

Uma ferramenta de autoria para construção de ambientes de realidade virtual para subestações de energia baseada em panoramas aumentados

Alexandre C. P. Pessoa*, Daniel L. Gomes Jr.[†], Paulo R. J. dos Reis*,
Anselmo C. Paiva*, Aristófares C. Silva*, Geraldo Braz Jr.*, Antônio S. de Araújo[‡]
*Núcleo de Computação Aplicada, Universidade Federal do Maranhão
[†]Departamento de Computação, Instituto Federal do Maranhão
[‡]Departamento de Operação de Sistema, Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
Email: alexandre.pessoa0707@gmail.com, daniellima@ifma.edu.br, jansen@nca.ufma.br,
anselmo@deinf.ufma.br, ari@dee.ufma.br, geraldo@deinf.ufma.br, asergio@chesf.gov.br

Abstract—This work presents an authoring tool for the construction of virtual reality (VR) immersive environments using spherical panoramas associated with the concept of augmented panoramas. This tool allows the creation of augmented panoramas from previously acquired images, using a web server, and it also allows the association of the objects present on the panorama with a database to provide information about them in the VR environment. The tool was utilized to build an immersive environment based on a power substation, where images from a real substation were acquired, and data about the equipment was consulted through communication with the data acquisition systems of the substation.

Resumo—Este trabalho apresenta uma ferramenta de autoria utilizando panoramas esféricos para a construção de ambientes imersivos de realidade virtual (RV) associada ao conceito de panoramas aumentados. A ferramenta permite a construção de panoramas aumentados a partir de imagens adquiridas previamente, utilizando um servidor web, e também permite a associação dos objetos presentes no panorama com uma base de dados para fornecer informações sobre os mesmos no ambiente de RV. A ferramenta foi utilizada para construir um ambiente imersivo baseado em uma subestação de energia, onde foram adquiridas imagens de uma subestação real, e dados sobre os equipamentos foram consultados através de uma comunicação com os sistemas de aquisição de dados da subestação.

I. INTRODUÇÃO

Aplicações utilizando Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) para dar suporte à visualização de dados nas áreas de arquitetura, engenharia e construção têm sido muito utilizadas. Além disso, o uso de anotações tanto em RV quanto em RA se apresenta como um modo eficiente e intuitivo de fornecer informações contextualizadas. O uso de anotações associadas ao mundo real devem estar presentes na mesma localização que o objeto relacionado a elas [1] [2].

A realidade aumentada é a tecnologia que consiste em adicionar elementos virtuais ao mundo real, enriquecendo a percepção e a interação com o mesmo, ao ter informações sobrepondo objetos em tempo real [3]. Em ambientes industriais, essa tecnologia pode ajudar profissionais durante treinamentos e capacitações, e durante a manutenção e reparo de equipamentos [4] [5].

De acordo com [6], apesar da demanda existente por aplicações que utilizem RA para treinamento e realização de operações, o uso dessa tecnologia ainda se apresenta de forma limitada. Isso ocorre pois em ambientes industriais ou áreas como arquitetura, engenharia e construção exigem alta precisão e, geralmente, um processamento de dados em tempo real. Estas características tornam o uso de RA nestes campos ainda mais difícil.

Nos últimos anos tem crescido o interesse e o uso de aplicações com uso de panoramas nos mais diferentes formatos: cilíndricos, esféricos, cúbicos. Esse interesse pode ser justificado devido à dificuldade no uso da tecnologia de RA. Com o uso de panoramas torna-se possível, e de forma mais simples, criar ambientes de RV que possibilitam a visualização de imagens obtidas do ambiente real.

O conceito de panoramas aumentados tem sido desenvolvido em diferentes abordagens no últimos anos. De acordo com [6], que apresentou a técnica como para uso de vídeos panorâmicos juntamente com modelos 3D no formato de informações aumentadas apresentadas de forma integrada. Trata do uso de panoramas com imagens estáticas e com uso de câmeras panorâmicas em tempo real. Já de acordo com [7], os panoramas aumentados proporcionam uma experiência de realidade virtual com independência de localização e informação contextualizada semelhante aos ambientes puramente de realidade aumentada. O trabalho classifica ainda esse tipo de aplicação como ambientes de realidade semi-aumentada, pois possibilita ao usuário além da imersão, a sensação de estar presente no ambiente real onde as imagens foram adquiridas.

Essas duas abordagens de classificação de ambientes baseados em panoramas mostram que o uso de imagens reais possibilita a criação de ambientes de realidade virtual com visualização contextualizada ao ambiente real.

Para aplicações voltadas à área industrial, como em sistemas elétricos, os panoramas aumentados com imagens estáticas representam com fidelidade o próprio ambiente real, já que nesses cenários dificilmente há mudança da cena observada.

Além disso, em ambientes como subestações e usinas, o uso da tecnologia de RA com marcadores fiduciais é inviável, pois boa parte dos equipamentos dessas áreas não podem ser desligados, e enquanto eles estiverem em funcionamento, o tráfego de pessoas se torna restrito a uma distância mínima de segurança. Como essa distância varia de acordo com o tipo de equipamento, o processo de fixação de marcadores é impossibilitado. Além disso, os marcadores fixados em ambientes como estes estariam sujeitos a desgastes causados por fatores naturais por estarem em ambientes externos, o que dificultaria a identificação dos mesmos.

O desenvolvimento de aplicações utilizando RV baseada em panoramas em áreas industriais vem obtendo resultados mais satisfatórios que as aplicações de RA no mesmo campo, devido à sua alta precisão, já que usam imagens estáticas e a localização das anotações são definidas previamente.

A. Trabalhos Relacionados

Diversos trabalhos relacionados a panoramas são voltados às técnicas de montagem e construção desse tipo de imagem. Outros trata de metodologias para a construção de cenários virtuais. Em nosso trabalho trataremos de ferramentas de autoria para construção de ambientes de RV baseados em panoramas aumentados com uso de imagens estáticas.

Diversas áreas de aplicação podem ser utilizadas com panoramas aumentados, como as metodologias para a construção e navegação em ambientes 3D utilizando panoramas são apresentada em [8] e [9]. Essas metodologias foram aplicadas especificamente na área de turismo, sendo que apenas em [8], a visualização dos panoramas foi feita de maneira imersiva.

Em [10] é apresentada uma ferramenta de autoria que utiliza uma combinação entre imagens e um mapa de profundidade gerado com a utilização de uma câmera de profundidade. Essa ferramenta possui recursos gráficos para facilitar o desenvolvimento de aplicações utilizando RA para a realização de manutenções em ambientes industriais, fazendo com que estas possam ser feitas por usuários comuns (sem qualquer conhecimento de programação), agilizando seu desenvolvimento e reduzindo custos.

Já em [11], é descrita outra ferramenta de autoria para a criação de aplicações de RA, que auxilia a execução sequencial de procedimentos industriais. Essa ferramenta foi avaliada e mostrou benefícios, reduzindo em 90% o tempo necessário para a construção de novas aplicações, e essas mostraram uma diminuição de 75% nos erros realizados durante a execução de procedimentos.

Ferramentas de autoria voltadas para a criação de ambientes de realidade aumentada tiveram bastante relevância no últimos anos devido ao crescente uso da tecnologia de RA. Com relação a ambientes de realidade virtual, que em geral usam modelos 3D, as ferramentas de autoria em geral se baseavam na facilitação da criação destes modelos tridimensionais ou na vinculação da lógica entre os modelos 3D para acelerar a criação desse tipo de aplicação de RV, como apresentado em [12], [13].

Podemos dizer que, com o uso dos panoramas aumentados, novas ferramentas de autoria voltadas para panoramas aumentados e para facilitação de criação destes modelos de RV são necessárias.

Além disso, aplicações de realidade virtual tem sido utilizadas para visualização na indústria. Os trabalhos de [14], [15] mostram abordagens diferentes visando simular situações reais.

Em [16] é mostrado no campo de sistemas elétricos há um grande distanciamento entre teoria e prática. Além disso, o trabalho mostra que, em geral, os estudantes de engenharia raramente tem a oportunidade de visitar uma planta de uma subestação de energia. Aplicações de visualização com panoramas aumentados pode suprir esta necessidade através da criação de visualizações com imagens reais.

Tanto aplicações de RV quanto aplicações de RA possuem grande potencial para modificar a visualização no cenário industrial na próxima década. Isso se tornou possível devido ao grande avanço tanto na capacidade de processamento dos dispositivos móveis quanto no surgimento de novos dispositivos como câmeras de profundidade acopladas a *smartphones* e óculos com visão estéreo para visualização.

II. PANORAMAS

A palavra panorama tem origem grega e se constitui da junção das palavras "pan" e "horama", que significam respectivamente "tudo" e "visão", significando portanto uma visão ampla de determinado cenário. Existem diversos tipos de panoramas, e cada um deles possui uma maneira própria de interação e visualização.

Os panoramas são classificados de acordo com o campo de visão e o tipo de projeção utilizada, sendo os mais conhecidos panoramas esféricos, cúbicos, cilíndricos e retilíneos.

Dentre os panoramas existentes, aqueles que possuem maior grau de imersão são os panoramas esféricos e cúbicos. Esses tipos são classificados como completos.

A. Panoramas esféricos

Como o foco deste trabalho é a criação de visualização que possibilite ao usuário o maior grau de imersão possível foi definido o panorama esférico (Figura 1) para construção na ferramenta de autoria.

A geração de panoramas utilizando métodos baseados em mosaico de imagens pode ser realizada através do uso de múltiplos sensores, ou uma única câmera sendo rotacionada pelo ambiente. Mosaico de imagens são definidos como a junção ou "costura" (*stitching*) de várias imagens formando um único panorama [17].

As aplicações com uso de panoramas esféricos permitem uma experiência com maior grau de detalhamento, devido a utilização de imagens do mundo real [18], [19].

A utilização de panoramas esféricos para criação de ambientes de RV apresenta custos e tempo de desenvolvimento reduzido, pois não há necessidade da construção de modelos de cenas realistas [20].

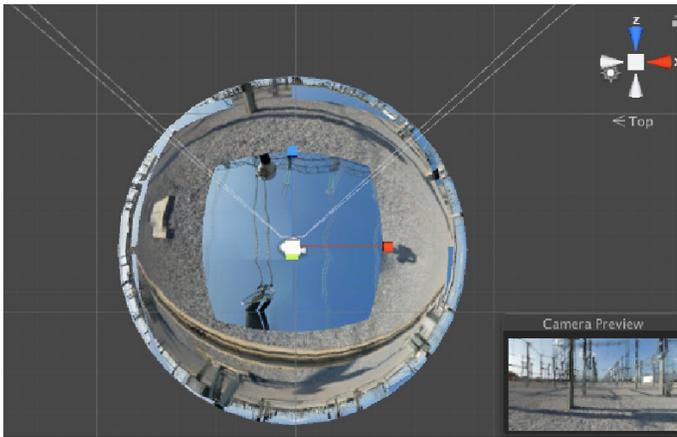


Figura 1. Panorama completo no modelo esférico

A aplicação desenvolvida utiliza visão estereoscópica para visualização de panoramas esféricos. Dessa forma, em cada instante de visualização do panorama existem dois pontos de vista diferentes, correspondendo aos olhos direito e esquerdo. Esse tipo de panorama permite uma percepção de profundidade, além da imersão de 360 graus do ambiente, o que motiva ainda mais a utilização de panoramas para o desenvolvimento de aplicações imersivas [21].

III. VISÃO ESTÉREO

Métodos computacionais de visão estéreo surgiram baseados nos princípios da visão humana, onde a visualização de diferentes perspectivas dos olhos esquerdo e direito é simulada. Essa visualização é feita por câmeras reais ou virtuais, que são geralmente separadas por uma distância baseada na distância interpupilar (ou IPD, do inglês *Interpupillary Distance*). A união das imagens adquiridas por essa visualização em uma única visão 3D é feita pelo cérebro através da percepção de profundidade causada pelas diferenças de duas perspectivas.

A diferença das posições entre um objeto observado e os olhos esquerdo e direito é chamada de paralaxe. A Figura 2 mostra a disparidade entre as imagens capturadas pelos olhos esquerdo e direito causando a mudança de profundidade dos objetos, sendo percebidos na frente (paralaxe negativo), atrás (paralaxe positivo), ou na mesma posição onde acontece a projeção das imagens (zero paralaxe) [22].

Sistemas de visão estéreo são classificados de acordo com a tecnologia utilizada para a exibição das imagens separadas para cada olho. Os principais sistemas utilizados atualmente são: passivos, ativos, autoestereoscópicos e *Head-Mounted Displays*.

A realização de visão estéreo através de *Head-Mounted Displays* não é uma ideia nova, mas vem crescendo consideravelmente nos últimos anos devido a avanços significativos no estado-da-arte de dispositivos de realidade virtual e aumentada. Existem atualmente diversos exemplos de dispositivos em desenvolvimento ou fase experimental, assim como alguns já a venda, como por exemplo, o Oculus Rift [23], o Gear VR [24],

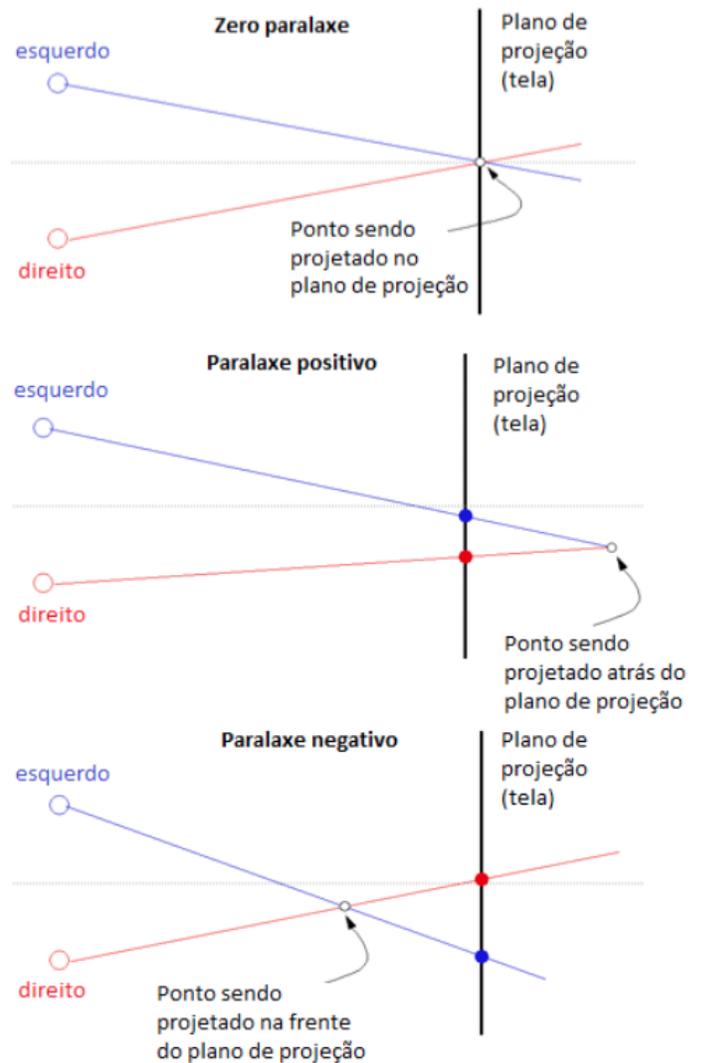


Figura 2. Percepção de profundidade dos objetos através do efeito de paralaxe (adaptado de [22]).

o HTC Vive [25], o Microsoft HoloLens [26], o PlaystationVR [27], o Google Cardboard [28], entre diversos outros.

IV. FERRAMENTA DE AUTORIA PARA CRIAÇÃO DE PANORAMAS AUMENTADOS COMPLETAMENTE IMERSIVOS

Este trabalho propõe uma ferramenta que visa facilitar a criação de ambientes de RV baseados em panoramas esféricos, tornando essa tarefa acessível ao usuário final. Esta ferramenta permite a geração dos arquivos de configuração necessários para a construção de um panorama aumentado através de um servidor web, para tornar a ferramenta mais acessível e portátil.

Para a construção do panorama aumentado utilizando esta ferramenta, o usuário deverá primeiro selecionar as imagens que irão compor o ambiente. Essas imagens panorâmicas devem ser adquiridas previamente.

Com as imagens panorâmicas carregadas, o usuário poderá, então, fazer a marcação de pontos de interesse e *links*.

Essas marcações são *pixels* nas imagens panorâmicas e a cada marcação é atribuída um identificador único. É possível ainda incluir *links* de navegação entre panoramas diferentes que vincula o *link* ao identificador do ambiente de destino. Dessa forma, permite a navegação entre panoramas diferentes. Estes *links* possuirão, além de seus identificadores únicos, o identificador do panorama com o qual estará associado.

Com as texturas mapeadas, os *links* criados e pontos de interesse projetados na geometria do panorama, é realizada a conexão com a base de dados com informações dos equipamentos. A ferramenta define como entrada de dados, um arquivo JSON contendo as informações do ambiente real. O processo completo utilizado na ferramenta é mostrado na Figura 3.

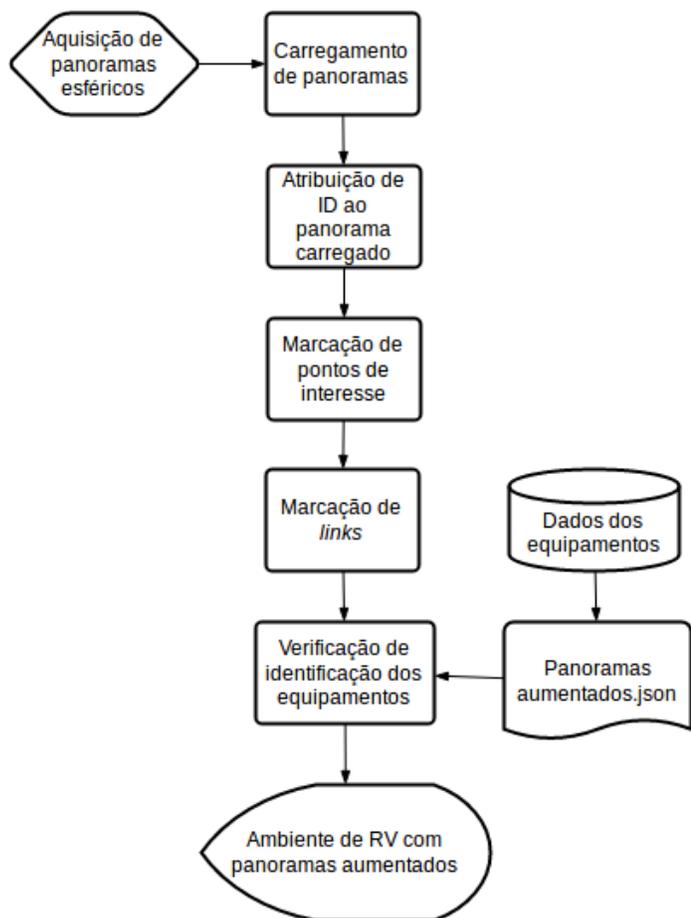


Figura 3. Etapas para o processo de construção dos panoramas aumentados com aquisição de panoramas esféricos.

Dessa forma, o processo de marcação se resume a associação dos identificadores dos equipamentos no arquivo JSON aos pontos de interesse previamente marcados.

Após o carregamento das imagens e a marcação dos POIs e *links*, as imagens são mapeadas como texturas nas geometrias respectivas de cada tipo de panorama, e os pontos de interesse e *links* serão projetados nos mesmos. Com isso, o panorama aumentado é construído, e poderá ser utilizado para a visualização.

Esta ferramenta permite uma construção mais rápida de ambientes imersivos. Isso ocorre pois não há necessidade de criar modelos 3D ou modelar o ambiente para construir uma cena imersiva. Dessa forma, com uso de panoramas aumentados, os objetos da cena são previamente marcados para a exibição de informações.

V. RESULTADOS

O *software* de autoria foi testado para a construção de um ambiente de realidade virtual baseado em panoramas aumentados. O contexto utilizado foi de subestações de energia. As imagens reais foram obtidas da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) para construção de uma representação virtual baseada em imagens de uma de suas subestações.

A aquisição dessas imagens panorâmicas esféricas foi realizada com o auxílio de um tripé e uma câmera digital. A câmera foi rotacionada pela subestação enquanto varias imagens eram adquiridas, e um mosaico de imagens foi montado pelo próprio sistema embarcado da câmera, o que gerou imagens no formato de panorama esférico completo.

Com a obtenção das imagens panorâmicas esféricas, foram efetuadas marcações manuais dos equipamentos presentes no cenário. Mais especificamente, chaves e disjuntores presentes na cena (Figura 4). Como o panorama esférico possui uma visão completa da cena, é permitido ao usuário modificar a visão navegando pelo panorama carregado. Dessa forma, possibilita a visualização e marcação dos equipamentos presentes na cena.

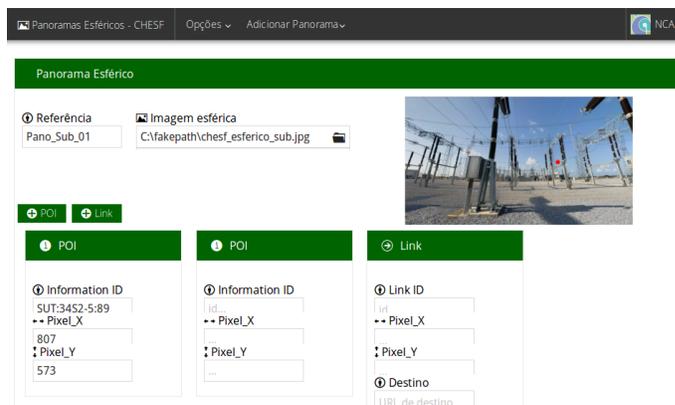


Figura 4. Interface web da ferramenta de autoria para marcação de panoramas esféricos e criação de POIs ou links de navegação entre panoramas diferentes.

A comunicação com os dados de equipamentos utiliza um *framework* próprio integrado aos sistemas de aquisição de dados da CHESF. Nessa comunicação com os sistemas de controle da subestação visualizada, foram obtidos dados simulados para permitir as consultas dos dados de equipamentos. A simulação dos dados utiliza comunicação com o Sistema Aberto para Gerenciamento de Energia (SAGE) e o *Operator Training Simulator* (OTS), sistemas amplamente utilizados por empresas de energia do Brasil. A comunicação utilizada com o SAGE e o OTS foi feita baseada na arquitetura proposta em [29]. Os dados utilizados pela ferramenta de autoria

basicamente são os carregados no arquivo JSON contendo as informações sobre todos os equipamentos presentes na subestação especificada, conforme apresentado no código-fonte a seguir.

Código-fonte 1. Código com informações de equipamentos no formato JSON

```

1 {"Equipamentos":{
2   "SUT:34S2-5:89": {"ENABL:P":"Aberto","SYNCH:P":"Aberto","TRIP:P":"Fechado","STATE:P":"Fechado"},
3   "SUT:34Z6-1:89": {"ENABL:P":"Aberto","TRIP:P":"Fechado","SYNCH:P":"Aberto","STATE:P":"Aberto"},
4   "SUT:12M2:52": {"ENABL:P":"Aberto","SYNCH:P":"Aberto","TRIP:P":"Aberto","STATE:P":"Fechado"},
5   "SUT:32T2-6:89": {"ENABL:P":"Aberto","SYNCH:P":"Aberto","TRIP:P":"Fechado","STATE:P":"Aberto"},
6   "SUT:32M3-6:89": {"ENABL:P":"Aberto","SYNCH:P":"Aberto","TRIP:P":"Fechado","STATE:P":"Aberto"},
7   "SUT:12M1:52": {"ENABL:P":"Aberto","TRIP:P":"Aberto","SYNCH:P":"Aberto","STATE:P":"Aberto"}
}}
```

A visualização do cenário dentro do ambiente construído pode ser visualizado na Figura 5. Essa visualização no formato estéreo permite a utilização de óculos de realidade virtual e, com isso, maior grau de imersão dos usuários no sistema de visualização.

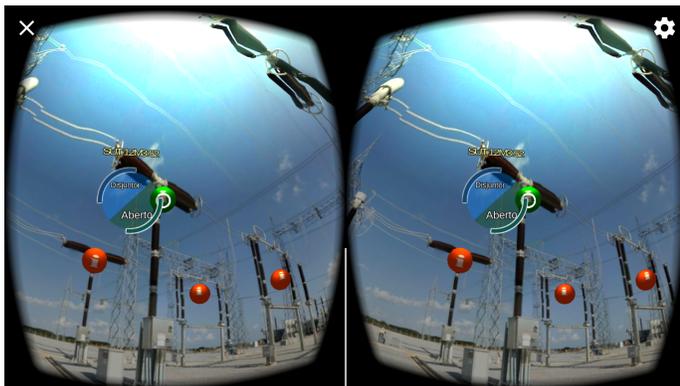


Figura 5. Visualização do panorama aumentado com as marcações realizadas nos equipamentos.

Após a construção da aplicação através da ferramenta de autoria, aplicou-se o questionário de avaliação de usabilidade de sistemas (*Post-Study System Usability Questionnaire - PSSUQ*), para fins de validação da visualização criada através da ferramenta. De acordo com [30], o PSSUQ foi desenvolvido originalmente na IBM para avaliação da reação dos usuários ao sistema utilizado.

O questionário é composto por 15 questões, sendo que cada questão possui as opções de 1 (concordo totalmente) a 7 (discordo totalmente). As questões do questionário PSSUQ são:

- 1) Em geral, estou satisfeito com a facilidade de uso deste sistema
- 2) Foi simples utilizar este sistema

- 3) Consegui completar as tarefas e cenários rapidamente
- 4) Eu me senti confortável ao utilizar este sistema
- 5) Foi fácil aprender a usar este sistema
- 6) Eu poderia ser mais produtivo usando um sistema deste tipo
- 7) O sistema apresenta ajuda clara para resolver os problemas
- 8) Quando errei no uso do sistema, pude recuperar a situação rapidamente
- 9) A informação e mensagens fornecidas no sistema estavam claras
- 10) Foi fácil encontrar a informação que eu precisava
- 11) A informação foi eficaz para auxiliar a execução das tarefas e cenários
- 12) A organização de informações na tela do sistema estavam claras
- 13) A interface do sistema é agradável
- 14) Eu gostei de usar a interface do sistema
- 15) Este sistema possui as funcionalidades que eu esperava encontrar

O questionário PSSUQ foi aplicado a 6 operadores da CHESF e cada operador utilizou o sistema de visualização de equipamentos, fazendo a avaliação PSSUQ em seguida. Na visualização, cada operador tinha o cenário de operação com informações de disjuntores e chaves.

O resultado da aplicação do questionário pode ser visualizado de forma concisa no gráfico apresentado na Figura 6.

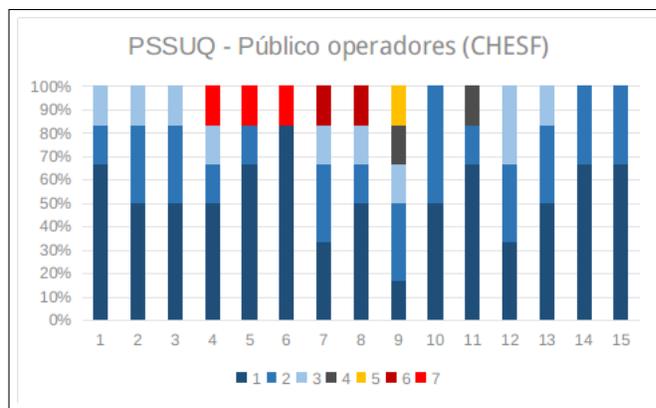


Figura 6. Resultado da aplicação do questionário PSSUQ aplicado a operadores da CHESF

Dessa forma, é possível afirmar que a maioria dos operadores aceitou bem o uso desse tipo de ferramenta de visualização. Além disso, um ponto que vale ser ressaltado é a respeito da questão 6 do PSSUQ. A maioria dos operadores afirmou que esse tipo de ferramenta poderia aumentar sua produtividade, já que os dados observados estão claramente disponíveis na visualização e associados ao equipamento.

Com essa abordagem é possível construir sistemas de realidade virtual baseado em panoramas aumentados, incluindo informações sobre equipamentos (dados reais ou simulados) que possam auxiliar os operadores na visualização de dados dos equipamentos.

É possível ainda, nos casos de aplicação em cenários de realidade virtual, utilizar essa comunicação para criação de ambientes de treinamento com situações específicas e maior grau de imersividade dos usuários com o ambiente de aprendizagem.

VI. CONCLUSÃO

Este trabalho propôs uma ferramenta de autoria para a construção de ambientes de realidade virtual utilizando panoramas esféricos aumentados. O *software* desenvolvido visou facilitar a construção de ambientes imersivos, de tal maneira que um usuário final seja capaz de facilmente gerar panoramas aumentados para sistemas de realidade virtual.

A utilização desta ferramenta de autoria permitiu a construção de um cenário imersivo baseado em uma subestação de energia real. O ambiente foi feito com um panorama esférico construído a partir de imagens adquiridas dessa mesma subestação. Com o cenário construído, foi possível adicionar anotações nos equipamentos presentes no ambiente contendo informações sobre os mesmos.

Com esta ferramenta, o desenvolvimento de aplicações de realidade virtual é consideravelmente mais ágil, e menos custoso, comparado com sistemas que utilizam modelos de 3D, sejam eles apenas de equipamentos, ou de um cenário completo. Apesar da ferramenta de autoria ter sido testada em um contexto de subestações de energia, ela pode ser utilizada para vários tipos de aplicações que necessitam de ambientes de realidade virtual.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco pela colaboração na fase de aquisição de imagens, bem como as críticas profissionais para a elaboração desta ferramenta.

REFERÊNCIAS

- [1] X. Wang, M. J. Kim, P. E. Love, and S.-C. Kang, "Augmented reality in built environment: Classification and implications for future research," *Automation in Construction*, vol. 32, pp. 1 – 13, 2013. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580512002166>
- [2] J. Wither, S. DiVerdi, and T. Höllerer, "Annotation in outdoor augmented reality," *Computers & Graphics*, vol. 33, no. 6, pp. 679–689, 2009.
- [3] M. Mairi, M. Preda, and V. H. Le, "Markerless tracking for mobile augmented reality," in *2011 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA)*, Nov 2011, pp. 301–306.
- [4] R. T. Azuma, "A survey of augmented reality," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, no. 4, pp. 355–385, 1997. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- [5] R. Schoenfelder and D. Schmalstieg, "Augmented reality for industrial building acceptance," in *2008 IEEE Virtual Reality Conference*, March 2008, pp. 83–90.
- [6] S. Côté, J. Barnard, R. Snyder, and R. Gervais, "Offline spatial panoramic video augmentation for visual communication in the aec industry," in *Proceedings of the 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, London*, 2013.
- [7] M. Gheisari, M. F. Sabzevar, P. Chen, and J. Irizzary, "Integrating bim and panorama to create a semi-augmented-reality experience of a construction site," *International Journal of Construction Education and Research*, vol. 12, no. 4, pp. 303–316, 2016. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1080/15578771.2016.1240117>

- [8] M. Guarnaccia, O. Gambino, R. Pirrone, and E. Ardizzone, "An explorable immersive panorama," in *2012 Sixth International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems*, July 2012, pp. 130–134.
- [9] L.-h. Wu, J.-P. Feng, and S.-q. He, *Construction and Implementation of the Three-Dimensional Virtual Panoramic Roaming System of Hainan Ecotourism*. Cham: Springer International Publishing, 2014, pp. 339–351. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-319-03449-2_31
- [10] J. Gimeno, P. Morillo, J. Orduña, and M. Fernández, "A new ar authoring tool using depth maps for industrial procedures," *Computers in Industry*, vol. 64, no. 9, pp. 1263 – 1271, 2013, special Issue: 3D Imaging in Industry. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361513001267>
- [11] J. Gimeno, P. Morillo, J. M. Orduña, and M. Fernández, *An Easy-to-Use AR Authoring Tool for Industrial Applications*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 17–32. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-642-38241-3_2
- [12] J. Robertson and J. Good, "Adventure author: an authoring tool for 3d virtual reality story construction," in *Proceedings of the AIED-05 Workshop on Narrative Learning Environments*, 2005, pp. 63–69.
- [13] R. Holm, E. Stauder, R. Wagner, M. Priglinger, and J. Volkert, "A combined immersive and desktop authoring tool for virtual environments," in *Proceedings IEEE Virtual Reality 2002*, 2002, pp. 93–100.
- [14] C. B. Vieira, V. Seshadri, R. A. R. Oliveira, P. Reinhardt, P. M. P. Calazans, and J. B. V. Filho, "Applying virtual reality model to green ironmaking industry and education: 'a case study of charcoal mini-blast furnace plant'," *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, vol. 126, no. 1-2, pp. 116–123, 2017. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1080/03719553.2016.1278516>
- [15] E. van Wyk and M. R. R. de Villiers, "Applying design-based research for developing virtual reality training in the south african mining industry," in *Proceedings of the Southern African Institute for Computer Scientist and Information Technologists Annual Conference 2014 on SAICSIT 2014 Empowered by Technology*, ser. SAICSIT '14. New York, NY, USA: ACM, 2014, pp. 70:70–70:81. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/2664591.2664627>
- [16] P. N. A. Barata, M. R. Filho, and M. V. A. Nunes, "Consolidating learning in power systems: Virtual reality applied to the study of the operation of electric power transformers," *IEEE Transactions on Education*, vol. 58, no. 4, pp. 255–261, Nov 2015.
- [17] S. Peleg and M. Ben-Ezra, "Stereo panorama with a single camera," in *Proceedings. 1999 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Cat. No PR00149)*, vol. 1, 1999, p. 401 Vol. 1.
- [18] L. E. Gurrieri and E. Dubois, "Acquisition of omnidirectional stereoscopic images and videos of dynamic scenes: a review," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 22, no. 3, pp. 030 902–030 902, 2013.
- [19] R. Szeliski and H.-Y. Shum, "Creating full view panoramic image mosaics and environment maps," in *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1997, pp. 251–258.
- [20] W.-K. Tang, T.-T. Wong, and P. A. Heng, "A system for real-time panorama generation and display in tele-immersive applications," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 7, no. 2, pp. 280–292, April 2005.
- [21] C. Weissig, O. Schreer, P. Eisert, and P. Kauff, "The ultimate immersive experience: panoramic 3d video acquisition," in *International Conference on Multimedia Modeling*. Springer, 2012, pp. 671–681.
- [22] P. Bourke, "Stereographics, 3d projection," 2017. [Online]. Available: <http://paulbourke.net/stereographics/>
- [23] Oculus, "Oculus rift," 2016, [Online]. Available: <https://www.oculus.com/rift/>.
- [24] Samsung, "Gear vr," 2016, [Online]. Available: <http://www.samsung.com/global/galaxy/gear-vr/>.
- [25] HTC, "Htc re vive," 2016, [Online]. Available: <http://www.htcvr.com/>.
- [26] Microsoft, "Microsoft hololens," 2016, [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us>.
- [27] Sony, "Playstation vr headset," Playstation VR, 2016, [Online]. Available: <https://www.playstation.com>.
- [28] Google, "Google cardboard," 2016, [Online]. Available: <https://www.google.com/get/cardboard/>.
- [29] T. R. Ribeiro, P. R. J. dos Reis, G. Braz Jr, A. C. de Paiva, A. C. Silva, I. M. O. Maia, and A. S. Araújo, *AGITO: Virtual Reality Environment for Power Systems Substations Operators Training*.

Cham: Springer International Publishing, 2014, pp. 113–123. [Online].
Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-13969-2_9

- [30] J. Sauro and J. R. Lewis, *Quantifying the user experience: Practical statistics for user research*. Elsevier, 2012, pp. 192–198.