

A Influência da Posição e Resolução de Respostas de Impulso em áudio Espacial para Realidade Virtual: Uma Experiência Paleontológica Imersiva

Gustavo Corrêa de Almeida^{1 2}, Vinicius Costa de Souza², Rodrigo Scalise Horodyski³

¹VizLab - Center of Excellence in Geoinformatics and Visual Computing
University of Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) – São Leopoldo – RS – Brazil

²Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada
University of Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) – São Leopoldo – RS – Brazil

³Programa de Pós-Graduação em Geologia
University of Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) – São Leopoldo – RS – Brazil

contato@pavaonegro.com, viniciuscs@unisinis.br, rhorodyski@unisinis.br

Abstract. *Virtual Reality (VR) often prioritizes visual cues, but audio, particularly realistic spatial audio, is crucial for immersion and user experience. Impulse Responses (IRs) are used to recreate the acoustic properties of environments, yet the effects of their correct implementation in VR are underexplored. This study investigates how the geographic positioning and quantity of real-world IRs affect user experience in a paleontological immersive application in VR. A fossil site in Faxinal do Soturno, Brazil, and the fossils found on it were reconstructed for this VR application. Two conditions were tested with 31 participants taking part in the user study, which included several subjective and physiological evaluations. Results indicate improved realism and user experience with the new technique proposed and an overall excellent evaluation of the VR application. Through the analysis of the movement and positions of the display during tests, it was possible to prove that the users were less dispersed in the proposed condition, effectively demonstrating the innovation suggested by the work. Beyond this, the work also brings to the field of paleontology a VR realistic and immersive application to date, of an important Brazilian fossil site.*

Resumo. *A Realidade Virtual (RV) frequentemente prioriza os estímulos visuais, mas o áudio, especialmente o áudio espacial realista, é crucial para a imersão e a experiência do usuário. Respostas de Impulso (RIs) são utilizadas para recriar as propriedades acústicas dos ambientes, mas os efeitos de sua implementação correta em RV ainda são pouco explorados. Este estudo investiga como o posicionamento geográfico e a quantidade de RIs reais afetam a experiência de usuário em uma aplicação paleontológica imersiva em RV. Um sítio fóssilífero em Faxinal do Soturno, Brasil, e os fósseis encontrados nele foram reconstruídos para essa aplicação em RV. Duas condições foram testadas com a participação de 31 voluntários, sendo coletadas diversas métricas subjetivas e fisiológicas. Os resultados apontaram um aumento no realismo e na experiência de usuário com a nova técnica proposta, além de uma avaliação geral excelente da aplicação em RV. Através da análise das posições e movimentações*

do display durante os testes, pode-se comprovar que os usuários se mostraram menos dispersos na condição proposta, demonstrando efetivamente a inovação sugerida pelo trabalho. Além da implementação desta nova técnica sonora, o trabalho contribui para o campo da paleontologia com uma aplicação realista e imersiva em RV, de um importante sítio fossilífero brasileiro.

1. Introdução

O áudio espacial contribui diretamente para uma melhor imersão, sensação de presença e performance de usuário em Realidade Virtual (RV) [Poeschl et al. 2013], onde os usuários tendem a se integrar mais rapidamente em ambientes virtuais com áudio espacial do que sem ele, bem como se movem e o exploram mais [Hirway et al. 2020]. Ele também pode ser usado em realidade virtual para guiar o comportamento de visualização do usuário e melhorar o seu engajamento [Chao et al. 2020].

Apesar dos avanços nesta área, a reprodução de som espacial realista permanece não resolvida, necessitando de um alto potencial computacional. Os Ambientes Virtuais Sonoros (AVS) são estudados e discutidos desde os anos 2000 [Krebber et al. 2000], e a sua implementação espacialmente acurada requer um bom entendimento das propriedades do som e de como o sistema auditório humano percebe e interpreta ondas mecânicas. A reverberação é um importante fator em um AVS realista. Ela define as características acústicas de um local e é calculada a partir da captura de uma Resposta de Impulso (RI) de um sinal omnidirecional [Jambrosic et al. 2008]. Utilizando esta RI para fazer a convolução de um sinal puro, podemos aplicar os mesmos atributos de reverberação do local onde a RI foi obtida, conseguindo assim simular realisticamente um espaço real em um ambiente virtual.

Uma das lacunas encontradas na literatura, explorada neste trabalho, é a falta de análise da influência de respostas de impulso binaurais em realidade virtual considerando sua posição geográfica precisa e o número de RIs necessárias para criar um modelo auditório acurado in RV, particularmente em espaços abertos, como é o caso das aplicações de RV nas Geociências. Neste contexto, o foco deste trabalho foi explorar a influência das respostas de impulso georreferenciadas em espaços abertos na experiência de usuário de uma aplicação paleontológica em realidade virtual, com o objetivo de propor uma técnica mais apropriada para implementação de som em RV, possibilitando a criação de ambientes virtuais mais realistas e computacionalmente acessíveis.

2. Metodologia

Baseada na revisão de literatura e nos trabalhos relacionados, a seguinte questão de pesquisa foi definida para este trabalho: A implementação de respostas de impulso omnidirecionais precisamente posicionadas geograficamente melhora a espacialização e experiência de usuário em realidade virtual?

Este trabalho foi conduzido em quatro etapas metodológicas principais. O primeiro estágio tinha o objetivo principal de entender o problema e descobrir o que já havia sido explorado para solucioná-lo. No segundo estágio, dados de imagem e som foram capturados no sítio fossilífero Linha São Luiz, no Rio Grande do Sul. No terceiro estágio, um ambiente virtual foi desenvolvido, com o objetivo de ser usado nos experimentos desse trabalho e, posteriormente, ser disponibilizado no museu de geologia da universidade. O



Figura 1. Fóssil, no topo, e afloramento, abaixo, reconstruídos em 3D.

quarto estágio teve como objetivo avaliar este ambiente virtual e as diferentes técnicas de implementação de som através de experimentos controlados. Finalmente, os resultados dos testes foram estatisticamente avaliados e discutidos, comparando-os com resultados previamente publicados na literatura.

3. Ambiente Virtual

O ambiente virtual foi desenvolvido na Unreal Engine e o afloramento do sítio fossilífero Linha São Luiz no Rio Grande do Sul foi reconstruído em 3D usando técnicas de fotogrametria com imagens capturadas por drones (Figura 1. Para garantir precisão, as imagens foram georreferenciadas com sistemas de navegação por satélite (GNSS) e pontos de controle em tempo real (RTK). O modelo inicial, com 13 milhões de polígonos, foi simplificado para 1 milhão para ser utilizado em realidade virtual, usando a técnica de decimação e mapas de normais para manter a alta resolução visual. O estudo aplicou as mesmas técnicas de reconstrução para digitalizar diversos fósseis de coleções de universidades locais. Usando um gravador portátil Zoom H3-VR com microfone ambisônico de 360°, foram capturadas 31 respostas de impulso no local de estudo.

Além do uso desse ambiente virtual para a realização dos testes com a nova técnica de implementação de som, o ambiente virtual será utilizado como uma aplicação educacional e interativa de paleontologia, no Museu de História Geológica do Rio Grande do Sul

(MHGEO), onde o usuário poderá explorar um sítio fossilífero real, com som espacial realista, e escavar virtualmente para encontrar os gêmeos digitais dos fósseis originalmente encontrados na localidade, além de aprender sobre eles com infográficos baseados na literatura científica (Figura 2).



Figura 2. Imagens da aplicação em execução.

4. Resultados

Oito métricas de avaliação foram utilizadas no experimento: SUS (System Usability Scale) [Brooke 1996], um questionário para avaliação da usabilidade; PQ (Presence Questionnaire) [Witmer and Singer 1998], um questionário para avaliar o senso de presença do usuário em ambientes virtuais; Frequência Cardíaca, obtida através de eletrodos colocados sob a superfície da pele, que tem sido a métrica fisiológica mais utilizada em avaliações de ambientes virtuais [Souza et al. 2021]; Condutividade da pele, que está associada à mudanças emocionais e também tem sido utilizada como medida objetiva em RV [Souza et al. 2021]; Tempo de conclusão de tarefa, obtido através do tempo necessário para encontrar cada um dos fósseis no ambiente virtual com a ajuda da dica sonora; Atenção de usuário, obtida a partir do registro da movimentação do óculos de realidade virtual; Teleporte, medido através do registro da quantidade de teleportes que o usuário realizou para se deslocar e Distância percorrida, medida através do registro da distância, em metros, percorrida pelo usuário no ambiente virtual.

Quanto ao resultado do SUS, foi obtida média 87.4, sendo que sistemas com pontuação acima de 80 são considerados de excelente usabilidade, ou seja, muito fácil de usar, com alta probabilidade de recomendação pelos usuários. Da mesma forma, a pontuação média obtida questionário de presença foi bastante alta, 91 pontos. Isto demonstra que as técnicas escolhidas para a representação virtual do afloramento, bem como da interação proposta no ambiente virtual são eficientes. Esses resultados reforçam que a reconstrução 3D realista do afloramento e de seus fósseis, associados com a reprodução de som espacial cuidadosamente implementado, foram extremamente eficazes.

Outro resultado bastante positivo está relacionado a atenção do usuário, sendo que foi possível comprovar estatisticamente diferença positiva entre a condição proposta e a condição de controle, evidenciada pelos valores menores de *Yaw* e *Roll*, referentes aos movimentos da cabeça do usuário, registrados a partir do posicionamento do óculos de RV (Figura 3).

Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas nas outras métricas, o que pode indicar que não sejam necessárias dezenas de respostas de impulso

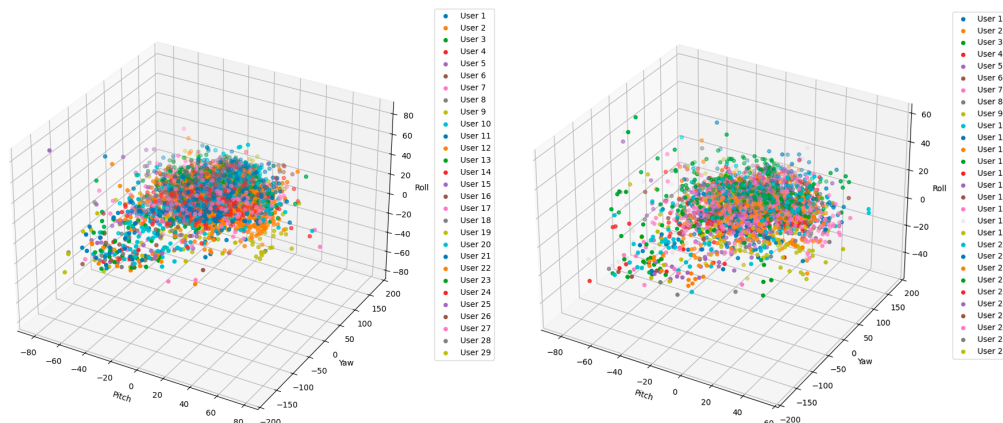


Figura 3. Posicionamento do óculos de RV na condição proposta (esquerda) e na condição de controle (direita).

do mesmo espaço, mas que a sua acurada localização geoespacial possa ser mais importante na recriação de um ambiente virtual sonoro. A sugestão para futuros desenvolvedores é de capturar um pequeno número de respostas de impulso e despendar tempo suficiente para posicioná-las corretamente no espaço virtual, a fim de atingir o som mais acurado possível com a menor carga computacional.

4.1. Conclusão

Esta pesquisa propôs uma nova técnica para o uso acurado de respostas de impulso omnidirecionais em realidade virtual e uma inovadora aplicação no campo de paleontologia computacional. O objetivo principal foi testar a hipótese de que a técnica proposta seria uma opção para melhorar a qualidade da experiência de usuário em ambientes virtuais imersivos.

Através de uma cuidadosa revisão sistemática da literatura nos tópicos envolvidos, da implementação do ambiente virtual e dos testes realizados, esse estudo confirmou que houve benefício na experiência do usuário com a técnica de implementação de respostas de impulso georreferenciadas, sendo de extrema importância levar esses aspectos em consideração no desenvolvimento de ambientes virtuais realistas.

Outra importante contribuição à ciência foi a criação de um dataset de respostas de impulso de local aberto em 360°, de alta qualidade, bem como o modelo fotogramétrico do espaço real. Dados que podem ser utilizados para pesquisas futuras, tanto no campo de áudio espacial para realidade virtual como em pesquisas em acústica, geologia e paleontologia.

Referências

- Brooke, J. (1996). *SUS – a quick and dirty usability scale*, pages 189–194. Taylor Francis.
- Chao, F.-Y., Ozcinar, C., Wang, C., Zerman, E., Zhang, L., Hamidouche, W., Deforges, O., and Smolic, A. (2020). Audio-visual perception of omnidirectional video for virtual reality applications. In *International Conference on Multimedia and Expo Workshops*, pages 1–6. IEEE.
- Hirway, A., Qiao, Y., and Murray, N. (2020). A qoe and visual attention evaluation on the influence of spatial audio in 360 videos. In *2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, pages 345–350.
- Jambrosic, K., Horvat, M., and Domitrovic, H. (2008). Reverberation time measuring methods. *Journal of the Acoustical Society of America*, 123(5):3617–3617.
- Krebber, W., Gierlich, H.-W., and Genuit, K. (2000). Auditory virtual environments: basics and applications for interactive simulations. *Signal Processing*, 80(11):2307–2322. Special section on DSP in Audio-visual communications.
- Poeschl, S., Wall, K., and Doering, N. (2013). Integration of spatial sound in immersive virtual environments an experimental study on effects of spatial sound on presence. In *2013 IEEE Virtual Reality (VR)*, pages 129–130.
- Souza, V., Maciel, A., Nedel, L., and Kopper, R. (2021). Measuring presence in virtual environments: A survey. *ACM Comput. Surv.*, 54(8).
- Witmer, B. G. and Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence*, 7:225–240.