualização de informação; Atenção visual; Aprendizagem de máquina.

## 1. Introdução

A Visualização de Informação (VI) tornou-se um importante campo de estudo por viabilizar ferramentas que permitam manipular e explorar dados, estabelecendo uma interface entre a mente humana e o poder oferecido pelos avanços tecnológicos. Oferece, assim, a possibilidade de representação visual para dados com características abstratas e consequentemente sua compreensão e manipulação [1].

Na área médica, muitos desses dados apresentam um forte aspecto temporal, tendo seus valores alterados ao longo do tempo [2, 3]. O uso de técnicas de Realidade Virtual (RV) na área da saúde vem criando diversas possibilidades de aplicações, além de avanços relacionados ao desenvolvimento de *hardware* e *software* [4]. Entretanto, ainda que possa trazer relevantes contribuições à visualização e exploração de dados temporais, seu uso ainda pode ser considerado limitado tendo em vista que grande parte dos métodos utilizados para visualizar dados baseiam-se em técnicas bidimensionais bem conhecidas [5].

Considerando sua habilidade em ajudar seres humanos a processar e explorar cenas visuais complexas, por exemplo, orientando a localização de uma região de interesse, a Atenção Visual (AV) tem recebido grande atenção da comunidade científica [6, 7, 8, 9].

Considerando o cenário apresentado, este trabalho busca contribuir com o aumento da percepção visual das informações em um ambiente tridimensional (3D) interativo para visualização de dados médicos temporais, construído com o suporte de conceitos de AV. Após a realização de um experimento controlado, técnicas de aprendizagem baseada em regras foram usadas na busca de formas para estabelecer uma relação entre os elementos gráficos projetados e as preferências do usuário.

## 2. Motivação

Um levantamento realizado por meio de uma revisão sistemática de literatura apontou que o espaço bidimensional (2D) tem sido majoritariamente escolhido para construção de representações visuais para técnicas de visualização de dados temporais [1]. Técnicas baseadas no uso do espaço 3D ou híbridas (2D e 3D),

representam um pequeno número de iniciativas e que compreendem em sua maioria, extensões as técnicas tradicionalmente usadas no espaço 2D.

Mecanismos de AV contribuem com a redução do esforço cognitivo envolvido na execução de uma tarefa, ao favorecer a seleção de áreas de interesse e a apresentação de saliências, dentre outros aspectos visuais [10]. A AV tem sido amplamente utilizada em conjunto com técnicas de aprendizagem de máquina no auxílio à segmentação e o reconhecimento de objetos, geração de legendas para imagens, dentre outras atividades [11].

No contexto da VI, a percepção visual e a AV desempenham um papel crítico por afetarem diretamente a maneira como uma visualização é percebida pelos usuários. Os fatores *bottom-up* são responsáveis por guiar inconscientemente a atenção por meio de estímulos de baixo nível que se destacam em uma cena, o chamado efeito *pop-up*. Esses fatores envolvem: cores, contraste, textura e movimento [9, 11, 12].

O uso do aprendizado de máquina não é exatamente uma novidade em VI, sendo empregado na seleção de conteúdo e descoberta de padrões nos dados. Entretanto, seu uso no projeto de interfaces para VI ainda é pouco explorado.

## 3. Trabalhos Correlatos

Alguns trabalhos buscam auxiliar na compreensão da grande variedade de aplicações existentes, apontando a falta de pesquisa relacionando técnicas visuais e dados temporais. Posteriormente, com a introdução da questão do uso de *Visual Analytics* a discussão sobre técnicas de visualização de dados temporais foi estendida por meio de uma categorização alinhada à identificação de futuras tarefas de *Visual Analytics* [2].

A utilização do conceito de cubo espaço-temporal se mostra uma representação interessante independentemente de sua aplicação no espaço 3D ou 2D por sua aplicação em diferentes situações.

Em uma ferramenta de VI, elementos como: projeto, memória, AV e percepção, podem afetar a forma como o usuário observa a visualização. Entretanto, o uso de modelo de AV para predizer os pontos de fixação do olhar durante uma análise exploratória, ou mesmo, a

influência que estímulos de saliências tem na análise visual durante execução de uma tarefa, possuem poucas evidências documentadas, abrindo espaço para interessantes oportunidades de pesquisa [9].

#### 4. Metodologia

A partir do desenvolvimento de um estudo de caso, definiu-se que a representação visual a ser utilizada seria inspirada no formato de um poliedro (Figura 1), inicialmente configurado com dados oriundos de um banco de dados e organizada em quatro dimensões ou agrupamentos informacionais: sintomas, diagnóstico, conduta e evolução.

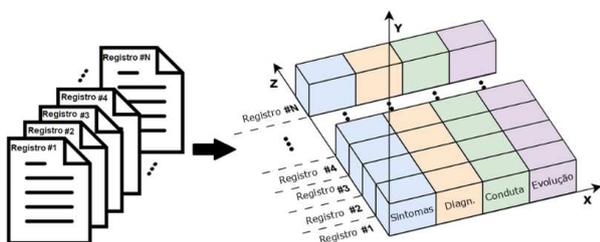


Figura 1. Representação visual escolhida para visualização de dados médicos.

O poliedro formado por todas as consultas de um paciente, representa o histórico médico desse paciente. Os agrupamentos informacionais formados pelos dados de uma consulta individual (Figura 1) são alocadas ao longo do Eixo X. Por sua vez, o Eixo Y é usado para registrar o valor, enquanto todas as consultas individuais do paciente são alinhadas ao longo do Eixo Z, permitindo assim estabelecer uma linha do tempo.

Os elementos gráficos usados na concepção do protótipo foram guiados com base em conceitos de VA, de forma que cada dimensão seja identificada por uma cor exclusiva, baseada nas 12 cores do círculo cromático e por uma forma geométrica 3D não exclusiva.

As informações que possuem relevância para o usuário podem ser destacadas de três formas: por tamanho, por cor complementar ou por cor, conforme a Figura 2.

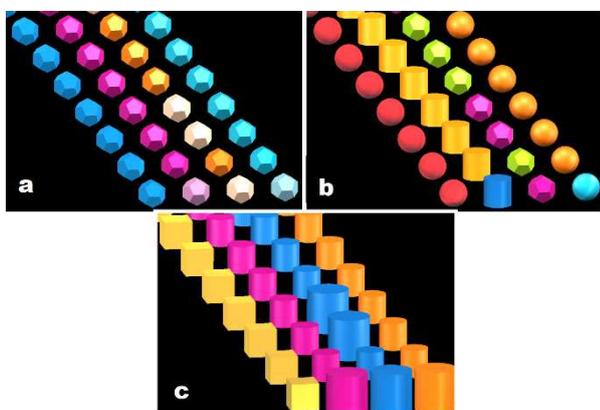


Figura 2. Formas de saliência projetadas na abordagem: (a) por cor, (b) por cor complementar e (c) por tamanho.

A partir de dados de anamnese oriundos do serviço ambulatorial, um protótipo foi implementado, submetido a um Teste de Usabilidade e a um experimento controlado. Dessa forma, usando sempre o

mesmo conjunto de dados de um paciente, cada um dos cinco voluntários, que são usuários especialistas, avaliou 45 diferentes combinações entre os elementos gráficos projetados para a visualização a partir de conceitos de AV.

Cada variação apresenta uma diferente combinação entre cores, formas 3D e forma de saliência, de acordo com a Figura 1. Por meio da própria interface do protótipo, o voluntário tem a disposição dois botões para manifestar sua aprovação ou reprovação.

De acordo com os objetivos do projeto, a seguinte questão de pesquisa foi elaborada: É possível estabelecer uma relação entre as preferências dos usuários sob os elementos gráficos usados no projeto e os conceitos de AV adotados?

De forma a responder à questão de pesquisa proposta, foram enunciadas as seguintes hipóteses:

- H1: O uso de cor complementar (Figura 2b) é preferível ao tamanho (Figura 2c) como forma de saliência para destacar informações relevantes.
- H2: O uso de cor complementar (Figura 2b) é preferível ao uso de contraste (Figura 2a) como recurso gráfico para destacar informações relevantes.
- H3: O uso de formas diferentes (Figura 2b) para representar os agrupamentos informacionais é preferível ao uso de uma única forma (Figura 2a).

#### 5. Resultados

A partir de 225 respostas coletadas, foram obtidas 75 (33%) respostas positivas em relação às visualizações apresentadas, indicando que os voluntários aprovaram as combinações de cor, formas 3D e forma de saliência propostas. Por outro lado, 150 (67%) visualizações foram reprovadas pelos voluntários, conforme a Figura 3.

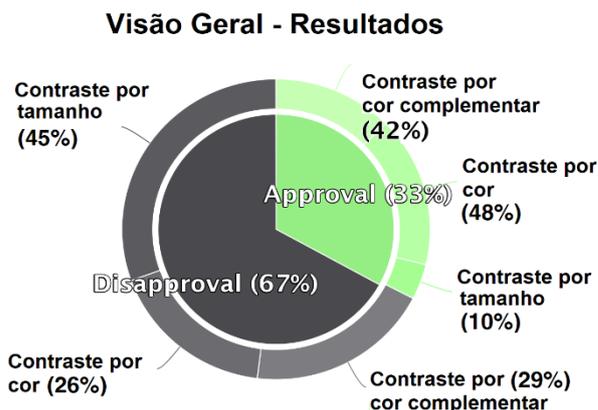


Figura 3. Resultado geral – aprovações e reprovações.

##### 5.1 Avaliação usando aprendizagem por regra associativa

De forma a estabelecer uma relação entre os elementos gráficos usados na abordagem proposta e as preferências dos usuários, o conjunto de dados formado pelas respostas foi submetido a uma técnica de aprendizagem baseada em regras.

O algoritmo *Apriori* foi usado com os parâmetros mínimos  $min\_sup = 0.0045$  e  $min\_conf = 0.7$ , responsáveis pela seleção dos itens e geração de regras,

respectivamente. Os valores são justificados pelo tamanho do conjunto de dados (*min\_sup*) e pela busca de regras que possam indicar forte dependência entre os itens (*min\_conf*).

Dentre o conjunto de regras geradas, foram selecionadas aquelas que apresentaram entre o seu conseqüente o item que representa a avaliação do usuário aprovado e reprovado. Parâmetros como confiança e *lift* foram usados para a análise das regras, priorizando regras com valor de confiança igual a 1.0, sinalizando que 100% das regras nas quais o antecedente estava presente, o conseqüente também estava presente. Por sua vez, o valor de *lift* acima de 1.0 indica a forte dependência entre os itens do antecedente.

De um total de 2020 regras geradas, 169 (8%) foram selecionadas, com um total de 7 regras implicando em aprovação (no conseqüente) e 162 implicando em reprovação (no conseqüente). As regras implicando em aprovação são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Regras implicando em aprovação.

Antecedente	Conseqüente
Azul-Violeta-Dodecaedro, Azul-Esfera	1
Vermelho-Esfera, Azul-Esfera	1
Amarelo-Laranja-Dodecaedro, Azul-Esfera	1
Azul-Violeta-Dodecaedro, Vermelho-Esfera	1
Azul-Violeta-Dodecaedro, Amarelo-Laranja-Dodecaedro	1
Amarelo-Laranja-Dodecaedro, Vermelho-Esfera	1
Amarelo-Laranja-Dodecaedro, Cor	1

A partir da Tabela1 foi possível observar que:

- todas as regras apresentaram fator de confiança igual a 1.0 e *lift* igual a 3.0, indicando forte dependência entre os itens presentes no antecedente e que tais regras possuem potencial de apoiar decisões futuras;
- em uma das regras, ocorreu a presença do item “contraste” no antecedente, corroborando com a literatura a preferência dos usuários pelo uso de cor como forma de saliência. Vale ressaltar que a seleção de um item para compor uma regra é conseqüência dos parâmetros de suporte e confiança, indicando relevância junto ao conjunto de dados;
- *Azul-Violeta-Dodecaedro*, *Amarelo-Laranja - Dodecaedro*, *Vermelho-Esfera* e *Azul-Esfera* foram as combinações mais frequentes entre cor e forma, encontrada nas regras;
- ainda que possamos confirmar a presença dos itens nas regras, considerando o projeto da visualização não foi possível estabelecer em qual posição essa combinação ocorreu.

## 6. Discussão

Com base nos resultados e considerando nosso objetivo e hipóteses, foi possível encontrar as seguintes implicações após a condução do experimento:

**H1: A hipótese foi confirmada.** O uso de cores como forma de destacar as informações relevantes, seja por cor ou por cor complementar mostrou-se mais interessante do que a possibilidade de contraste por tamanho para os voluntários que participaram do experimento (Figura 3). Foram encontradas 26 (16%) regras que implicam em reprovação com a presença do

item contraste por tamanho no antecedente. O resultado corrobora com a literatura que afirma que o sistema de AV humano é inicialmente atraído por cor, reconhecendo a forma ou o objeto em um segundo momento.

**H2: Os dados coletados foram inconclusivos e não permitem confirmar ou refutar a hipótese.** De acordo com o grupo de voluntários, tanto o contraste por cor como por cor complementar apresentou comportamentos similares nas avaliações, sendo que o contraste por cor apresentou melhor taxa de aprovação. Além disso, entre as regras geradas que implicam em aprovação, há uma menção explícita ao contraste por cor usado como forma de saliência, o que pode ser indicar uma preferência entre os usuários.

**H3: Os dados coletados foram inconclusivos e não permitem confirmar ou refutar a hipótese.** A Figura 4 mostra que as visualizações com duas ou mais formas apresentaram comportamento similar, com aproximadamente o mesmo nível de aprovação, que as visualizações com apenas uma forma. Não foi possível estabelecer uma relação entre as formas e as formas de saliência usadas nas visualizações; entretanto, entre as sete regras que implicaram em aprovação, em quatro delas havia uma menção explícita ao uso de duas formas distintas, ambas compartilhando formato arredondado: dodecaedro e esfera.

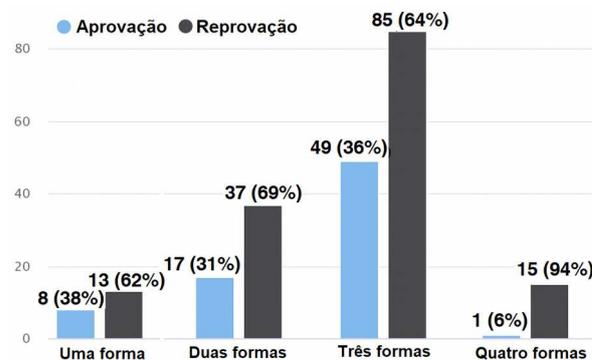


Figura 4. Quantidade de formas presentes por visualizações.

## 7. Conclusões

Os resultados preliminares apontaram a existência de um conjunto de regras que relacionam os elementos gráficos utilizados em uma proposta de visualização baseada em técnicas de RV e conceitos de AV.

Foi observado, no grupo de voluntários que participou do experimento, uma possível preferência pelo uso de contraste por cor como forma de salientar informações relevantes. Em comparação ao contraste por complementar, isso pode ser explicado em função de algumas combinações de cores serem consideradas desconfortáveis pelos usuários, até mesmo sobrecarregando sua percepção visual.

Por sua vez, o uso de diferentes formas geométricas simples como um instrumento para indicar similaridade entre os agrupamentos informacionais foi bem recebido pelos usuários. Entretanto, uma possível relação entre as formas geométricas utilizadas e as formas de saliência não foram ainda estabelecidas, sendo uma questão a ser explorada no futuro.

As regras obtidas a partir do uso de aprendizagem baseada em regras orientarão a geração de novas variações para a visualização proposta. Espera-se que essas novas visualizações sejam mais significativas aos usuários, favorecendo assim a melhor percepção das informações apresentadas.

Os resultados também sinalizam a necessidade de aumentar o conjunto de dados como forma de melhorar parâmetros como suporte, confiança e *lift* das regras. O conjunto de dados também será usado no treinamento de um classificador baseado em árvore de decisão, a ser usado futuramente na avaliação das novas variações da visualização.

Objetiva-se com isso estabelecer um mecanismo permanente para aprimoramento da visualização para um determinado grupo de usuários ou, no caso, de um novo domínio de aplicação que permita ajustar a visualização as preferências desse novo grupo.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e a FAPESP – INCT – MACC (Processo 157535/2017-7) pelo apoio.

### Bibliografia

- [1] Liu, S.; Cui, W.; Wu, Y.; Liu, M. (2014) A survey on information visualization: recent advances and challenges. *The Visual Computer* 30(12): 1373-1393. DOI: [10.1007/s00371-013-0892-3](https://doi.org/10.1007/s00371-013-0892-3).
- [2] Aigner, W.; Miksch, S.; Müller, W.; Schumann, H.; Tominski, C. (2007) Visualizing time-oriented data - a systematic view. *Computers & Graphics* 31(3): 401-409. DOI: [10.1016/j.cag.2007.01.030](https://doi.org/10.1016/j.cag.2007.01.030)
- [3] Morawa, R.; Horak, T.; Kister, U.; Mitschick, A.; Dachselt, R. (2014) Combining Timeline and Graph Visualization. *Proc. Ninth ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, p. 345-350. ACM. DOI: [10.1145/2669485.2669544](https://doi.org/10.1145/2669485.2669544)
- [4] Nunes, F. L. S.; Costa, R. M. E. M.; Machado, L. S.; Moraes, R. M. (2011) Realidade Virtual para saúde no Brasil: conceitos, desafios e oportunidades. *Rev. Bras. Eng. Biom* 27(4): 243-258. DOI: [10.4322/rbeb.2011.020](https://doi.org/10.4322/rbeb.2011.020)
- [5] Kirk, A. (2012) *Data Visualization: a successful design process*. Packt Publishing Ltd.
- [6] Liu, X.; Milanova, M. (2018) Visual attention in deep learning: a review. *International Robotics & Automation Journal* 4(3): 154-155. DOI: [10.15406/iratj.2018.04.00113](https://doi.org/10.15406/iratj.2018.04.00113)
- [7] Treisman, A. M.; Gelade, G. (1980) A feature-integration theory of attention. *Cognitive psychology* 12(1): 97-136. DOI: [10.1016/0010-0285\(80\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0010-0285(80)90005-5)
- [8] Borji, A., & Itti, L. (2012) State-of-the-art in visual attention modeling. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* 35(1): 185-207. DOI: [10.1109/TPAMI.2012.89](https://doi.org/10.1109/TPAMI.2012.89)
- [9] Polatsek, P.; Waldner, M.; Viola, I.; Kapec, P.; Benesova, W. (2018) Exploring visual attention and saliency modeling for task-based visual analysis. *Computers & Graphics* 72: 26-38. DOI: [10.1016/j.cag.2018.01.010](https://doi.org/10.1016/j.cag.2018.01.010)
- [10] Frintrop, S.; Rome, E.; Christensen, H. I. (2010) Computational visual attention systems and their cognitive foundations: a survey. *ACM Transactions on Applied Perception* 7(1): article 6. DOI: [10.1145/1658349.1658355](https://doi.org/10.1145/1658349.1658355)
- [11] Nothdurft, H. C. (2000) Saliency from feature contrast: additivity across dimensions. *Vision Research* 40(10-12): 1183-1201. DOI: [10.1016/S0042-6989\(00\)00031-6](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(00)00031-6)
- [12] Silva, S. F.; Catarci, T. (2000) Visualization of linear time-oriented data: a survey. *Proc. First International Conference on Web Information Systems Engineering*, v. 1, p. 310-319. IEEE. DOI: [10.1109/WISE.2000.882407](https://doi.org/10.1109/WISE.2000.882407)