

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

THÁLLYS LISBOA SIMÕES

**EXPLORANDO O USO DE FOVEATED
RENDERING DINÂMICO BASEADO EM
MOVIMENTOS DO USUÁRIO**

NITERÓI

2023

THÁLLYS LISBOA SIMÕES

**EXPLORANDO O USO DE FOVEATED
RENDERING DINÂMICO BASEADO EM
MOVIMENTOS DO USUÁRIO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Computação. Área de concentração: Ciência da Computação

Orientador:
Esteban Clua

NITERÓI

2023

S593e Simões, Thállys Lisboa
EXPLORANDO O USO DE FOVEATED RENDERING DINÂMICO BASEADO EM
MOVIMENTOS DO USUÁRIO / Thállys Lisboa Simões. - 2023.
67 f.: il.

Orientador: Esteban Walter Gonzalez Clua.
Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,
Instituto de Computação, Niterói, 2023.

1. Realidade Virtual. 2. Foveated Rendering. 3. Produção
intelectual. I. Gonzalez Clua, Esteban Walter, orientadora.
II. Universidade Federal Fluminense. Instituto de
Computação. III. Título.

CDD - XXX

Figura 1: Ficha catalográfica

THÁLLYS LISBOA SIMÕES

EXPLORANDO O USO DE FOVEATED RENDERING DINÂMICO BASEADO EM
MOVIMENTOS DO USUÁRIO

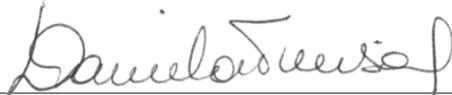
Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Computação. Área de concentração: Ciência da Computação

Aprovada em Agosto de 2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr.º Esteban Clua - Orientador, UFF



Prof. Dr.ª Daniela Trevisan, UFF



Documento assinado digitalmente
FRANCISCO PAULO MAGALHAES SIMOES
Data: 26/09/2023 10:21:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr.º Francisco Simões, UFRPE



Prof. Dr.º Thiago Porcino, PUC-RIO

Niterói

2023

Sempre em busca dos sonhos!

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, família, namorada e todos os que me apoiam! Quero agradecer ao meu orientador Esteban que sempre esteve ao meu lado me ensinando e apoiando em todos os momentos acadêmicos e profissionais, o tenho como uma referência pra minha vida. Agradeço em especial também a professora Daniela Trevisan por cada ensinamento e apoio na minha trajetória, dedico um grande agradecimento ao Thiago Porcino, Horácio Macedo e Éder de Oliveira por contribuírem diretamente com os projetos que realizei e toda a parceria que tivemos, e agradeço a toda equipe do grupo VR. Também gostaria de agradecer a todos os professores e colegas que me inspiraram e me ajudaram a crescer academicamente. Suas aulas, sugestões e comentários foram inestimáveis para o desenvolvimento da minha pesquisa. Por fim, agradeço a todos aqueles que torceram por mim.

Resumo

A Realidade virtual (RV) está se tornando cada vez mais popular em diversas aplicações, mas a tecnologia atual ainda restringe o realismo e complexidade dos gráficos de computador nos head-mounted displays (HMDs). Para melhorar a experiência do usuário nesse contexto, são necessárias técnicas de otimização para aprimorar o desempenho sem comprometer a qualidade. Uma dessas técnicas é o Foveated Rendering (FR), que se baseia no sistema visual humano para otimizar o uso de recursos. A técnica de FR degrada a qualidade da imagem na visão periférica, onde a percepção é menos intensa, para conservar recursos. Esta dissertação de mestrado tem como objetivo investigar se a percepção da área periférica é afetada quando os usuários estão em movimento em um ambiente de Realidade Virtual. Nossas descobertas mostram uma correlação significativa entre a velocidade do movimento e os valores de resolução em ambos os cenários. A menor quantidade de degradação foi observada no estado inativo e a maior no estado de alta velocidade, indicando que os usuários percebem menos degradação em velocidades mais altas. Estes resultados são particularmente relevantes para algoritmos baseados em path-tracing, devido à possibilidade de reduzir o número de raios necessários para a renderização sempre que haja movimento.

Palavras-chave: realidade virtual, foveated rendering, percepção.

Abstract

Virtual reality (VR) is growing in popularity for various applications, but current technology still restricts computer graphics realism and complexity in VR Head Mounted Display (HMDs). To improve the user experience in HMDs, optimization techniques are needed to enhance performance without sacrificing quality. One such technique is Foveated Rendering (FR), which leverages the human visual system to optimize resource usage. FR degrades the image quality in peripheral vision, where perception is weaker, to conserve resources. This paper aims to investigate if the perception of the peripheral area is affected whenever users are in movement in a VR environment. Our findings show a significant correlation between speed movement and resolution values in both scenarios. The least amount of degradation was observed in the idle state and the most in the high-speed state, indicating that users perceive less degradation at higher speeds. These results are particularly relevant for path-tracing-based algorithms, due to the possibility of reducing the number of rays required for the rendering whenever there is movement.

Keywords: virtual reality, foveated rendering, perception-based rendering.

Lista de Figuras

1	Ficha catalográfica	
2	Distribuição de cones e bastonetes na visão humana considerando o ângulo da retina, demonstrando a maior concentração de cones no centro da retina, diminuindo à medida que se afasta (LIN et al., 2012).	18
3	Exemplo da distribuição das regiões na tela com a técnica de Foveated Rendering, mostrando a região periférica, região mediana/central e a fóvea, que possui a melhor qualidade de resolução (DAVIES, 2020).	19
4	Renderização de três camadas de excentricidade (borda vermelha = camada interna, verde = camada do meio, azul = camada externa) ao redor do ponto de fixação rastreado (ponto)(GUENTER et al., 2012).	22
5	Esquerda: O método de resolução foveada no UE4 e no demo Elemental da Epic Games, Inc. Direita: Os métodos de resolução foveada, oclusão ambiental, triangulação e lançamento de raios (respectivamente). As áreas fora dos círculos são renderizadas com menos detalhes (periféricas)(SWAFFORD et al., 2016).	23
6	Os três métodos de renderização utilizados no trabalho. (a) Foveado (real): o usuário está olhando para o alvo visual à direita (em foco), e o restante da imagem está borrado. (b) Sem efeitos: tudo está em foco. (c) Bordo marginal (foveado simulado): o olhar é assumido como no centro da imagem, e os pixels distantes dele, incluindo o alvo visual, estão borrados(PATNEY et al., 2016).	24
7	O pipeline do Rectangular Mapping-Based Foveated Rendering (RMFR) (YE et al., 2022).	28

- 8 Comparação dos parâmetros RMFR em nossa implementação. A imagem da esquerda não apresenta degradação perceptível. A imagem do meio tem $\sigma = 10$ e distribuição uniforme de pixels. A imagem da direita tem $\sigma = 10$ e uma forte concentração de pixels na fóvea ($f_x = 0,05$, $f_y = 0,05$), resultando em artefatos de compressão em áreas periféricas. A cena foi criada com o propósito de testar a implementação.(Autor) 30
- 9 Cenas de teste utilizadas no experimento representando duas configurações distintas. A imagem da esquerda em cada par representa a implementação dos parâmetros médios de RMFR na ausência de movimento do usuário. Por outro lado, a imagem da direita em cada par, ilustra a aplicação dos parâmetros de RMFR sob a maior velocidade experimentada pelos usuários durante o experimento. (Autor) 33
- 10 Cena externa usada em nosso experimento. A imagem (1) mostra Marte em resolução total. (2), (3) e (4) mostram Marte sob diferentes parâmetros RMFR; respectivamente, (2) mostra $\sigma = 5$, $f_x = f_y = 1$, (3) mostra $\sigma = 1$, $f_x = f_y = 0.005$ e (4) mostra $\sigma = 5$, $f_x = f_y = 0.005$ (Autor). 34
- 11 Cena interna usada em nosso experimento. A imagem (1) mostra o túnel em resolução total. (2), (3) e (4) mostram o túnel sob diferentes parâmetros RMFR; respectivamente, (2) mostra $\sigma = 5$, $f_x = f_y = 1$, (3) mostra $\sigma = 1$, $f_x = f_y = 0,005$ e (4) mostra $\sigma = 5$, $f_x = f_y = 0,005$ (Autor). 35
- 12 Amostra dos dados do usuário capturados do motor Unity com base nas interações do usuário (Autor). 36
- 13 Ambiente preparado para os testes com os usuários (Autor). 38
- 14 Usuário realizando testes com o HMD na cena do Túnel (Autor). 39
- 15 Exemplo de dados da cena de Marte exibidos no dashboard desenvolvido no Power BI, para auxiliar na tomada de decisão e análise das informações. 40
- 16 Exemplo de dados da cena do Tunel exibidos no dashboard desenvolvido no Power BI, para auxiliar na tomada de decisão e análise das informações. 41

17	Respostas aos valores de σ para cada nível das variáveis independentes na cena de Marte. Os círculos no gráfico representam os valores médios de sigma para cada uma das velocidades. Os valores médios são representados por círculos no gráfico, respectivamente: 0 km/h - 1,83; 50 km/h - 1,76; 100 km/h - 1,86; 150 km/h - 1,91; e 200 km/h - 1,99. As seqüências de asteriscos correspondem a diferentes valores de p; *** significa $p < 0,0001$, ** significa $p < 0,001$ e * significa $p < 0,05$	46
18	Participantes sem experiência em VR apresentaram valores mais baixos de σ em comparação com os participantes experientes.	47
19	Foi observada uma interação significativa entre $iGender \times iSpeed$ ($F_{4,192} = 4,26793, p < 0,01$). Testes post-hoc revelaram diferenças significativas de velocidade entre os gêneros, incluindo velocidades que variaram de 0 km/h a 20 km/h e de 0 km/h a 40 km/h. A Figura 20 mostra que para velocidades mais altas, homens e mulheres apresentaram percepções semelhantes dos valores de σ	48
20	Os participantes do sexo masculino e feminino apresentaram percepções semelhantes dos valores de σ para velocidades mais altas.	50
21	Parte 1 - Código R foi desenvolvido especificamente para realizar cálculos estatísticos na cena de Marte e replicados para a cena do Túnel	60
22	Parte 2 - Código R foi desenvolvido especificamente para realizar cálculos estatísticos em ambas as cenas	61
23	Parte 3 - Código R foi desenvolvido especificamente para realizar cálculos estatísticos na de Marte e replicados para o Túnel	62
24	Roteiro utilizado nos Testes	63
25	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	64

Lista de Tabelas

1	Velocidades expressas em Km/h para cada cena.	33
2	Testes de Normalidade Marte	42
3	Testes de Normalidade Tunel	43
4	Valores das variáveis independentes	44
5	Estatística Descritiva Marte	45
6	Estatística Descritiva Túnel	49

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Motivação	13
1.2	Proposta de Pesquisa	14
1.3	Hipótese	14
1.4	Objetivo do Estudo	14
1.5	Contribuições do Trabalho	15
1.6	Estrutura dos Tópicos	15
2	Conceitos	17
2.1	Foveated Rendering	17
2.1.1	Resolução adaptativa	20
2.1.2	Simplificação geométrica	20
2.1.3	Simplificação de sombreamento e degradação cromática	21
2.1.4	Degradação espaço-temporal	21
3	Trabalhos Relacionados	22
4	Variação de valores de Foveated Rendering baseado em velocidade	27
5	Design do Experimento	31
5.1	Definição dos Parâmetros	31
5.2	Ambiente de Testes	33
5.3	Dispositivo HMD utilizado	36

5.4	Experimento com o Usuário	37
6	Resultados e Discussão	40
6.1	Análise Estatística	41
6.2	Análise Estatística na Cena de Marte	44
6.3	Análise Estatística na Cena do Túnel	48
7	Conclusão	52
7.1	Trabalhos Futuros	53
	REFERÊNCIAS	55
	Apêndice A - Implementação R	60
	Apêndice B - Roteiro de Uso	63
	Apêndice C - TCLE	64

1 Introdução

A Realidade Virtual (RV) se tornou um dos maiores avanços tecnológicos dos últimos anos, impactando não apenas a indústria do entretenimento, mas também diversas áreas profissionais, como militar, medicina, petróleo e gás (PORCINO et al., 2020). A RV é definida como uma tecnologia que replica um ambiente real ou imaginário e simula a presença física do usuário, permitindo que ele interaja com o ambiente sintético. O realismo e a imersão estão sendo drasticamente aprimorados com os avanços em abordagens de renderização, como o uso de métodos de path-tracing em tempo real. Uma das principais técnicas, que vem sendo estudada e utilizada atualmente para gerar imagens com estes efeitos de iluminação é o algoritmo de path tracing (KELLER et al., 2015).

O Head-mounted display (HMD) é um dos principais dispositivos usados em aplicações de RV. Ele proporciona um ambiente tridimensional ao usuário por meio de contato visual mais próximo, simulando sua presença física (CHENG et al., 2021). Diferentes modelos de HMDs, como o Meta Quest, Oculus Rift e HTC Vive, estão disponíveis no mercado.

Para aprimorar a experiência de RV e otimizar o uso de recursos, a pesquisa tem se concentrado no desenvolvimento de diversas metodologias e técnicas, como o Foveated Rendering (FR). O FR reduz a qualidade da imagem renderizada nas regiões periféricas do olho, explorando as diferenças entre as regiões foveal e periférica no sistema visual humano (PATNEY et al., 2016). Essa redução na carga computacional melhora a qualidade geral das imagens geradas sem comprometer a experiência do usuário (WANG; SHI; LIU, 2022a). Além disso designers e pesquisadores avaliam a qualidade de renderização gerada por técnicas de FR conduzindo experimentos com usuários para coletar dados de percepção do usuário (WANG; SHI; LIU, 2022a).

Vários estudos exploraram o uso de técnicas de FR em RV, focando principalmente em minimizar a percepção de artefatos visuais pelos usuários, fornecendo a melhor qualidade de imagem com latências menores (SWAFFORD et al., 2016; HSU et al., 2017; KOSKELA et al., 2019; MENG; DU; VARSHNEY, 2020). De acordo com uma comunicação recente

da Meta ([OCULUS, 2019](#)), o uso de otimizações de foveação é obrigatório para futuros sistemas de renderização otimizados.

Esta dissertação tem como foco principal a manipulação técnica de FR, levando em consideração a velocidade de deslocamento do usuário em um ambiente virtual. A hipótese é que podemos usar configurações mais agressivas e rápidas dos parâmetros de FR quando o usuário está em movimento, em comparação com cenários em que o usuário está parado. Acreditamos com base nas referências que isso ocorre devido à falta de capacidade de processar detalhes finos de objetos em movimento ([BROWN, 1972](#); [SUCHOW; ALVAREZ, 2011b,a](#)), e que o olho humano parece ser menos capaz de notar mudanças em objetos em movimento na periferia da visão ([CHOI; CORMACK; BOVIK, 2015](#)). Acreditamos que nossa contribuição pode trazer novas técnicas de otimização para estratégias de foveated rendering em ambientes de RV, especialmente em cenários que demanda um alto poder de processamento gráfico, como path-tracing e ray-tracing.

1.1 Motivação

Diante dos estudos de percepção do usuário com relação a técnica de FR, são necessárias investigações de quais parâmetros podem comprometer a experiência e trazer alterações de como a técnica é usada e vista. Na literatura, é possível encontrar diferentes estudos para o FR, por exemplo, no trabalho de ([PATNEY et al., 2016](#)), foi projetado um sistema de renderização para reconhecimento de múltiplas resoluções. O trabalho de ([CAPUTO et al., 2021](#)) apresenta um estudo dos efeitos do borrão foveal utilizando técnicas para reduzir o fluxo óptico percebido na região periférica. Uma das mais recentes evoluções no FR é o Foveated Rendering Baseado em Mapeamento Retangular (RMFR), inicialmente proposto por ([YE et al., 2022](#)), suporta vários níveis de foveação de acordo com a excentricidade e a complexidade da cena.

Esses estudos fundamentam nosso trabalho, que se concentra nos aspectos sistêmicos da FR, além de diversos trabalhos que utilizam técnicas do nosso interesse e que se assemelham no uso de parâmetros que tem relação com a percepção, tais como: brilho, contraste, excentricidade, experiência de usuário, velocidade, para citar algumas das mais proeminentes variáveis.

Definimos como uma possibilidade de estudo o efeito da velocidade com relação a percepção de FR em busca de entender se o estudo desse parâmetro tem efeitos significativos e influenciam no modo em que o usuário percebe a degradação da técnica na região

periférica.

1.2 Proposta de Pesquisa

Nos testes do RMFR original, o movimento do usuário não foi testado. Por isso, assumimos que o movimento no espaço virtual nos permitiria modificar seus parâmetros com o usuário usando um HMD sem comprometer a imersão. É sabido que a visão periférica humana tem maior acuidade em velocidades mais lentas em comparação com velocidades mais altas (BROWN, 1972).

Com base nessa característica, acreditamos que também podemos aumentar a intensidade do RMFR quando o usuário está se movendo em alta velocidade no ambiente virtual. Isso permitirá usar técnicas de otimização da computação sem comprometer a percepção do usuário.

1.3 Hipótese

O experimento original do RMFR mostra que a qualidade da resolução que denominamos de $\sigma = 2.6$ é o valor mais alto que mantém a pontuação acima de um limite de qualidade (YE et al., 2022) para cenas estáticas.

Com base no estudo sobre o RMFR e trabalhos relacionados, queremos verificar se podemos aumentar a intensidade dos efeitos de FR ao se mover em velocidades mais altas em dois tipos de ambientes virtuais (internos e externos), sem comprometer a percepção do usuário. No entanto, é importante notar que essa hipótese deve ser testada através da criação de cenas em Realidade Virtual com a manipulação de parâmetros do FR e testada por usuários, e posteriormente ser comprovada estatisticamente pela análise dos resultados antes de ser considerada uma explicação válida.

1.4 Objetivo do Estudo

O estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade da técnica do FR em diferentes tipos de ambientes virtuais (internos e externos) em diferentes velocidades de movimento, a fim de verificar se ela pode servir como parâmetro para otimizar a renderização em tempo real e melhorar a experiência do usuário através de maiores intensidades nos valores do cálculo das imagens simplificadas referentes a região periférica. Os resultados obtidos poderão

contribuir para o desenvolvimento de técnicas de renderização mais eficientes e realistas em aplicações de realidade virtual e aumentada.

Com base nos resultados obtidos, será possível determinar a relação entre a velocidade e a percepção, bem como identificar possíveis limitações e oportunidades para a aplicação da técnica de renderização foveada em diferentes contextos. Ademais, os resultados poderão fornecer insights importantes para o desenvolvimento de aplicações de realidade virtual e aumentada que possam ser utilizadas em diversas áreas, como jogos, educação, treinamento e simulação.

1.5 Contribuições do Trabalho

Foram adaptadas duas cenas em realidade virtual: o cenário de Marte (ao ar livre) e o cenário de túnel (em ambiente fechado). Diferentes velocidades foram aplicadas em cada uma das cenas para testar a percepção do FR durante o movimento. Os resultados obtidos forneceram indicadores interessantes e estatisticamente significantes em relação às diferenças na percepção de FR nas extremidades em ambas as cenas, mostrando efetivamente que há uma diferença na percepção entre a menor e a maior velocidade.

Para analisar e auxiliar nos métodos estatísticos e em todo o processo de tratamento dos dados, utilizamos técnicas de data analytics, desenvolvendo um dashboard com os dados coletados das aplicações, que foram implementadas no Unity. Essa ferramenta foi criada como uma forma de facilitar a visualização e a tomada de decisão a partir dos testes realizados.

Através deste dashboard, é possível obter uma visão mais abrangente dos resultados dos testes, permitindo a identificação de padrões e tendências, além de fornecer informações valiosas para o processo de tomada de decisão. Dessa forma, o uso de técnicas de data analytics nos ajudou a obter indícios mais precisos e relevantes a partir dos dados coletados durante os testes.

1.6 Estrutura dos Tópicos

Neste capítulo, abordamos os aspectos que motivaram esse trabalho, mostramos o objetivo final, a hipótese por trás de todo o estudo, além das principais contribuições alcançadas referentes a ampliação dos estudos com técnicas em FR.

Em [Capítulo 2](#), são apresentados os principais conceitos teóricos com o objetivo de aprimorar a compreensão deste trabalho e de seus principais aspectos. Esses conceitos foram investigados durante a realização da pesquisa e aplicados na implementação desta dissertação.

Em [Capítulo 3](#) abordam-se trabalhos relevantes para o desenvolvimento desta pesquisa, principalmente quando se trata de percepção ou manipulação de parâmetros usando a técnica de Foveated Rendering.

Em [Capítulo 4](#) aborda-se a proposta de manipulação do parâmetro da velocidade utilizando como base a técnica de percepção do RMFR. Nessa etapa mostramos como foi a construção e criação de cada um dos parâmetros atrelados ao movimento em cena de realidade virtual.

Em [Capítulo 5](#), são apresentados os detalhes de implementação do pipeline, incluindo todos os outros parâmetros que compõe as cenas e como eles se comportam durante o experimento.

Em [Capítulo 6](#), são apresentados os resultados a partir de uma análise estatística dos dados coletados de cada um dos testes como os usuários, e fazendo uma análise dos principais resultados e contribuições a partir de cada uma das métricas geradas.

Ao chegar à etapa final, a conclusão deste trabalho é apresentada no [Capítulo 7](#). Nessa seção, realizamos uma síntese da contribuição da implementação e dos experimentos para o avanço do campo de pesquisa em questão. Ademais, discutimos possíveis caminhos de ampliação deste trabalho, apresentando sugestões que podem guiar futuras investigações.

2 Conceitos

Esta seção discute mais detalhadamente o Foveated Rendering (FR), explicando os conceitos centrais que são utilizados em nossa abordagem. Utilizamos a taxonomia de (MOHANTO et al., 2022) como uma estrutura para discutir características do FR.

2.1 Foveated Rendering

O FR é uma técnica de otimização conhecida e documentada para renderização de gráficos, que visa economizar recursos computacionais de maneiras que o usuário final não consegue perceber (GUENTER et al., 2012), (LEVOY; WHITAKER, 1990; REDDY, 2001). A técnica se baseia no entendimento bem estabelecido de que o sistema visual humano exibe um processamento de informações não uniforme, influenciado pela excentricidade das regiões da retina envolvidas na percepção de imagens.

A retina contém uma área central chamada fóvea, que possui uma densidade maior de células especializadas de fotorreceptores conhecidas como cones. Esses cones desempenham um papel crucial na captura de imagens com nitidez aprimorada e detalhes intrincados. Conforme nos movemos em direção às regiões externas da retina a partir da fóvea, a distribuição de fotorreceptores muda de cones principalmente para uma proporção maior de bastonetes.

Os bastonetes são menos habilidosos em capturar detalhes finos e são mais sensíveis a níveis baixos de luz (JABBIREDDY et al., 2022). Essa distribuição não uniforme de células de fotorreceptores na retina contribui para a variação na percepção visual e o processamento seletivo de informações com base na excentricidade. Ilustramos essa distribuição na Figura 2.

Assume-se portanto que renderizar imagens em um display imersivo com um nível uniforme de qualidade em toda a tela é ineficiente, já que apenas uma pequena região dentro do campo visual é totalmente percebida, enquanto a maioria da tela não está sujeita

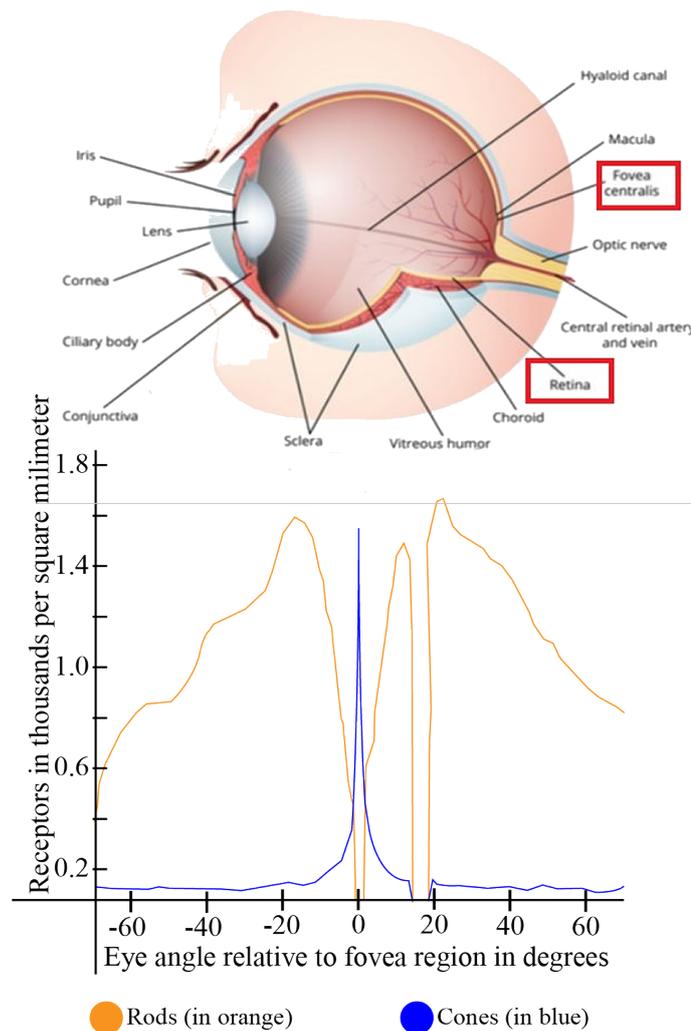


Figura 2: Distribuição de cones e bastonetes na visão humana considerando o ângulo da retina, demonstrando a maior concentração de cones no centro da retina, diminuindo à medida que se afasta (LIN et al., 2012).

a essa atenção detalhada (GUENTER et al., 2012). A fóvea, que corresponde à porção central da retina, abrange apenas 5° do campo visual total, que se estende horizontalmente por uma faixa de 210° (MOHANTO et al., 2022). No contexto de HMDs, que geralmente oferecem campos de visão que variam de 90° para além disso (COMPARE... , s.d.), a região foveal representa apenas um percentual de 5% da área da tela e do número de pixels.

Além das considerações mencionadas, a categorização das técnicas de FR existentes pode ser abordada a partir de várias perspectivas, levando em conta divergências na definição da região foveal, no pipeline de renderização empregado e nas estratégias específicas utilizadas para redução da carga de trabalho dentro do pipeline de renderização.

Vários estudos, como os de (SPJUT; BOUDAUD, 2019; MOHANTO et al., 2022;

WANG; SHI; LIU, 2022b), exploraram essas categorizações. Notavelmente, (MOHANTO et al., 2022) propôs um esquema de classificação que divide as técnicas de FR em quatro grupos distintos:



Figura 3: Exemplo da distribuição das regiões na tela com a técnica de Foveated Rendering, mostrando a região periférica, região mediana/central e a fóvea, que possui a melhor qualidade de resolução (DAVIES, 2020).

- **Resolução adaptativa:** Isso envolve a variação de resoluções para diferentes regiões dentro do espaço da imagem. Alocando resoluções mais altas para a região foveal e resoluções mais baixas para as regiões periféricas, os recursos computacionais podem ser otimizados sem comprometer a qualidade perceptual.
- **Simplificação geométrica:** Essa categoria opera no espaço do modelo, visando simplificar detalhes geométricos complexos presentes nas regiões periféricas. Ao reduzir o nível de complexidade na geometria fora da região foveal, os requisitos computacionais podem ser reduzidos mantendo a fidelidade visual.
- **Simplificação de sombreamento e degradação cromática:** Essa categoria foca em simplificar cálculos de sombreamento nas regiões periféricas sem afetar adversamente a percepção geral da cena. Ao aplicar modelos de sombreamento simplificados ou reduzir a complexidade das informações cromáticas fora da região foveal, os recursos computacionais podem ser preservados sem degradação perceptual.
- **Degradação espaço-temporal:** O FR neste grupo manipula taxas de atualização em regiões menos críticas da tela para obter economia computacional. Ao reduzir

a frequência de atualização em regiões periféricas com menor saliência visual, os recursos computacionais podem ser alocados de maneira eficiente para regiões de maior importância, otimizando o desempenho de renderização.

Além dos principais grupos identificados, cada uma dessas categorias abrange subcategorias que distinguem entre métodos que operam em pipelines de renderização baseados em ray-tracing ou rasterização, bem como métodos que incorporam previsão de rastreamento do olhar ou não incorporam essa previsão (MOHANTO et al., 2022). Essas diferenciações adicionais fornecem um entendimento mais detalhado das técnicas específicas empregadas no FR e de como elas se alinham a diferentes abordagens de renderização e metodologias de rastreamento do olhar.

2.1.1 Resolução adaptativa

Entre os quatro principais grupos de técnicas de FR discutidos anteriormente, as abordagens baseadas em resolução adaptativa são particularmente prevalentes no campo. Essas técnicas têm ampla aplicabilidade, sendo compatíveis com implementações em CPU e GPU, e podem ser integradas em pipelines de renderização baseados em raster, ray ou híbridos.

Um método estabelecido para empregar o FR baseado em resolução adaptativa envolve sub-amostrar regiões específicas da cena e, posteriormente, combinar os resultados renderizados. Vale ressaltar que a extensão da sub-amostragem empregada pode potencialmente introduzir artefatos de aliasing, que devem ser cuidadosamente considerados com base no grau de sub-amostragem aplicado à cena (MOHANTO et al., 2022).

Além disso, as técnicas baseadas em resolução adaptativa têm uma importância significativa para o este estudo, pois a abordagem escolhida envolve modificar a resolução em diferentes regiões da tela. Isso está alinhado com os princípios fundamentais do FR baseado em resolução adaptativa e motiva sua seleção como a técnica principal para nosso experimento.

2.1.2 Simplificação geométrica

O segundo grupo de técnicas de FR se concentra na simplificação da geometria com base em vários parâmetros, como excentricidade, distância, tamanho e velocidade. Essas técnicas visam alcançar o FR adaptando a complexidade da geometria exibida na tela. As

métricas específicas usadas para determinar o nível de degradação da geometria variam consideravelmente entre diferentes técnicas e configurações de exibição.

No entanto, é importante observar que a intensidade da degradação da geometria pode introduzir artefatos de cintilação. Para realizar efetivamente a foveação, técnicas adicionais, como borrifar regiões de menor qualidade, são frequentemente empregadas para mitigar esses artefatos (MOHANTO et al., 2022).

2.1.3 Simplificação de sombreamento e degradação cromática

O terceiro grupo de técnicas de FR explora duas ideias distintas que compartilham o objetivo comum de reduzir a carga computacional durante a renderização de uma cena final. Técnicas de simplificação de sombreamento empregam sombreadores dependentes do olhar para reduzir dinamicamente a carga computacional em regiões periféricas da tela. Por outro lado, técnicas de degradação cromática visam diminuir a carga associada à computação de cores precisas, degradando as informações cromáticas na região periférica do campo visual.

É importante observar que essas técnicas não são mutuamente exclusivas, e a simplificação de sombreamento pode ser usada em conjunto com a degradação cromática para reduzir ainda mais a carga computacional durante a renderização de displays de alta resolução (MOHANTO et al., 2022).

2.1.4 Degradação espaço-temporal

Por último, o quarto grupo (Degradação espaço-temporal) utiliza diferentes taxas de atualização em toda a tela para reutilizar informações de pixels na periferia quando apropriado e economizar recursos com a periferia da tela. Esse tipo de degradação é uma função relacionada à excentricidade e pode ser problemático, pois o sistema visual humano ainda não é totalmente compreendido, o que pode tornar essas técnicas imprevisíveis em alguns casos e causar artefatos indesejáveis, como cintilação na periferia ou efeitos de visão de túnel (MOHANTO et al., 2022).

3 Trabalhos Relacionados

Nesta seção serão apresentados trabalhos relacionados com a avaliação da percepção dos usuários sobre a Renderização Fovial (FR) em ambientes imersivos e a influência dos parâmetros nessa percepção. Essa revisão também pretende apresentar melhor como este trabalho pode contribuir para o campo.

No trabalho de Guenter et al. (GUENTER et al., 2012) são renderizadas três camadas de excentricidade ao redor do ponto de fixação do usuário, tendo como parâmetros a chave e raio definidos por uma linha de inclinação do ângulo mínimo de resolução. Esse trabalho mostrou que o desempenho gráfico pode ser aumentado pela Renderização Fovial e estabeleceu uma faixa de inclinação de ângulos mínimos de resolução que podem ser alvejados para obter resultados suficientemente comparáveis à renderização tradicional.

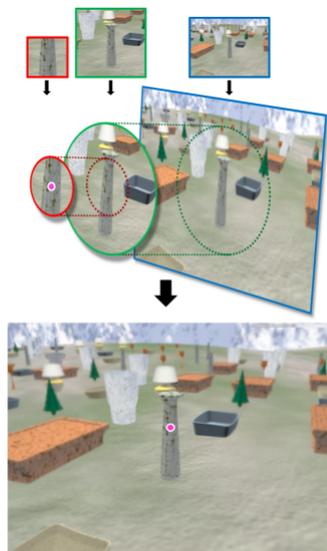


Figura 4: Renderização de três camadas de excentricidade (borda vermelha = camada interna, verde = camada do meio, azul = camada externa) ao redor do ponto de fixação rastreado (ponto)(GUENTER et al., 2012).

Swafford et al. (SWAFFORD et al., 2016) propuseram quatro tipos de degradação de qualidade na região periférica em seu sistema de foveated rendering, incluindo resolução, oclusão ambiente em espaço de tela, triangulação e etapas de lançamento de raios.O

trabalho é ilustrado na figura 5.



Figura 5: Esquerda: O método de resolução foveada no UE4 e no demo Elemental da Epic Games, Inc. Direita: Os métodos de resolução foveada, oclusão ambiental, triangulação e lançamento de raios (respectivamente). As áreas fora dos círculos são renderizadas com menos detalhes (periféricas)(SWAFFORD et al., 2016).

Walton et al. (WALTON; KAVAKLI et al., 2022) propõem um método em tempo real para calcular pares de imagens idênticas, porém fisicamente diferentes, para compor a visão periférica em displays de visão próxima. Essa contribuição não apenas representa uma abordagem inovadora para renderização foveada, mas também proporciona uma acuidade visual maior do que o simples desfoque da periferia para reduzir o ruído causado pela degradação, que é a opção mais popular para a redução de ruído.

Walton et al. (WALTON; DOS ANJOS et al., 2021) apresentaram uma abordagem inovadora para a holografia gerada por computador, com o objetivo de aprimorar o avanço de sistemas viáveis de exibição holográfica através da utilização da contingência do olhar. Sua metodologia concentra-se em elevar a qualidade visual, resultando em reconstruções de imagens tridimensionais tangíveis e perceptualmente precisas.

Patney et al. (PATNEY et al., 2016) projetaram um sistema de renderização com um algoritmo de anti-aliasing temporal, reconhecimento de múltiplas resoluções e reconhecimento de movimento ocular para atender aos requisitos de baixa latência de sistemas de RV. Esses estudos complementam este trabalho, pois se concentra nos aspectos sistêmicos da FR. Um estudo bem projetado com usuários é necessário para verificar a eficácia dos sistemas de FR.

Tursun et al. (TURSUN et al., 2019a) propõem uma solução de renderização foveal variável espacialmente que equilibra peculiaridades da visão humana e requisitos de desempenho para funcionar adequadamente em HMDs. Isso é alcançado usando informações de luminância para ajustar as informações na tela, que são adquiridas com um preditor que opera em aproximações de baixa resolução das cenas.

Caputo et al. (CAPUTO et al., 2021) apresentam um estudo com o objetivo de in-

investigar os efeitos do desfoque foveado real e simulado em Realidade Virtual imersiva. Técnicas para reduzir o fluxo óptico percebido nas margens do campo visual são frequentemente utilizadas em ambientes de RV para aliviar o desconforto experimentado quando a percepção do movimento visual não corresponde à aceleração do corpo. Embora preliminares, os resultados sugerem que, para participantes com maior sensibilidade, o uso de desfoque pode melhorar os efeitos de náusea e cybersickness, bem como aumentar a percepção de tarefas que devem ser executadas.

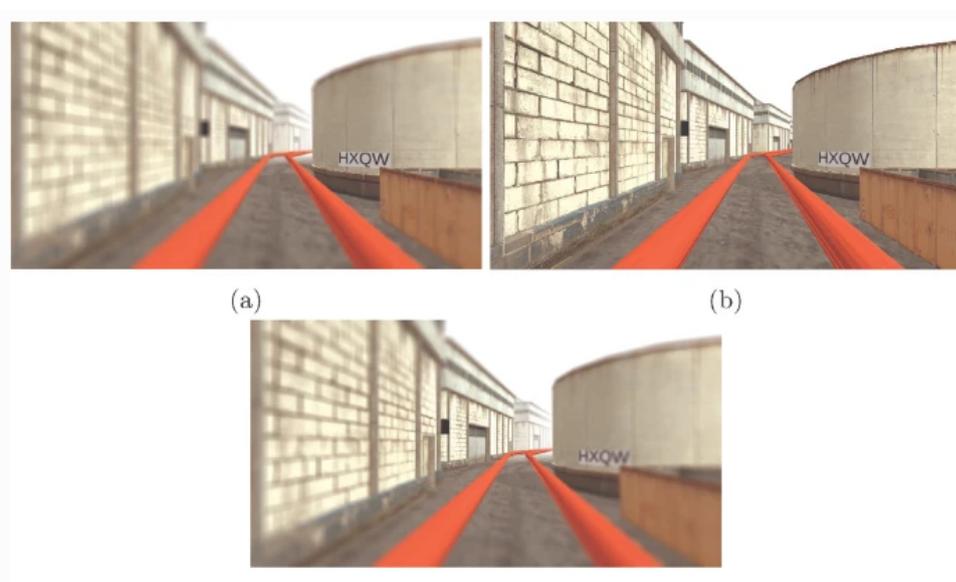


Figura 6: Os três métodos de renderização utilizados no trabalho. (a) Foveado (real): o usuário está olhando para o alvo visual à direita (em foco), e o restante da imagem está borrado. (b) Sem efeitos: tudo está em foco. (c) Bordo marginal (foveado simulado): o olhar é assumido como no centro da imagem, e os pixels distantes dele, incluindo o alvo visual, estão borrados (PATNEY et al., 2016).

O trabalho de (MENG; DU; VARSHNEY, 2020) aborda a técnica de renderização foveada baseada na dominância ocular. A renderização foveada é uma estratégia computacional que busca otimizar a qualidade visual em sistemas gráficos interativos, concentrando recursos computacionais na região de maior acuidade visual, conhecida como fóvea. Neste estudo, os pesquisadores exploram a dominância ocular como um guia para direcionar a renderização foveada, levando em consideração a diferença na acuidade visual entre os olhos direito e esquerdo. Os resultados obtidos demonstram o potencial dessa abordagem para melhorar a eficiência e qualidade visual em aplicações gráficas, abrindo caminho para o desenvolvimento de sistemas interativos mais imersivos e realistas.

Hsu et al. (HSU et al., 2017) propuseram um framework para comparar o desempenho de diferentes métodos de avaliação subjetiva em sistemas de renderização especial. O trabalho considera duas métricas de desempenho: eficiência e consistência, usando a razão

perceptual, que é a probabilidade de a FR ser perceptível pelos usuários. Um modelo de regressão foi usado para modelar a relação entre a qualidade percebida pelo humano e os parâmetros de renderização desejados. O estudo revelou várias percepções, incluindo a ausência de um método superior de avaliação subjetiva para medir a FR.

No trabalho de (SHI et al., 2023) aborda o desafio de otimizar o processo de renderização gráfica em tempo real em ambientes de realidade virtual. A técnica proposta utiliza o conceito de renderização foveada, que prioriza a renderização de alta qualidade na região de visão central do usuário, enquanto diminui a resolução em áreas periféricas. Além disso, o trabalho leva em consideração o movimento do usuário, ajustando dinamicamente a renderização para minimizar artefatos visuais e manter a qualidade perceptual.

Petrescu et al. (PETRESCU et al., 2023) realizaram um estudo para avaliar a influência da rotação autoinduzida da cabeça na sensibilidade perceptual para discernir detalhes intrincados em modelos 3D realistas. Os pesquisadores manipularam o Nível de Detalhe dos modelos em resposta à rotação, com o objetivo de identificar os limiares nos quais os usuários poderiam detectar consistentemente modelos de menor qualidade, mesmo durante o movimento. Embora esta investigação não aborde diretamente o campo da Renderização Foveada (FR), ela corrobora nossa hipótese de que o movimento do usuário exerce um impacto discernível na acuidade visual ao interagir com cenas tridimensionais.

Os resultados empíricos obtidos neste estudo ilustram claramente uma notável melhoria na eficiência da renderização, traduzindo-se em uma experiência visual consideravelmente mais agradável para os usuários e, simultaneamente, reduzindo a carga computacional em sistemas de realidade virtual. Este avanço na renderização foveal (FR) é particularmente relevante e oportuno, dada a crescente importância da qualidade visual em ambientes imersivos.

Embora seja notório que trabalhos anteriores tenham se dedicado a explorar a avaliação da percepção dos usuários em relação à FR em ambientes imersivos e tenham proposto inovações importantes nesse domínio, a investigação sobre como as condições da cena podem afetar significativamente a percepção do usuário permaneceu relativamente inexplorada. Essa lacuna de conhecimento é o ponto de partida fundamental deste estudo.

Nossa hipótese surge como uma resposta natural a essa lacuna, representando uma contribuição substancial e relevante para o campo. Especulamos que a relação entre a percepção do usuário, as condições de movimento e velocidade, e a renderização foveal desempenha um papel crucial na forma como os ambientes virtuais são percebidos. Investigar e compreender essa interação complexa é essencial para aprimorar ainda mais

a experiência do usuário em cenários de realidade virtual, bem como para otimizar a eficiência dos recursos computacionais envolvidos.

Ao abordar essa questão com rigor científico, nossa pesquisa busca preencher essa lacuna de conhecimento e fornecer insights valiosos para os pesquisadores e desenvolvedores no campo da realidade virtual, contribuindo para avanços significativos na qualidade da experiência visual e na eficiência dos sistemas de renderização foveal.

4 Variação de valores de Foveated Rendering baseado em velocidade

Apresentamos nessa dissertação, a hipótese de que o movimento do usuário permite aumentar valores e parâmetros de FR, possibilitando extrapolar mais ainda os valores limites conhecidos. Se esta hipótese for validada, podem-se desenvolver métodos de otimização de renderização para estas situações.

É importante destacar que um efeito relevante para nosso trabalho, é o efeito de Motion Blur (ou borrão de movimento). Quando o cenário apresenta movimento, a cena é registrada pela retina em um intervalo de tempo finito. Como resultado, os objetos em movimento aparecem borrados ou com rastros, já que a imagem capturada é uma média das posições ocupadas pelos objetos durante esse intervalo. (NAVARRO; SERÓN; GUTIERREZ, 2011)

Por esta razão a utilização do Motion Blur em conjunto com o FR pode ser vantajosa. Como a percepção visual do usuário também incorpora esse efeito natural de borramento durante o movimento, torna-se possível suavizar as transições entre as regiões de alta e baixa qualidade na renderização. Assim, o sistema pode aumentar a área de baixa qualidade (periferia) sem que isso seja percebido de maneira incômoda pelo usuário.

Para implementar as diferentes variações de parâmetros no FR, utilizamos neste trabalho uma técnica que mostrou resultados interessantes, que é o Rectangular Mapping-Based Foveated Rendering (RMFR), inicialmente proposto por (YE et al., 2022). O RMFR é executado como parte do estágio de iluminação do pipeline de deferred shading, após a criação dos buffers de geometria (G-Buffer).

O G-Buffer é convertido em um buffer de geometria transformada de baixa resolução (TG-Buffer) e a iluminação é calculada usando o TG-Buffer. O resultado é armazenado em um buffer de resolução reduzida (RS-Buffer) antes de ser transformado de volta para a resolução original. Essas etapas otimizam a eficiência de renderização sombreando o TG-Buffer de baixa resolução, que requer menos amostras e, portanto, é mais econômico.

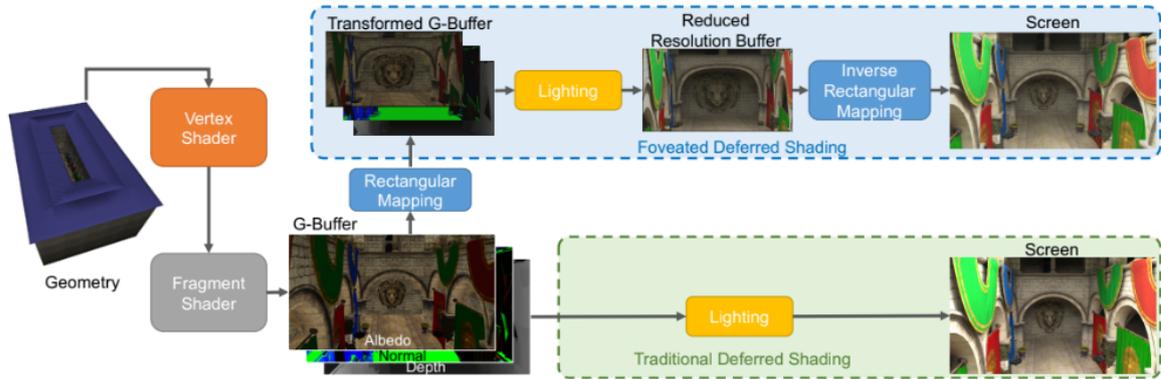


Figura 7: O pipeline do Rectangular Mapping-Based Foveated Rendering (RMFR) (YE et al., 2022).

Ao invés de sombrar com o G-buffer em coordenadas cartesianas, o RMFR utiliza a transformação de imagem de mapeamento retangular para o G-buffer e salva os metadados transformados no buffer de geometria transformada (TG-Buffer), calcula o sombreamento com o TG-Buffer e renderiza no buffer de resolução reduzida (RS-Buffer). Por fim, é calculado o mapeamento retangular inverso do RS-Buffer e renderiza na tela em resolução total.

Dado os resultados da RMFR em comparação com outros métodos de renderização foveada, decidimos construir sobre esse trabalho e investigar novas possibilidades de testes manipulando seus parâmetros. As principais variáveis que controlam a RMFR e podem ser adaptadas em relação ao desempenho são:

- σ é a proporção entre a resolução da tela e a resolução do RS-Buffer. Se $\sigma = 1$, as resoluções da tela e do RS-Buffer são iguais e nenhuma compressão ocorre. Quando σ está entre 0 e 1, o buffer amostrado é maior do que a imagem original. Para uma tela com resolução $W \times H$ transformada em $w \times h$, $\sigma = \frac{W}{w} = \frac{H}{h}$. Assim, o TG-Buffer tem apenas $w \times h$ pixels para sombrar em vez de $W \times H$, resultando em uma aceleração teórica de $\frac{W \times H}{w \times h} = \sigma^2$ (YE et al., 2022).
- f_x e f_y controlam a distribuição de pixels nos eixos horizontal e vertical selecionados para o TG-Buffer. Quanto menores esses valores, menos informações periféricas são capturadas e incluídas no TG-Buffer, causando uma perda de detalhes na imagem final.
- eye_x e eye_y são as posições x e y da fóvea na tela, respectivamente, e variam de 0 a 1. No experimento original, essas variáveis eram importantes para posicionar a região

da fóvea no ponto de fixação usando HMDs com capacidade de rastreamento ocular. Essas variáveis são essenciais para transformar pixels usando essas informações como referência para a região que deve ser preservada com a maior densidade de pixels (YE et al., 2022).

Esta dissertação foca no exame de diversas combinações de parâmetros associados RMFR no contexto de um padrão quadriculado, conforme representado na Figura 8. O objetivo principal é fornecer uma compreensão abrangente de como esses parâmetros podem potencialmente impactar a imagem resultante.

No teste original RMFR, o movimento nos testes do usuário não foi considerado. Assim, assumimos que o movimento no espaço virtual nos permitiria modificar seus parâmetros com o usuário usando um Head-Mounted Display (HMD) sem comprometer a imersão. É sabido que a visão periférica humana tem maior acuidade em velocidades mais lentas em comparação com velocidades mais altas (BROWN, 1972). Com base nessa característica, acreditamos que também podemos aumentar a intensidade do RMFR quando o usuário está se movendo em alta velocidade no ambiente virtual. Isso poderia levar a uma otimização aprimorada da cena sem comprometer a percepção do usuário.

O parâmetro mais crítico a ser modificado nesse cenário é σ , que está relacionado ao aumento teórico de velocidade fornecido pelo RMFR (YE et al., 2022). No entanto, simplesmente aumentar σ leva à perda de definição de toda a imagem devido ao TG-Buffer ter menos detalhes do que a tela inteira requer. Portanto, a solução é encontrar uma maneira ideal de alterar os valores de f_x e f_y juntamente com σ para compensar a compressão do G-Buffer.

No entanto, como f_x e f_y são manipulados para preservar a acuidade visual no ponto foveal na tela, a redução desses parâmetros para valores menores do que o apropriado pode resultar em uma perda maciça de informações na região periférica. Essa aplicação excessiva do efeito certamente será notável para o usuário. Para evitar isso, precisamos limitar a faixa na qual f_x e f_y existem para alcançar um equilíbrio entre a compressão ideal e a preservação da acuidade visual foveal.

A Figura 8 mostra diferentes combinações de parâmetros RMFR em relação a um padrão quadriculado para melhor mostrar como os parâmetros podem interferir na imagem final. As Figuras 10 e 11 têm um objetivo semelhante, mas apresentando valores absurdos dos parâmetros em cenas construídas para testes de usuário, a fim de exemplificar melhor o desafio de equilibrar σ , f_x e f_y .

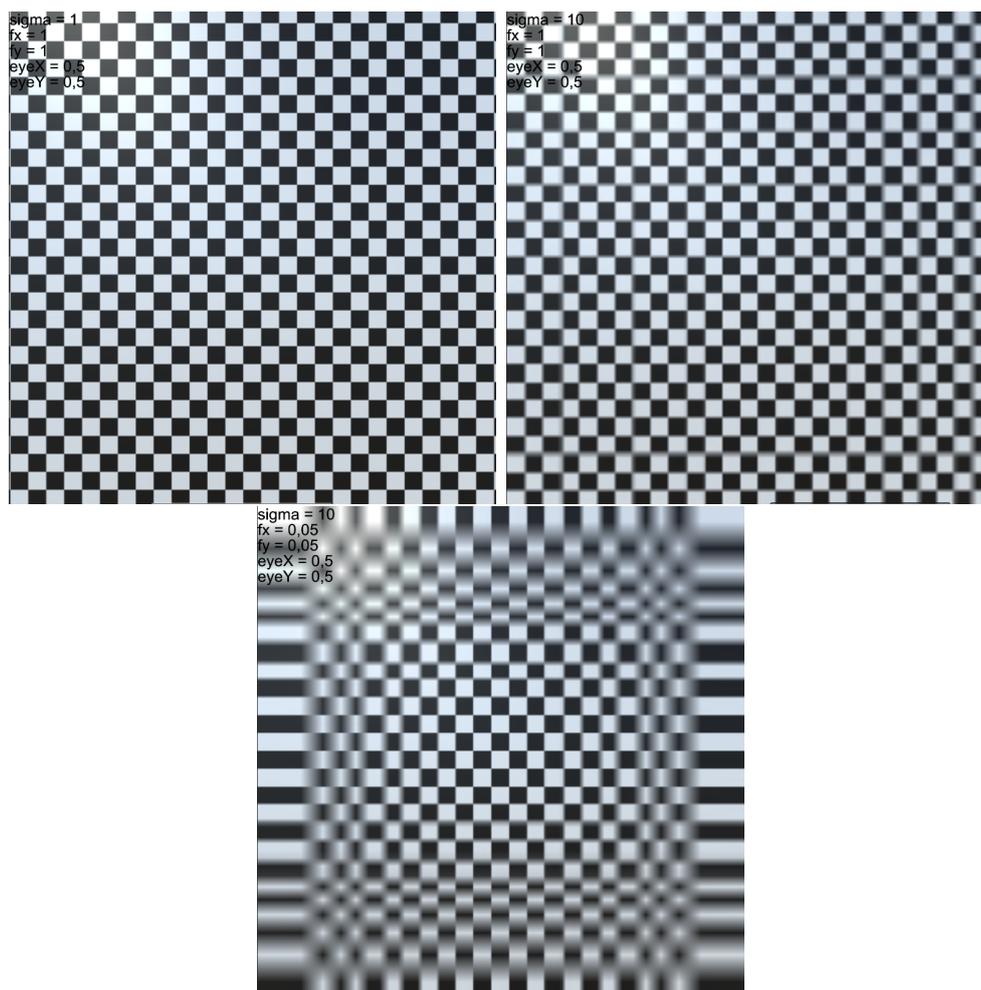


Figura 8: Comparação dos parâmetros RMFR em nossa implementação. A imagem da esquerda não apresenta degradação perceptível. A imagem do meio tem $\sigma = 10$ e distribuição uniforme de pixels. A imagem da direita tem $\sigma = 10$ e uma forte concentração de pixels na fóvea ($f_x = 0,05$, $f_y = 0,05$), resultando em artefatos de compressão em áreas periféricas. A cena foi criada com o propósito de testar a implementação.(Autor)

5 Design do Experimento

Nesta seção, descrevemos em detalhes as condições e os métodos utilizados para conduzir o experimento com os usuários. Esta seção fornece uma compreensão mais profunda do ambiente virtual onde os testes foram realizados, e em seguida se discute os testes realizados com os usuários.

O método RMFR permite aumentar os valores de σ em velocidades mais altas, ao mesmo tempo em que controla os valores de f_x e f_y para manter uma melhor qualidade visual na parte da tela que corresponde à região foveal da retina. O experimento original do RMFR mostra que $\sigma = 2.6$ é o valor máximo de σ que mantém a pontuação acima de um limiar de qualidade para cenas estáticas (YE et al., 2022).

Com base no estudo do RMFR, queremos verificar se podemos aumentar a intensidade dos efeitos de renderização foveada ao mover-se em velocidades mais altas em dois tipos de ambientes virtuais (internos e externos) afim de entender o comportamento dos parâmetros em cenas diferentes, sem comprometer a percepção do usuário. No entanto, é importante observar que essa hipótese deve ser testada e comprovada estatisticamente por meio da análise dos resultados antes de poder ser considerada uma explicação válida.

5.1 Definição dos Parâmetros

Realizamos nosso experimento submetendo o usuário a cenas de teste, variando diferentes parâmetros do RMFR que foram estabelecidos na seção anterior. O parâmetro mais importante a ser variado é o parâmetro σ , que foi aumentado de 1.0 até o infinito em passos de incrementos fixos. O uso de valores menores de σ aumentaria a resolução da imagem, o que comprometeria o desempenho sem fornecer nenhum ganho perceptível. Uma vez que o parâmetro σ representa o aumento teórico de velocidade ao usar o RMFR, nosso objetivo é executar essas cenas com os maiores valores possíveis de σ .

Também tivemos que gerenciar os valores de f_x e f_y juntamente com σ para com-

pensar a compressão da imagem, pois aumentar σ enquanto mantemos uma distribuição uniforme de pixels leva a uma degradação uniforme da imagem. Reduzir f_x e f_y evita isso, concentrando contagens de pixels mais altas usadas na reconstrução da tela no centro da imagem e danificando a imagem periférica.

Além disso, estabelecemos diferentes velocidades para simular o movimento do usuário, permitindo testar e validar nossa hipótese inicial. Embora o RMFR inclua controles para ajustar a posição da fóvea na tela, esse parâmetro específico não foi utilizado devido à nossa incapacidade de rastrear a direção do olhar do usuário (YE, 2022). Isto no entanto não é uma limitação deste trabalho, uma vez que no caso de ocorrer um dispositivo de rastreamento de retina no HMD, bastaria mover a região do Foveated Rendering, mantendo todas as hipóteses e resultados do presente trabalho.

Conforme afirmado por (YE et al., 2022), os valores ótimos de f_x e f_y dependem das cenas em que a técnica é aplicada. Por causa disso, por meio de experimentação manual, estabelecemos intervalos para f_x e f_y nos quais esses valores poderiam funcionar em nossas cenas sem comprometer a qualidade da imagem. Isso significava que esses valores não podem ser muito altos, de forma que a região foveal não seja afetada por valores suficientemente altos de σ , nem muito baixos a ponto de degradar bastante a periferia, mantendo boa qualidade visual na região foveal. Desta forma, os parâmetros f_x e f_y que foram estipulados para valores de 0,77 a 0,05. Embora usar f_x e $f_y = 1$ enquanto $\sigma = 1$ fosse possível, à medida que σ aumentava, f_x e f_y precisavam ser diminuídos de forma que sua influência fosse facilmente percebida. Trabalhar com um intervalo menor torna as diminuições de f_x e f_y menos perceptíveis.

Ao escolher as velocidades para testar os parâmetros, percebemos que a cena apresentaria um aliasing severo quando reproduzida em velocidade suficientemente alta. Isso, combinado com o fato de que diferentes cenas tinham percepções de velocidade diferentes, nos levou a escolher velocidades diferentes para cenários diferentes. Executar a Cena Interna nas mesmas velocidades que a Cena Externa causaria aliasing prejudicial em toda a região, enquanto o contrário (executar a Cena Externa com as velocidades da Cena Interna) causaria um movimento tão reduzido que seria virtualmente imperceptível.

Por meio de experimentação manual com alguns usuários, descobrimos que velocidades acima das que atribuímos estavam apresentando problemas de aliasing em dispositivos de realidade virtual (HMDs), o que poderia contaminar nossos resultados. A partir de então, entre a velocidade mínima e a velocidade máxima, dividimos as velocidades em intervalos iguais, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Velocidades expressas em Km/h para cada cena.

Scene	Speeds
<i>Outdoor Scene (Mars Scene)</i>	0, 50, 100, 150, 200
<i>Indoor Scene (Tunnel Scene)</i>	0, 20, 40, 60, 80

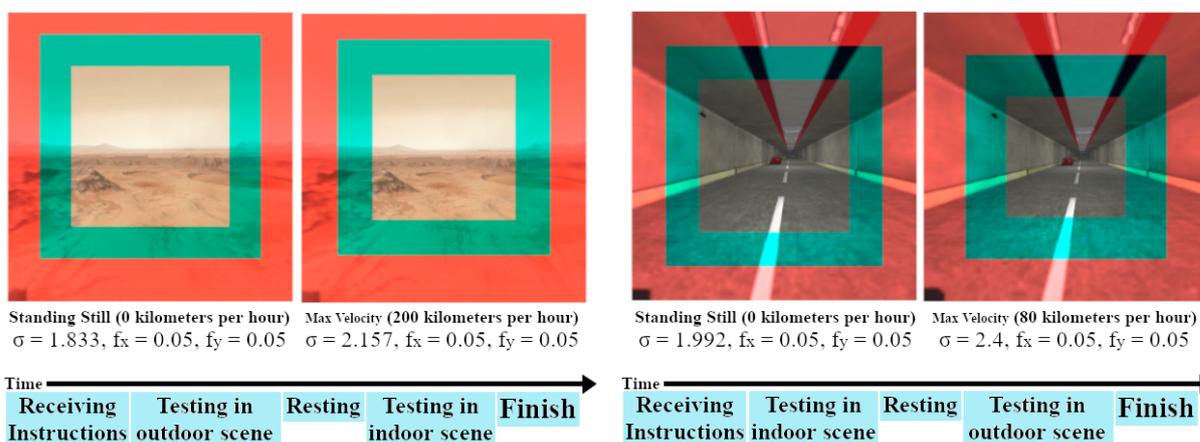


Figura 9: Cenas de teste utilizadas no experimento representando duas configurações distintas. A imagem da esquerda em cada par representa a implementação dos parâmetros médios de RMFR na ausência de movimento do usuário. Por outro lado, a imagem da direita em cada par, ilustra a aplicação dos parâmetros de RMFR sob a maior velocidade experimentada pelos usuários durante o experimento. (Autor)

5.2 Ambiente de Testes

Desenvolvemos uma aplicação utilizando a engine Unity(UNITY..., s.d.) para avaliar nossa hipótese. Como a percepção de movimento em um ambiente fechado é diferente de um espaço aberto, construímos duas cenas de realidade virtual (VR) em que 1 unidade na Unity Engine corresponde a 1 metro do mundo real. Projetamos duas cenas, sendo uma interna e outra externa. A Figura 9 ilustra as cenas utilizadas nos experimentos.

A cena ao externa¹ é mostrada na Figura 10 e a cena interna² na Figura 11.

Ambas as cenas foram projetadas para sessões de experimentação controladas e supervisionadas. Ao final de cada execução, um log foi gerado que relatava os parâmetros RMFR e qualquer entrada fornecida pelo usuário, como a percepção de qualquer degradação no cenário. Isso nos permitiu controlar a configuração que gerou artefatos perceptíveis para cada usuário em condições específicas em cada aplicação. As sessões de teste duraram cerca de 10 minutos cada, com 5 minutos para cada cena de teste. Um exemplo de dados capturados no Unity e exportados no formato JSON é mostrado na Figura 12.

¹<https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/mars-environment-42564>

²<https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/roadways/tunnels-pack-203282>

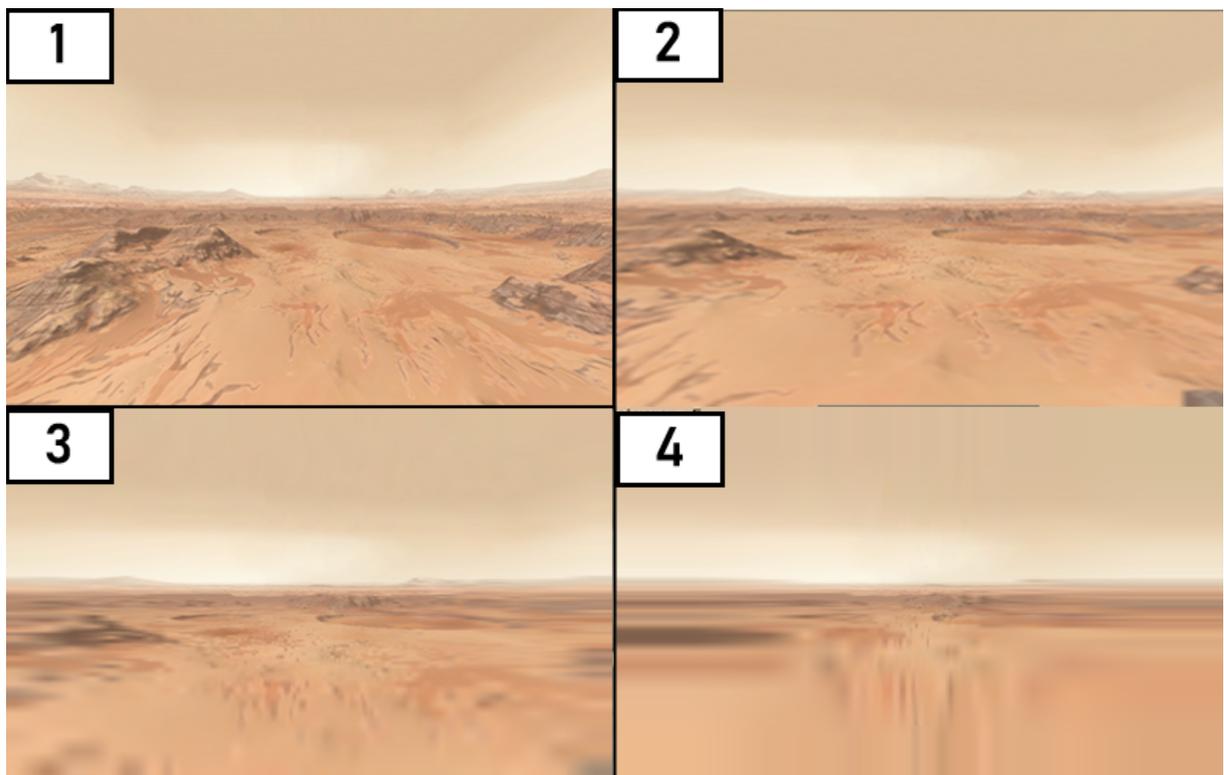


Figura 10: Cena externa usada em nosso experimento. A imagem (1) mostra Marte em resolução total. (2), (3) e (4) mostram Marte sob diferentes parâmetros RMFR; respectivamente, (2) mostra $\sigma = 5, f_x = f_y = 1$, (3) mostra $\sigma = 1, f_x = f_y = 0.005$ e (4) mostra $\sigma = 5, f_x = f_y = 0.005$ (Autor).

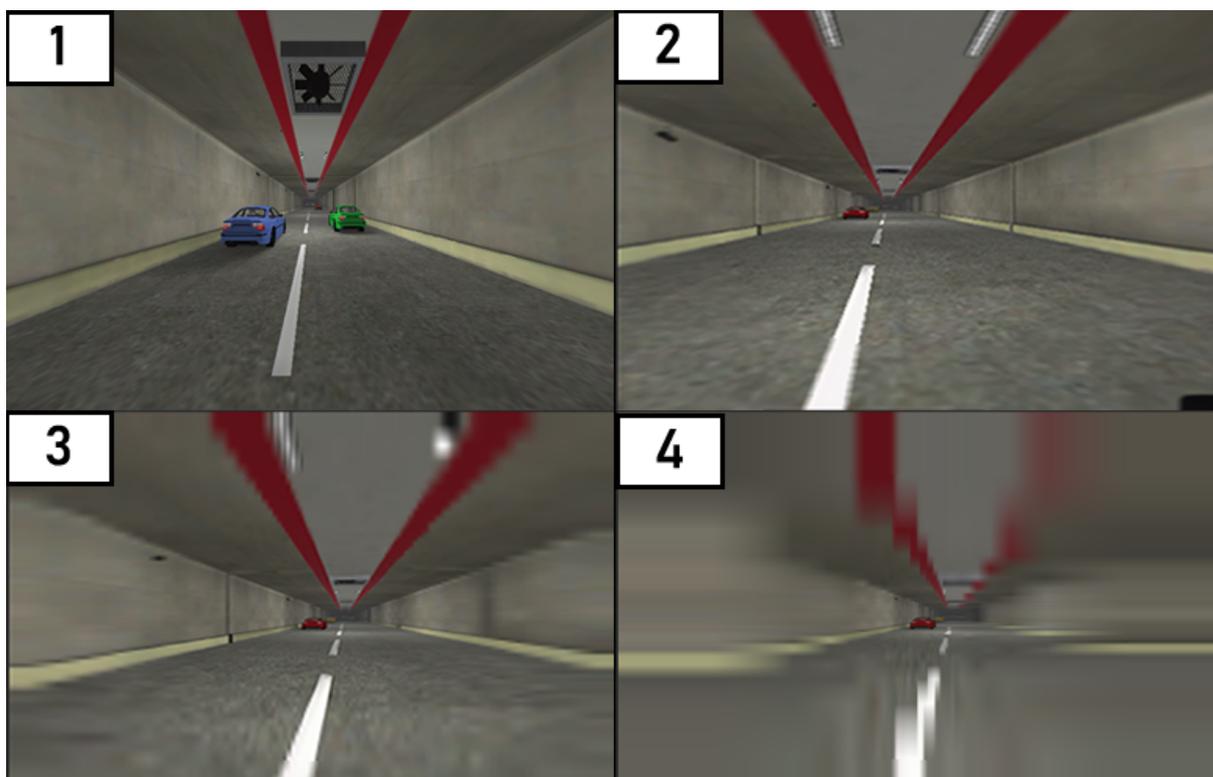


Figura 11: Cena interna usada em nosso experimento. A imagem (1) mostra o túnel em resolução total. (2), (3) e (4) mostram o túnel sob diferentes parâmetros RMFR; respectivamente, (2) mostra $\sigma = 5, f_x = f_y = 1$, (3) mostra $\sigma = 1, f_x = f_y = 0,005$ e (4) mostra $\sigma = 5, f_x = f_y = 0,005$ (Autor).



Figura 12: Amostra dos dados do usuário capturados do motor Unity com base nas interações do usuário (Autor).

5.3 Dispositivo HMD utilizado

O Meta Quest 2 é um dispositivo de realidade virtual (VR) que se destaca no mercado por sua acessibilidade e qualidade. Desenvolvido pela Oculus, subsidiária do Facebook, o Quest 2 é um dispositivo completo que elimina a necessidade de cabos ou sensores externos. Sua capacidade de fornecer uma experiência imersiva sem limitações físicas é garantida pelo rastreamento de movimento e controles intuitivos.

Graças à resolução de tela aprimorada e ao poder de processamento, o Quest 2 é capaz de executar vários aplicativos e jogos de realidade virtual. Além disso, seu som surround e conectividade tornam a experiência mais imersiva. O impacto do Oculus Quest 2 no campo da RV é importante porque promove acessibilidade e acesso a novos públicos e acelera o desenvolvimento contínuo da tecnologia de RV.

O Quest 2 é um dispositivo de realidade virtual completo que oferece uma experiência imersiva e sem cabos. Suas especificações incluem resolução de tela de ponta 1832 x 1920 pixels por olho e taxa de atualização de 90 Hz, com um campo de visão de 95 graus além de um poderoso poder de processamento e espaço de armazenamento suficiente para aplicativos e jogos de realidade virtual.

5.4 Experimento com o Usuário

Realizamos nosso experimento com 50 usuários, sendo 41 homens e 9 mulheres. A idade média dos usuários foi de 26 anos, variando de 18 a 43 anos. 28 usuários tinham pouca ou nenhuma experiência prévia com RV, enquanto 22 usuários tinham experiência. Dos usuários, 22 relataram ter problemas de visão, como miopia ou astigmatismo. Eliminamos dois testes que apresentaram valores discrepantes na cena de Marte. Essa exclusão não impactou os resultados e a significância posteriormente.

Antes de cada usuário iniciar os testes foi passado o Termo de Consentimento livre e Esclarecido conforme pode ser visto no Apêndice B, mostramos a eles uma cena de demonstração na qual exibimos a cena de teste primeiro sem nenhuma técnica de FR aplicada e depois sob um conjunto de parâmetros do RMFR considerados extremos de acordo com seu artigo original ($\sigma = 6$; $f_x = f_y = 0.05$). Durante essa etapa de demonstração, instruímos os usuários a olhar para frente e relatar o momento em que percebessem qualquer artefato visual causado pelo RMFR na região periférica, pressionando qualquer botão no controle do HMD.

Após a conclusão da Cena de Demonstração, o usuário é posicionado no mesmo ambiente anteriormente mostrado, experimentando-o em primeira pessoa. Nessa configuração, o usuário é impulsionado de forma contínua e predefinida pelo cenário em uma velocidade consistente.

No início de cada rodada de teste, mantivemos os parâmetros do RMFR inalterados por 5 segundos, mantendo a resolução completa na tela. Depois disso, alteramos regularmente os parâmetros até que o usuário sinalizasse a percepção de artefatos gerados por σ . No caso de σ , o parâmetro começou em 1 e aumentou em passos fixos. Os parâmetros f_x e f_y variaram dentro da faixa estabelecida no menu, entre 0.77 e 0.05, atingindo seu valor final quando σ atingiu seu valor final nas configurações.

Cada cena tinha um conjunto de velocidades para medir o tempo de percepção do usuário. A Tabela 1 mostra as relações de cada cena e suas velocidades escolhidas. Sempre que o usuário sinalizava a percepção de artefatos gerados por σ , o aplicativo interrompia sua execução, exibia uma tela preta por um segundo e reproduzia a mesma cena novamente com uma velocidade aleatória diferente da lista de velocidades, evitando repetições. Uma vez que o usuário testou todas as velocidades estabelecidas para uma cena, havia um intervalo breve para verificar se o usuário apresentava sintomas de cinetose. Caso contrário, os testes continuavam com a outra cena não testada. Nenhum usuário relatou

sintomas de cinetose em nenhum momento.

Para evitar quaisquer vieses causados por uma cena afetar a percepção de artefatos visuais em outra, a ordem em que os usuários testaram as cenas também foi importante em nosso experimento. Para obter resultados equilibrados, 25 dos 50 usuários testaram a cena externa primeiro antes de passar para a cena interna, e os outros 25 testaram a cena interna primeiro. Cada usuário testou cada cena uma vez, e cada usuário passou por todo o processo uma vez. As figuras 13 e 14 mostram o ambiente de testes.



Figura 13: Ambiente preparado para os testes com os usuários (Autor).



Figura 14: Usuário realizando testes com o HMD na cena do Túnel (Autor).

6 Resultados e Discussão

Após conduzir o experimento, armazenamos os resultados em arquivos JSON e processamos esses mesmos resultados usando o processo ETL (Extração, Transformação, Carga) no Microsoft Power Bi versão 2.111 de 2022. Conforme descrito em (MUÑOZ; MAZÓN; TRUJILLO, 2009), esta etapa integra dados de diferentes fontes, permitindo análises por meio de transformações e armazenamento centralizado de dados. O principal objetivo do ETL é otimizar, categorizar e facilitar a tomada de decisões.

Em seguida, foi desenvolvido um dashboard para analisar os dados brutos, incorporando filtros para aprimorar a capacidades de análise. Um exemplo do painel de controle para a cena de Marte e do Túnel é mostrado na Figura 15 e 16.

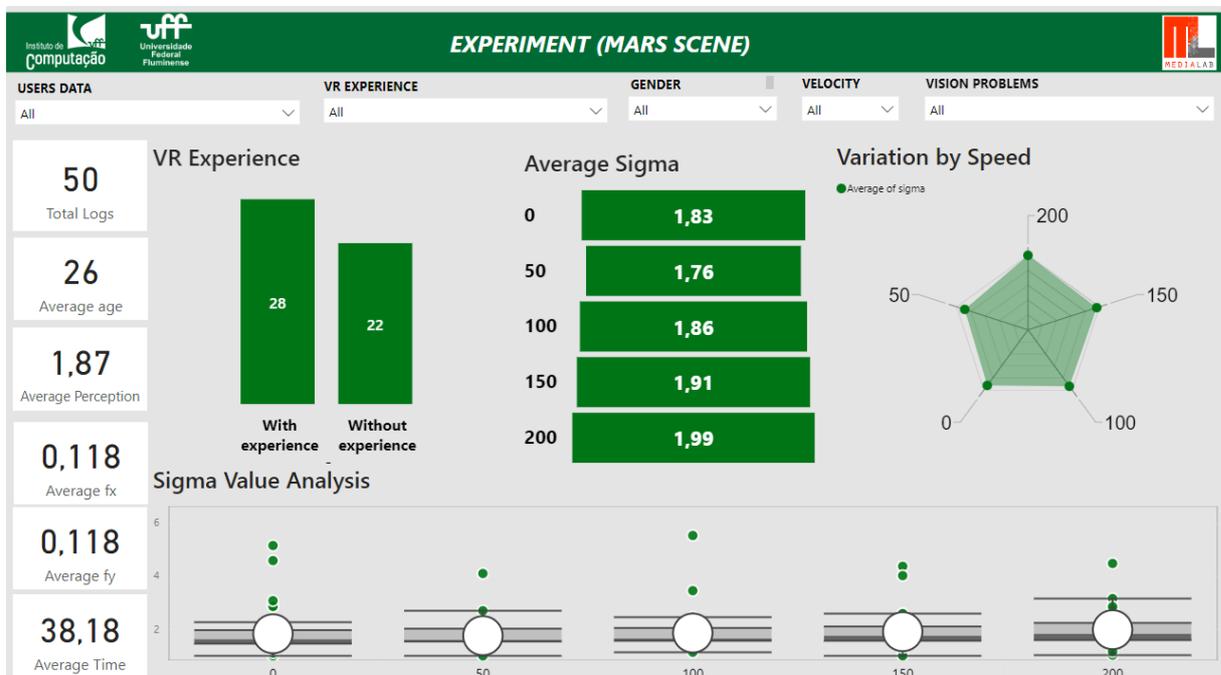


Figura 15: Exemplo de dados da cena de Marte exibidos no dashboard desenvolvido no Power BI, para auxiliar na tomada de decisão e análise das informações.

O dashboard fornece:

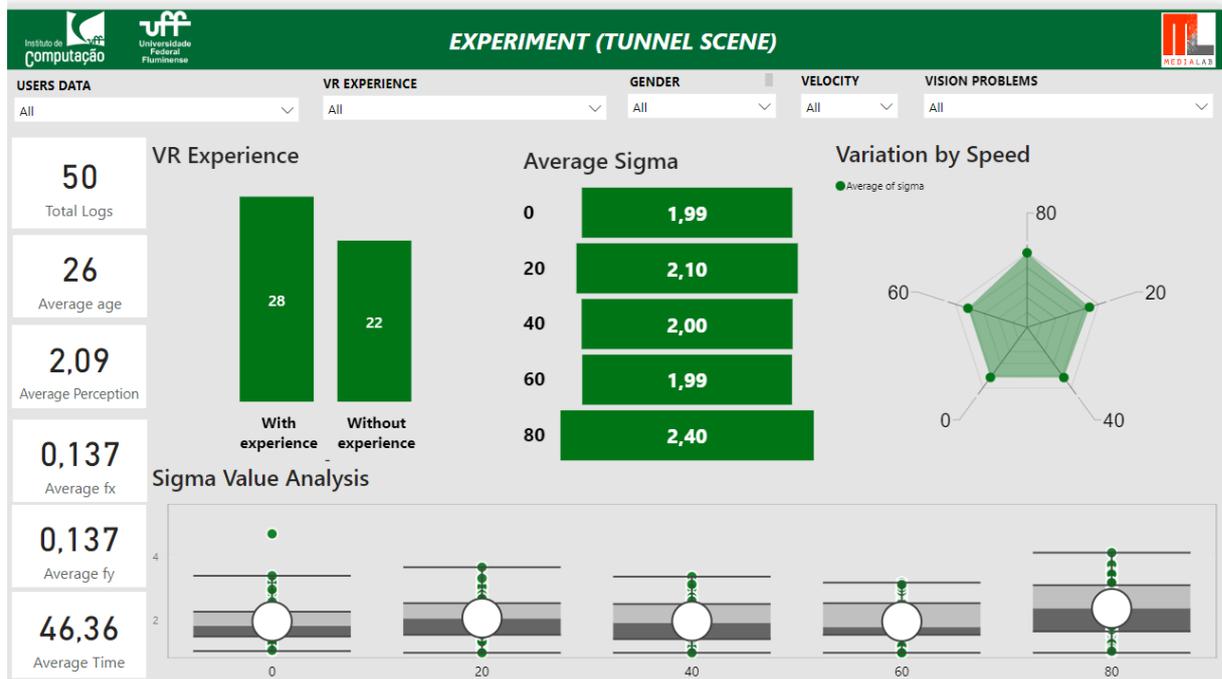


Figura 16: Exemplo de dados da cena do Tunel exibidos no dashboard desenvolvido no Power BI, para auxiliar na tomada de decisão e análise das informações.

- Informações sobre o número total de testes, incluindo os valores médios percebidos de σ , f_x , f_y e tempo;
- Um gráfico mostrando os valores médios de σ para cada velocidade entre os 50 testes (250 amostras);
- Radar de variação por velocidade;
- Filtros por gênero, experiência em VR, deficiências visuais e velocidades individuais.

Este painel de controle auxilia no processo de combinar dados para descobrir novas e relevantes métricas e a partir disso conseguimos conduzir as nossas pesquisas.

6.1 Análise Estatística

A análise de significância envolve a comparação das diferenças observadas com uma distribuição de probabilidade conhecida, geralmente a distribuição normal. Se a diferença observada for maior do que o valor crítico obtido dessa distribuição, então é considerada estatisticamente significativa e pode ser considerada como uma diferença real, ao invés de um acaso. A análise de significância é uma etapa importante no processo de tomada

de decisão baseado em dados e ajuda a garantir que as conclusões sejam baseadas em resultados confiáveis, e não em simples coincidências.

Os estudos em interação humano-computador (IHC) usam métodos quantitativos e paramétricos na análise de dados de desempenho humano, como o tempo de tarefa (DIX *et al.*, 2003). No entanto, os testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk mostraram que os valores da variável dependente σ (*dSigma*) não apresentam uma distribuição normal, tornando o uso de métodos paramétricos na análise inviável.

Tabela 2: Testes de Normalidade Marte

Velocidade	Teste	Estatística	df	Sig.
0 Km/h	Kolmogorov-Smirnova	0,253	50	0,000
	Shapiro-Wilk	0,704	50	0,000
50 Km/h	Kolmogorov-Smirnova	0,213	50	0,000
	Shapiro-Wilk	0,792	50	0,000
100 Km/h	Kolmogorov-Smirnova	0,184	50	0,000
	Shapiro-Wilk	0,662	50	0,000
150 Km/h	Kolmogorov-Smirnova	0,161	50	0,002
	Shapiro-Wilk	0,811	50	0,000
200 Km/h	Kolmogorov-Smirnova	0,119	50	0,072
	Shapiro-Wilk	0,883	50	0,000

Com base nos resultados da tabela de testes de normalidade na cena de Marte, pode-se concluir que as amostras analisadas não seguem uma distribuição normal. Os testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk apresentaram valores de significância muito baixos para todas as velocidades avaliadas, indicando uma falta de aderência das amostras à distribuição normal. Isso significa que a suposição de normalidade não é válida para esses conjuntos de dados. Portanto, ao realizar análises estatísticas nessas amostras, é importante considerar métodos alternativos adequados para dados não normais, a fim de evitar conclusões errôneas e aplicar abordagens estatísticas mais apropriadas.

Além disso, observa-se que as estatísticas de teste de Kolmogorov-Smirnov variam para cada velocidade, sugerindo diferentes níveis de discrepância em relação à distribuição normal. Por exemplo, as velocidades de 0 Km/h, 50 Km/h e 150 Km/h apresentam estatísticas relativamente altas, indicando uma maior divergência da distribuição normal. Em contraste, as velocidades de 100 Km/h e 200 Km/h mostram estatísticas ligeiramente menores, mas ainda significativas. Os resultados do teste de Shapiro-Wilk também corroboram essas conclusões, fornecendo evidências adicionais de não normalidade nas amostras. Portanto, é fundamental considerar a não normalidade dos dados ao realizar

análises estatísticas e adotar abordagens estatísticas robustas para garantir resultados confiáveis.

Tabela 3: Testes de Normalidade Túnel

Velocidade	Teste	Estatística	df	Sig.
0 Km/h	Kolmogorov-Smirnova	0,165	50	0,002
	Shapiro-Wilk	0,890	50	0,000
20 Km/h	Kolmogorov-Smirnova	0,087	50	0,200*
	Shapiro-Wilk	0,973	50	0,315
40 Km/h	Kolmogorov-Smirnova	0,096	50	0,200*
	Shapiro-Wilk	0,962	50	0,108
60 Km/h	Kolmogorov-Smirnova	0,135	50	0,023
	Shapiro-Wilk	0,937	50	0,010
80 Km/h	Kolmogorov-Smirnova	0,088	50	0,200*
	Shapiro-Wilk	0,968	50	0,194

Com base nos resultados dos testes de normalidade na cena do Túnel, pode-se concluir que as amostras analisadas não se ajustam a uma distribuição normal em todos os casos. Os testes de Kolmogorov-Smirnov indicaram valores significativos de Sig, para algumas velocidades, como 0 Km/h e 60 Km/h, sugerindo falta de normalidade nessas amostras. Por sua vez, o teste de Shapiro-Wilk revelou valores baixos de Sig. para todas as velocidades, corroborando a não conformidade com a distribuição normal. Esses resultados indicam a necessidade de utilizar métodos estatísticos alternativos adequados para dados não normais, evitando assim a aplicação inadequada de técnicas estatísticas baseadas na suposição de normalidade.

Por esse motivo, usamos o método de transformação de classificação alinhada (ART) (WOBBROCK et al., 2011; BATES et al., 2015) e contrastes de transformação de classificação alinhada (ART-C) (ELKIN et al., 2021) para analisar a influência das variáveis independentes na variável dependente σ .

Realizamos a análise estatística usando o R (4.2) ¹ e o RStudio (2022.12.0) ². Como parâmetros de significância estatística, exploramos o uso de três valores de p: $p < .0001$, $p < .001$ e $p < .05$. Utilizamos dois conjuntos de dados que diferem apenas nos valores de velocidade (*iSpeed*). A cena de Marte (0, 50, 100, 150, 200) km/h e a cena do Túnel (0, 20, 40, 60, 80) km/h. A Tabela 4 mostra como estruturamos as variáveis independentes.

Após definir as técnicas estatísticas, verificamos se há uma diferença significativa

¹<https://cran.r-project.org/>

²<https://posit.co/>

Tabela 4: Valores das variáveis independentes

Variáveis	Valores
<i>iSpeed</i>	0, 50, 100, 150, 200 (outdoor) 0, 20, 40, 60, 80 (indoor)
<i>iExperience</i>	<i>Yes, No</i>
<i>iVisionImpairment</i>	<i>Yes, No</i>
<i>iGender</i>	<i>Female, Male</i>

entre os valores de σ em cada uma das velocidades testadas em ambas as cenas. Isso é importante porque é um sinal de que a alteração dos parâmetros de velocidade permite alterar o valor de RMFR e σ . As Figuras 17 e 19 apresentam a significância estatística entre os testes de velocidade na cena de Marte e no túnel. Os resultados são discutidos da seguinte forma.

6.2 Análise Estatística na Cena de Marte

Após utilizar os valores do dataset, temos os resultados descritivos da cena de marte, mostrando os valores por cada uma das velocidades, e detalhando conforme a Tabela 5 a seguir:

Os resultados da cena de Marte (cena externa) mostram que valores maiores de *iSpeed* permitem o uso de valores maiores de σ , o que significa que em velocidades mais altas, os usuários percebem apenas artefatos visuais com valores maiores de σ (Figura 17).

Tabela 5: Estatística Descritiva Marte

Velocidade	Estatística	Valores	Erro Padrão
0 Km/h	Média	1,83	0,11
	Mediana	1,63	
	Variância	0,58	
	Desvio Padrão	0,76	
	Mínimo	1,00	
	Máximo	5,16	
	Intervalo	4,16	
	Intervalo interquartil	0,53	
	Assimetria	2,81	0,34
	Curtose	9,51	0,66
50 Km/h	Média	1,76	0,07
	Mediana	1,61	
	Variância	0,23	
	Desvio Padrão	0,48	
	Mínimo	1,00	
	Máximo	4,10	
	Intervalo	3,10	
	Intervalo interquartil	0,49	
	Assimetria	2,50	0,34
	Curtose	10,33	0,66
100 Km/h	Média	1,86	0,10
	Mediana	1,66	
	Variância	0,46	
	Desvio Padrão	0,68	
	Mínimo	1,13	
	Máximo	5,54	
	Intervalo	4,40	
	Intervalo interquartil	0,50	
	Assimetria	3,62	0,34
	Curtose	17,92	0,66
150 Km/h	Média	1,91	0,09
	Mediana	1,76	
	Variância	0,38	
	Desvio Padrão	0,62	
	Mínimo	1,00	
	Máximo	4,37	
	Intervalo	3,37	
	Intervalo interquartil	0,57	
	Assimetria	2,12	0,34
	Curtose	6,38	0,66
200 Km/h	Média	1,99	0,08
	Mediana	1,84	
	Variância	0,36	
	Desvio Padrão	0,60	
	Mínimo	1,03	
	Máximo	4,48	
	Intervalo	3,46	
	Intervalo interquartil	0,65	
	Assimetria	1,64	0,34
	Curtose	4,98	0,66

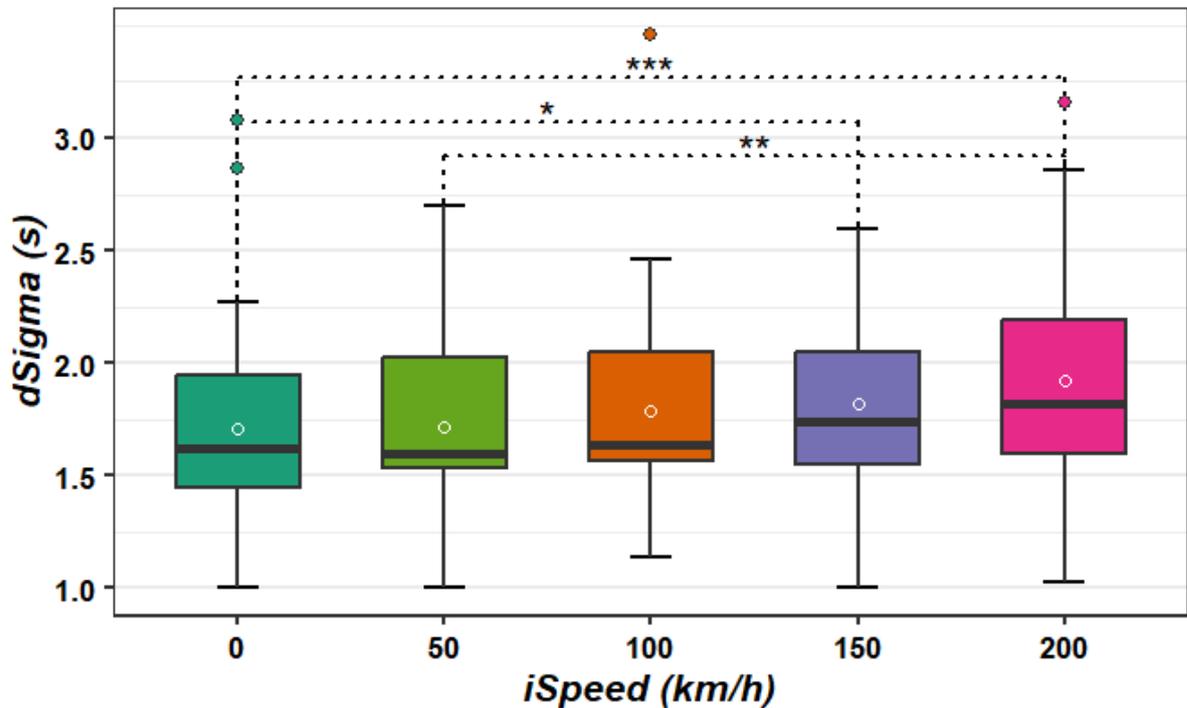


Figura 17: Respostas aos valores de σ para cada nível das variáveis independentes na cena de Marte. Os círculos no gráfico representam os valores médios de sigma para cada uma das velocidades. Os valores médios são representados por círculos no gráfico, respectivamente: 0 km/h - 1,83; 50 km/h - 1,76; 100 km/h - 1,86; 150 km/h - 1,91; e 200 km/h - 1,99. As sequências de asteriscos correspondem a diferentes valores de p; *** significa $p < 0,0001$, ** significa $p < 0,001$ e * significa $p < 0,05$.

Encontramos efeitos significativos de $iSpeed$ ($F_{4,184} = 5.7207$, $p < .001$) em $dSigma$ com um eta quadrado parcial (η_p^2) de 0.0625 (Figura 17). Testes post-hoc de $iSpeed$ revelaram diferenças significativas entre velocidades de 0 km/h a 150 km/h, 0 km/h a 200 km/h e 50 km/h a 200 km/h.

Isso mostrou que a velocidade de movimento do usuário $iSpeed$ afetou significativamente a percepção de artefatos visuais σ em nossas análises. Testes post-hoc mostraram que ocorreram diferenças significativas em várias comparações de velocidade, incluindo aquelas entre velocidades mais baixas e mais altas, bem como entre diferentes faixas de velocidade. Esses resultados sugerem que a velocidade de movimento do usuário pode ser um fator importante a ser considerado ao desenvolver aplicativos de realidade virtual para uso em ambientes externos, que buscam minimizar a percepção de artefatos visuais e fornecer uma experiência visual mais natural e confortável para o usuário.

Também encontramos efeitos significativos de *iExperience* ($F_{1,46} = 7.1011, p < .05$) em *dSigma* com um eta quadrado parcial (η_p^2) de 0.0955. (Figura 18). Testes post-hoc de *iExperience* revelaram diferenças de velocidade significativas entre participantes sem experiência e com experiência em VR, incluindo velocidades variando de 0 km/h a 200 km/h, 50 km/h a 100 km/h, 50 km/h a 150 km/h, 50 km/h a 200 km/h, 100 km/h a 150 km/h e 100 km/h a 200 km/h. Como resultado, participantes sem experiência em VR tiveram valores mais baixos de σ do que usuários com experiência, mostrando que usuários sem experiência em VR são mais propensos a perceber mudanças de imagem em cenas abertas mais cedo do que usuários com experiência, como mostrado na Figura 18.

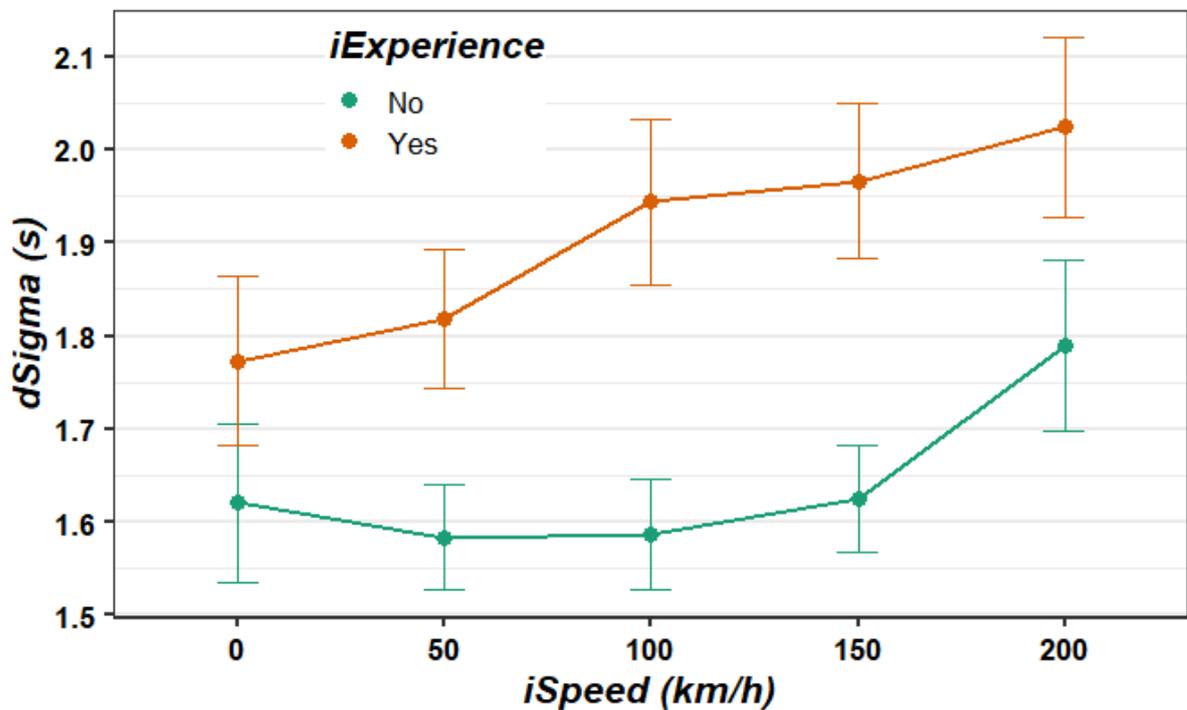


Figura 18: Participantes sem experiência em VR apresentaram valores mais baixos de σ em comparação com os participantes experientes.

Isso indica que as variáveis dependentes *iVisionImpairment* e *iGender* não tiveram efeitos significativos em nossas análises. Além disso, nenhuma interação significativa foi observada entre as variáveis independentes *iExperience* \times *iSpeed*, *iVisionImpairment* \times *iSpeed* e *iGender* \times *iSpeed*.

Esses resultados sugerem que o gênero e as deficiências visuais não tiveram impacto significativo na percepção de artefatos visuais em diferentes condições de velocidade de movimento. No entanto, é importante considerar que os resultados podem ser específicos para a tarefa e condições experimentais utilizadas em nossa análise e podem não se aplicar

a outras situações ou configurações experimentais.

6.3 Análise Estatística na Cena do Túnel

Após utilizar os valores do dataset, temos os resultados descritivos da cena do Túnel, mostrando os valores por cada uma das velocidades, e detalhando conforme a tabela a seguir:

Encontramos efeitos significativos de *iSpeed* ($F_{4,196} = 5.7619, p < .001$) em *dSigma* com um eta quadrado parcial (η_p^2) de 0.0283 (Figura 19). Testes post-hoc de *iSpeed* revelaram diferenças significativas entre velocidades de 0 km/h a 80 km/h, 40 km/h a 80 km/h e 60 km/h a 80 km/h. Neste caso, os valores de sigma não apresentaram um comportamento ascendente como na cena de Marte, no entanto, o maior sigma também foi obtido com uma velocidade maior.

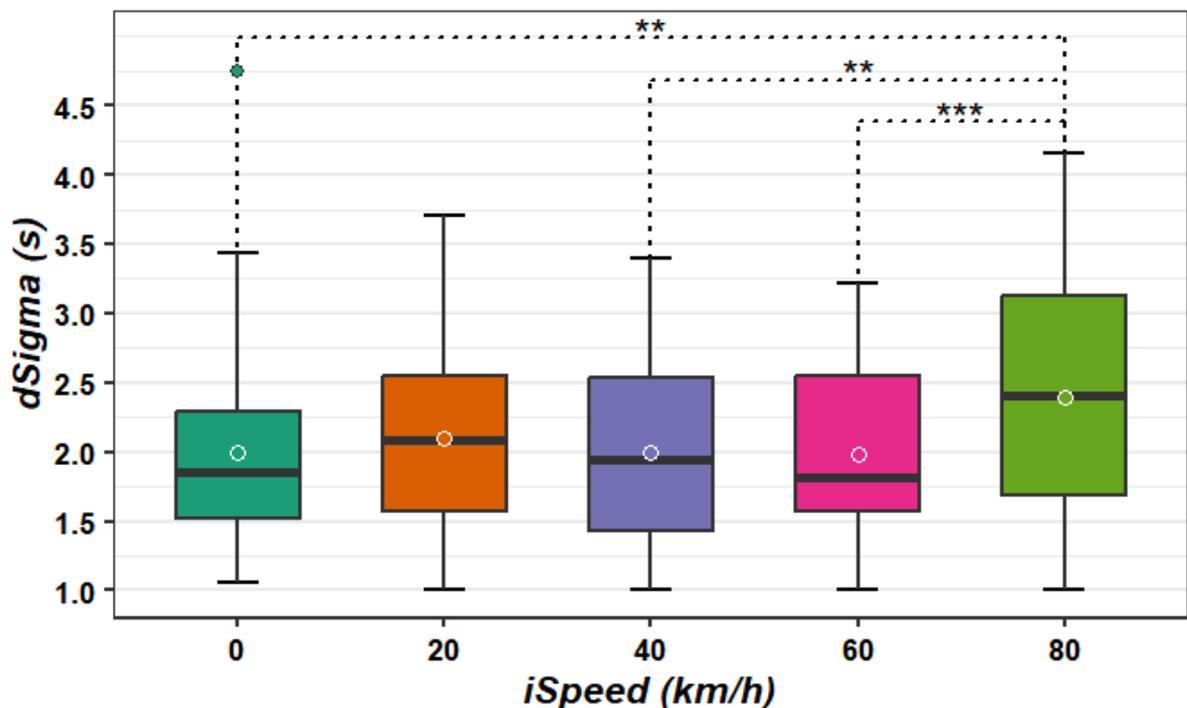


Figura 19: Foi observada uma interação significativa entre *iGender* \times *iSpeed* ($F_{4,192} = 4,26793, p < 0,01$). Testes post-hoc revelaram diferenças significativas de velocidade entre os gêneros, incluindo velocidades que variaram de 0 km/h a 20 km/h e de 0 km/h a 40 km/h. A Figura 20 mostra que para velocidades mais altas, homens e mulheres apresentaram percepções semelhantes dos valores de σ .

Isso significa que a velocidade do movimento do usuário teve um efeito significativo

Tabela 6: Estatística Descritiva Túnel

Velocidade	Estatística	Valores	Erro Padrão
0 Km/h	Média	1,99	0,10
	Mediana	1,85	
	Variância	0,48	
	Desvio Padrão	0,69	
	Mínimo	1,05	
	Máximo	4,75	
	Intervalo	3,70	
	Intervalo interquartil	0,83	
	Assimetria	1,58	0,34
	Curtose	4,11	0,66
20 Km/h	Média	2,10	0,09
	Mediana	2,08	
	Variância	0,41	
	Desvio Padrão	0,64	
	Mínimo	1,00	
	Máximo	3,70	
	Intervalo	2,70	
	Intervalo interquartil	1,01	
	Assimetria	0,40	0,34
	Curtose	-0,50	0,66
40 Km/h	Média	2,00	0,09
	Mediana	1,95	
	Variância	0,40	
	Desvio Padrão	0,63	
	Mínimo	1,00	
	Máximo	3,40	
	Intervalo	2,40	
	Intervalo interquartil	1,13	
	Assimetria	0,24	0,34
	Curtose	-0,91	0,66
60 Km/h	Média	1,99	0,09
	Mediana	1,81	
	Variância	0,42	
	Desvio Padrão	0,65	
	Mínimo	1,00	
	Máximo	3,21	
	Intervalo	2,21	
	Intervalo interquartil	1,01	
	Assimetria	0,42	0,34
	Curtose	-0,86	0,66
80 Km/h	Média	2,40	0,12
	Mediana	2,40	
	Variância	0,70	
	Desvio Padrão	0,84	
	Mínimo	1,00	
	Máximo	4,16	
	Intervalo	3,16	
	Intervalo interquartil	1,48	
	Assimetria	0,03	0,34
	Curtose	-0,99	0,66

na percepção de artefatos visuais, medida pelo desvio padrão $dSigma$. Testes post-hoc revelaram diferenças significativas em $dSigma$ entre diferentes faixas de velocidade. Ao contrário do que foi observado na cena de Marte, neste caso, não houve um padrão claro de aumento nos valores de sigma com o aumento da velocidade. No entanto, observou-se que um sigma maior foi obtido em uma velocidade mais alta. Isso sugere que a relação entre velocidade e sensibilidade do usuário à percepção de artefatos visuais pode ser diferente dependendo do contexto e das condições do experimento, em cenas internas e externas.

Uma interação significativa foi observada entre $iGender \times iSpeed$ ($F_{4,192} = 4.26793, p < .01$) em $dSigma$ com um eta quadrado parcial (η_p^2) de 0.0294. Testes post-hoc revelaram diferenças significativas de velocidade entre gêneros, incluindo velocidades que variaram de 0 km/h a 20 km/h e de 0 km/h a 40 km/h. A Figura 20 mostra que para velocidades mais altas, homens e mulheres apresentaram percepções semelhantes dos valores de σ .

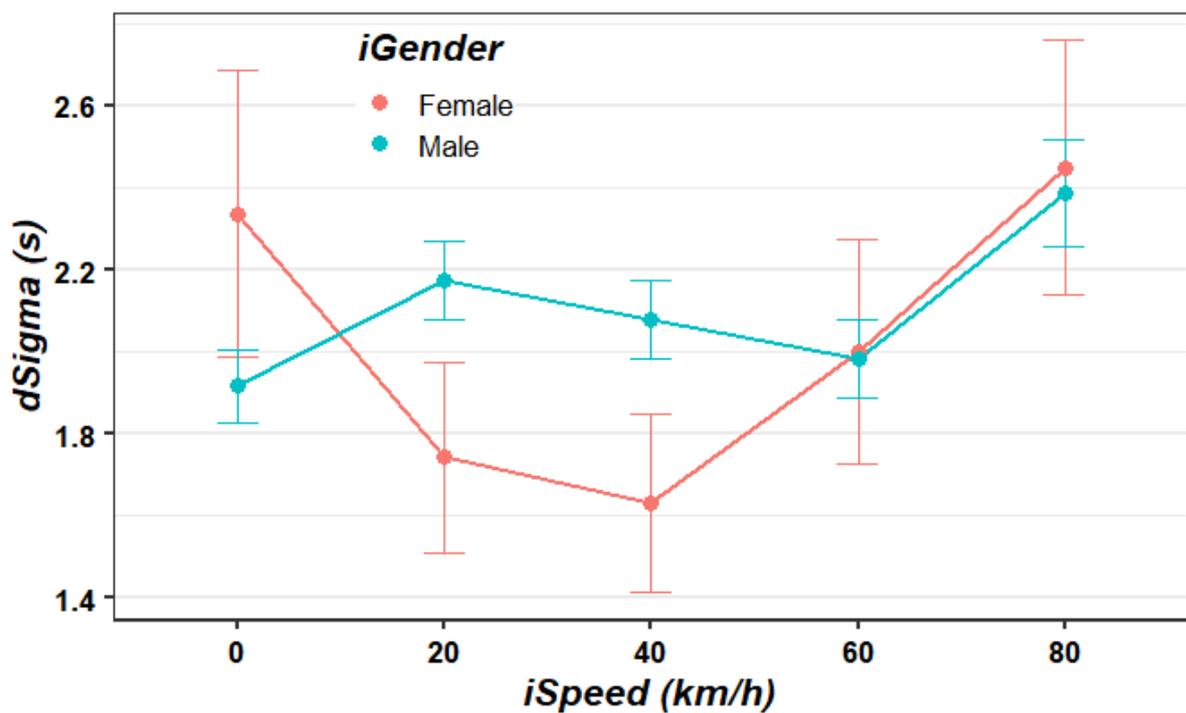


Figura 20: Os participantes do sexo masculino e feminino apresentaram percepções semelhantes dos valores de σ para velocidades mais altas.

Esse resultado mostra que a relação entre a velocidade de movimento e a percepção de artefatos visuais foi diferente entre homens e mulheres em baixas velocidades, o que significa que em baixas velocidades de movimento, homens e mulheres podem perceber artefatos visuais de maneiras diferentes. No entanto, à medida que a velocidade aumenta, a diferença entre as percepções de homens e mulheres diminui e se torna mais semelhante.

Essas informações podem ser relevantes para o design de experiências em ambientes virtuais, pois podem ajudar os desenvolvedores a considerar o gênero do usuário como um fator importante na criação de experiências mais imersivas e agradáveis para todos os usuários.

Não foi observada nenhuma interação significativa entre $iExperience \times iSpeed$ e $iVisionImpairment \times iSpeed$. Isso significa que, no contexto da cena do túnel, as diferenças na experiência dos participantes e problemas de visão não tiveram impacto significativo na relação entre a velocidade e as percepções dos artefatos visuais avaliados.

7 Conclusão

Obter gráficos fotorrealistas em realidade virtual (RV) e tempo real depende muito das capacidades de hardware para renderizar imagens de alta qualidade, bem como de técnicas que diminuam a carga computacional associada a essas imagens. O FR surge como uma solução promissora no contexto dos dispositivos HMD para abordar esses objetivos.

A FR aproveita as características inerentes do sistema visual humano, especificamente a distribuição desigual de fotorreceptores na fóvea e na periferia, renderizando imagens com resoluções variadas nessas regiões.

Pesquisas anteriores demonstraram que a retina periférica apresenta acuidade visual aprimorada para alvos em movimento lento em comparação com alvos em movimento rápido (BROWN, 1972). Essa observação sugere que a FR pode ser ajustada dinamicamente durante o movimento do usuário dentro de espaços virtuais para introduzir degradação controlada na periferia sem comprometer a experiência geral do usuário.

Os resultados deste estudo revelam uma correlação significativa entre a velocidade do movimento e os valores correspondentes de sigma, tanto em cenas abertas quanto em cenários próximos. Notavelmente, o estado de repouso apresentou o menor sigma médio, enquanto os maiores valores de sigma foram observados durante estados de velocidade mais alta.

Esses resultados indicam que os usuários percebem menos degradação em velocidades mais altas. No entanto, deve-se observar que nossa exploração não ultrapassou o limite máximo de sigma definido pelo framework RMFR, que é de 2.6. Essa limitação decorre de possíveis interações com outros parâmetros da RMFR, e vale ressaltar que os valores ótimos de f_x e f_y podem variar dependendo das características específicas da cena (YE et al., 2022).

Como resultado da pesquisa conduzida na dissertação, tivemos a honra de ter um artigo intitulado "Is Foveated Rendering Perception Affected by Users' Motion?" aprovado para apresentação no ISMAR (IEEE International Symposium on Mixed and Augmen-

ted Reality). Este reconhecimento é um indicativo da relevância e contribuição para o campo da realidade mista e aumentada, demonstrando a importância de investigar como o movimento dos usuários pode afetar a percepção de FR.

7.1 Trabalhos Futuros

Os resultados obtidos neste estudo abrem caminhos para investigações adicionais sobre fatores ambientais que podem influenciar a percepção visual e podem ser explorados para aplicativos inovadores de FR. A análise de fatores como variação de contraste, configurações de brilho, configurações de latência e o impacto do path-tracing em tempo real dentro de uma cena podem fornecer informações valiosas para otimizar a compressão da FR e conservar recursos computacionais.

A exploração de fatores ambientais adicionais vai além das correções de cor e engloba a utilização de novas cenas com diferentes percepções de velocidade. Embora nosso estudo tenha apresentado uma cena interna e uma cena externa, nenhuma das cenas era particularmente complexa e ambas careciam de outros elementos em movimento além do movimento do usuário em uma perspectiva em primeira pessoa. A introdução de objetos dinâmicos em proximidade mais próxima ao usuário dentro de uma cena mais ampla, que induza uma sensação mais lenta de movimento em altas velocidades, pode influenciar a percepção do usuário, exigindo ajustes no raio ou intensidade da região periférica.

Além disso, planejamos investigar o impacto da atenção do usuário na FR durante o movimento. É compreendido que direcionar a atenção para tarefas específicas dentro da região foveal diminui o desempenho em tarefas periféricas (ADAMS, 1976). Portanto, é concebível que possamos aumentar os parâmetros da FR enquanto os usuários estão envolvidos em tarefas que demandam atenção. Validar essa hipótese pode ter um valor particularmente relevante no campo da mídia interativa em RV, onde a entrada do usuário é solicitada.

Embora nosso estudo tenha se concentrado principalmente na FR com Mapeamento Retangular (RMFR), explorar a relação entre os parâmetros da RMFR e a velocidade do usuário pode abrir portas para investigar modelos alternativos de renderização foveada. Replicar o experimento com outras técnicas de FR, como queda hiperbólica (GUENTER et al., 2012), queda linear (WEIER et al., 2018), Visual-Polar foveated path tracing (KOSKELA et al., 2019) e queda log-polar com funções de kernel (MENG; DU; ZWICKER et al., 2018), pode aprofundar nossa compreensão da manipulação de técnicas de FR sem

comprometer a percepção do usuário. Seria particularmente intrigante combinar os resultados deste estudo com a Renderização Foveada Consciente de Luminância e Contraste (TURSUN *et al.*, 2019b) para explorar se a foveação sensível ao conteúdo proposta nesse trabalho aprimora nossas descobertas.

Como parte de trabalhos futuros, nosso objetivo é incorporar nossos resultados em um cenário de renderização baseada em path-tracing, utilizando os valores de parâmetros determinados para otimizar os cálculos de raios com base na velocidade do usuário. Isso pode ser especialmente útil quando filtros de desfoque de movimento são necessários, pois abordagens tradicionais de path-tracing exigem o cálculo de mais amostras por pixel.

Por fim, é importante observar que nossos experimentos com usuários foram conduzidos sem rastreamento ocular devido a limitações de hardware. No entanto, acreditamos que essa limitação não impacta significativamente nossas descobertas, pois o movimento da região foveal pode ser facilmente implementado sem tecnologia de rastreamento ocular.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, Randall William. Peripheral vision and visual attention. en, 1976.
- BATES, Douglas et al. Fitting linear mixed-effects models using lme4. English. **Journal of Statistical Software**, American Statistical Association, v. 67, n. 1, 2015. Cited by: 37248; All Open Access, Gold Open Access, Green Open Access. ISSN 15487660. DOI: [10.18637/jss.v067.i01](https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01). Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84943645306&doi=10.18637%2fjss.v067.i01&partnerID=40&md5=4d9bb7b70f27f3fc5078ee1a34ff386d>.
- BROWN, Brian. Resolution thresholds for moving targets at the fovea and in the peripheral retina. **Vision research**, Elsevier, v. 12, n. 2, p. 293–304, 1972.
- CAPUTO, Ariel et al. Real vs Simulated Foveated Rendering to Reduce Visual Discomfort in Virtual Reality. In: SPRINGER. IFIP Conference on Human-Computer Interaction. [S. l.: s. n.], 2021. P. 177–185.
- CHENG, Dwen et al. Design and manufacture AR head-mounted displays: A review and outlook. en. **Light: Advanced Manufacturing**, v. 2, n. 3, p. 336, 2021. ISSN 2689-9620. DOI: [10.37188/lam.2021.024](https://doi.org/10.37188/lam.2021.024). Disponível em: <https://www.light-am.com/article/doi/10.37188/lam.2021.024>. Acesso em: 31 jan. 2023.
- CHOI, Lark Kwon; CORMACK, Lawrence K.; BOVIK, Alan C. Eccentricity Effect of Motion Silencing on Naturalistic Videos. In: 2015 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing. [S. l.]: IEEE, 2015. P. 1190–1194. Disponível em: http://live.ece.utexas.edu/publications/2015/LarkKwonChoi_GlobalSIP_2015_Eccentricity_effect_of_motion_silencing_on_naturalistic_videos.pdf.
- COMPARE all VR Headsets - VRcompare. [S. l.: s. n.]. <https://www.vr-compare.com/vr>. Accessed: 2023-05-24.
- DAVIES, Chris. **This XR2 headset design is key to Qualcomm’s vision of 5G mixed reality**. [S. l.]: SlashGear, fev. 2020. Disponível em: <https://www.slashgear.com/qualcomm-snapdragon-xr2-headset-reference-design-mixed-reality-5g-wigig-25611183/>.

- DIX, Alan et al. **Human-computer interaction**. [S. l.]: Pearson Education, 2003.
- ELKIN, L.A. et al. An Aligned Rank Transform Procedure for Multifactor Contrast Tests. English. In: p. 754–768. cited By 51. ISBN 9781450386357. DOI: [10.1145/3472749.3474784](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85116330005&doi=10.1145%2f3472749.3474784&partnerID=40&md5=e1ca2a93e6ce0196083eaec4bc0bf241). Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85116330005&doi=10.1145%2f3472749.3474784&partnerID=40&md5=e1ca2a93e6ce0196083eaec4bc0bf241>>.
- GUENTER, Brian et al. Foveated 3D graphics. **ACM Transactions on Graphics (TOG)**, ACM New York, NY, USA, v. 31, n. 6, p. 1–10, 2012.
- HSU, Chih-Fan et al. Is foveated rendering perceivable in virtual reality? Exploring the efficiency and consistency of quality assessment methods. In: PROCEEDINGS of the 25th ACM international conference on multimedia. [S. l.: s. n.], 2017. P. 55–63.
- JABBIREDDY, Susmija et al. Foveated rendering: Motivation, taxonomy, and research directions. **arXiv preprint arXiv:2205.04529**, 2022.
- KELLER, Alexander et al. The path tracing revolution in the movie industry. In: ACM SIGGRAPH 2015 Courses. [S. l.: s. n.], 2015. P. 1–7.
- KOSKELA, Matias et al. Foveated Real-Time Path Tracing in Visual-Polar Space. en. In: THE EUROGRAPHICS ASSOCIATION. PROCEEDINGS of 30th Eurographics Symposium on Rendering. [S. l.: s. n.], 2019.
- LEVOY, Marc; WHITAKER, Ross. Gaze-directed volume rendering. In: PROCEEDINGS of the 1990 symposium on interactive 3d graphics. [S. l.: s. n.], 1990. P. 217–223.
- LIN, Fang-Cheng et al. SNR analysis of high-frequency steady-state visual evoked potentials from the foveal and extrafoveal regions of human retina. In: IEEE. 2012 Annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society. [S. l.: s. n.], 2012. P. 1810–1814.
- MENG, Xiaoxu; DU, Ruofei; VARSHNEY, Amitabh. Eye-dominance-guided Foveated Rendering. en. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 26, n. 5, p. 1972–1980, mai. 2020. ISSN 1077-2626, 1941-0506, 2160-9306. DOI: [10.1109/TVCG.2020.2973442](https://ieeexplore.ieee.org/document/9005240/). Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9005240/>>. Acesso em: 31 dez. 2022.
- MENG, Xiaoxu; DU, Ruofei; ZWICKER, Matthias et al. Kernel foveated rendering. **Proceedings of the ACM on Computer Graphics and Interactive Techniques**, ACM New York, NY, USA, v. 1, n. 1, p. 1–20, 2018.

- MOHANTO, Bipul et al. An integrative view of foveated rendering. **Computers & Graphics**, Elsevier, v. 102, p. 474–501, 2022.
- MUÑOZ, Lilia; MAZÓN, Jose-Norberto; TRUJILLO, Juan. Automatic generation of ETL processes from conceptual models. In: PROCEEDINGS of the ACM twelfth international workshop on Data warehousing and OLAP. [S. l.: s. n.], 2009. P. 33–40.
- NAVARRO, Fernando; SERÓN, Francisco J; GUTIERREZ, Diego. Motion blur rendering: State of the art. In: WILEY ONLINE LIBRARY, 1. COMPUTER Graphics Forum. [S. l.: s. n.], 2011. v. 30, p. 3–26.
- OCULUS. **Save GPU with Eye-Tracked Foveated Rendering**. Available at: <https://developer.oculus.com/blog/save-gpu-with-eye-tracked-foveated-rendering/>. Mai. 2019. Disponível em: <<https://developer.oculus.com/blog/save-gpu-with-eye-tracked-foveated-rendering/>>.
- PATNEY, Anjul et al. Towards foveated rendering for gaze-tracked virtual reality. **ACM Transactions on Graphics (TOG)**, ACM New York, NY, USA, v. 35, n. 6, p. 1–12, 2016.
- PETRESCU, David et al. Velocity-Based LOD Reduction in Virtual Reality: A Psychophysical Approach. The Eurographics Association, 2023.
- PORCINO, Thiago et al. Using the gameplay and user data to predict and identify causes of cybersickness manifestation in virtual reality games. In: IEEE. 2020 IEEE 8th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH). [S. l.: s. n.], 2020. P. 1–8.
- REDDY, Martin. Perceptually optimized 3D graphics. **IEEE computer Graphics and Applications**, IEEE, v. 21, n. 5, p. 68–75, 2001.
- SHI, Xuehuai et al. Locomotion-aware Foveated Rendering. In: IEEE. 2023 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR). [S. l.: s. n.], 2023. P. 471–481.
- SPJUT, Josef; BOUDAUD, Ben. Foveated displays: toward classification of the emerging field. en. In: ACM SIGGRAPH 2019 Talks. Los Angeles California: ACM, jul. 2019. P. 1–2. ISBN 978-1-4503-6317-4. DOI: [10.1145/3306307.3328145](https://doi.org/10.1145/3306307.3328145). Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3306307.3328145>>. Acesso em: 31 dez. 2022.
- SUCHOW, Jordan W; ALVAREZ, George A. Background motion silences awareness of foreground change. In: ACM SIGGRAPH 2011 Posters. [S. l.: s. n.], 2011. P. 1–1.
- _____. Motion silences awareness of visual change. **Current Biology**, Elsevier, v. 21, n. 2, p. 140–143, 2011.

- SWAFFORD, Nicholas T. et al. User, metric, and computational evaluation of foveated rendering methods. en. In: PROCEEDINGS of the ACM Symposium on Applied Perception. Anaheim California: ACM, jul. 2016. P. 7–14. ISBN 978-1-4503-4383-1. DOI: [10.1145/2931002.2931011](https://doi.org/10.1145/2931002.2931011). Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2931002.2931011>. Acesso em: 20 abr. 2022.
- TURSUN, Okan Tarhan et al. Luminance-contrast-aware foveated rendering. en. **ACM Transactions on Graphics**, v. 38, n. 4, p. 1–14, ago. 2019. ISSN 0730-0301, 1557-7368. DOI: [10.1145/3306346.3322985](https://doi.org/10.1145/3306346.3322985). Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3306346.3322985>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- _____. _____. **ACM Transactions on Graphics**, Association for Computing Machinery, v. 38, n. 4, p. 1–14, 2019.
- UNITY Real-Time Development Platform | 3D, 2D, VR AR Engine. [S. l.: s. n.]. <https://unity.com/>. Accessed: 2022-12-01.
- WALTON, David R; DOS ANJOS, Rafael Kuffner et al. Beyond blur: Real-time ventral metamers for foveated rendering. **ACM Transactions on Graphics**, Association for Computing Machinery (ACM), v. 40, n. 4, p. 1–14, 2021.
- WALTON, David R; KAVAKLI, Koray et al. Metameric varifocal holograms. In: IEEE. 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR). [S. l.: s. n.], 2022. P. 746–755.
- WANG, Lili; SHI, Xuehuai; LIU, Yi. Foveated Rendering: a State-of-the-Art Survey. **arXiv preprint arXiv:2211.07969**, 2022.
- _____. **Foveated Rendering: a State-of-the-Art Survey**. [S. l.]: arXiv, 2022. Acesso em: 27 dez. 2022.
- WEIER, Martin et al. Foveated depth-of-field filtering in head-mounted displays. **ACM Transactions on Applied Perception (TAP)**, ACM New York, NY, USA, v. 15, n. 4, p. 1–14, 2018.
- WOBBROCK, Jacob O. et al. The Aligned Rank Transform for nonparametric factorial analyses using only ANOVA procedures. English. In: p. 143–146. Cited by: 1112; All Open Access, Green Open Access. ISBN 978-145030228-9. DOI: [10.1145/1978942.1978963](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79958126664&doi=10.1145/2f1978942.1978963&partnerID=40&md5=39cf422c83d63e3f4a7c076aa7da1fb8). Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79958126664&doi=10.1145/2f1978942.1978963&partnerID=40&md5=39cf422c83d63e3f4a7c076aa7da1fb8>.

YE, Jiannan. **Rectangular-Mapping-based-Foveated-Rendering**. [S. l.: s. n.], abr. 2022. original-date: 2022-02-11T07:56:42Z. Disponível em: <<https://github.com/Bob-Yeah/Rectangular-Mapping-based-Foveated-Rendering>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

YE, Jiannan et al. Rectangular Mapping-based Foveated Rendering. In: IEEE. 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR). [S. l.: s. n.], 2022. P. 756–764.

APÊNDICE A - Implementação R

```

Mars.R
C:\Users\thallys.simoes\Desktop\pastafovea > Mars.R
1 # Install and load packages
2 #####
3
4 if(!require(pacman)) install.packages("pacman");
5 library(pacman);
6
7 pacman::p_load(readxl,
8                 rstatix,
9                 dplyr,
10                ARTool,
11                ggplot2,
12                RColorBrewer,
13                colorBlindness,
14                ggsignif,
15                gridExtra,
16                scales
17                );
18
19 # Path datasets
20 setwd("/Users/thallys.simoes/Desktop/pastafovea")
21
22
23 #####
24 # Mars Scene:
25 data_mars <- read_excel("mars_dataset.xlsx", sheet=1, col_names=TRUE);
26 data_mars$Participant=factor(data_mars$Participant)
27 data_mars$iGender = factor(data_mars$iGender)
28 data_mars$iSpeed = factor(data_mars$iSpeed, levels=c(0,50,100,150,200))
29 data_mars$iExperience = factor(data_mars$iExperience, levels=c("No", "Yes"))
30 data_mars$iVisionImpairment = factor(data_mars$iVisionImpairment)
31 summary(data_mars)
32 glimpse(data_mars)
33
34
35 # Check for extreme outliers:
36 boxplot(data_mars$dSigma ~ data_mars$iSpeed)
37 data_mars %>% identify_outliers(dSigma)
38
39 }identify_outliers()
40
41
42 boxplot(data_mars$dSigma ~ data_mars$iSpeed:data_mars$iExperience)
43 data_mars %>% group_by(iSpeed, iExperience) %>% identify_outliers(dSigma)
44
45 boxplot(data_mars$dSigma ~ data_mars$iVisionImpairment:data_mars$iSpeed)
46 data_mars %>% group_by(iSpeed, iVisionImpairment) %>% identify_outliers(dSigma)
47
48 boxplot(data_mars$dSigma ~ data_mars$iGender:data_mars$iSpeed)
49 data_mars %>% group_by(iSpeed, iGender) %>% identify_outliers(dSigma)

```

Figura 21: Parte 1 - Código R foi desenvolvido especificamente para realizar cálculos estatísticos na cena de Marte e replicados para a cena do Túnel

```

51
52 # Remove extreme outliers:
53 # Note: Tests were performed with and without extreme outliers.
54 data_mars <- data_mars %>% filter(Participant != c("P23","P44"));
55 summary(data_mars);
56 glimpse(data_mars);
57
58
59 # Performs the Shapiro-Wilk test of normality.
60 shapiro.test(data_mars$dSigma);
61 data_mars %>% group_by(iSpeed, iGender) %>% shapiro_test(dSigma)
62 data_mars %>% group_by(iSpeed, iExperience) %>% shapiro_test(dSigma)
63 data_mars %>% group_by(iSpeed, iVisionImpairment) %>% shapiro_test(dSigma)
64
65
66 # Computes Levene's test for homogeneity of variance
67 leveneTest(dSigma ~ iSpeed, data_mars, center=mean)
68 leveneTest(dSigma ~ iSpeed * iGender, data_mars, center=mean)
69 leveneTest(dSigma ~ iSpeed * iExperience, data_mars, center=mean)
70 leveneTest(dSigma ~ iSpeed * iVisionImpairment, data_mars, center=mean)
71
72
73
74 # Analysis of Variance of Aligned Rank Transformed Data:
75 # Model: Mixed Effects (lmer)
76 # Response: art(dSigma)
77 m = art(dSigma ~ iExperience * iSpeed + (1|Participant), data=data_mars);
78 anova(m);
79
80
81 # Posthoc:
82 art.con(m, "iSpeed", adjust="tukey") %>% #, interaction = TRUE) %>% #"tukey", "holm", "hochberg", "hommel", "bonferroni", "BH", "BY", "fdr", and "none"
83 summary() %>% # add significance stars to the output
84 mutate(sig. = symnum(p.value, corr=FALSE, na=FALSE,
85                      cutpoints = c(0, .001, .01, .05, .10, 1),
86                      symbols = c("****", "***", "**", ".", " ")))
87
88 # Posthoc - dSigma X iSpeed X iExperience
89 art.con(m, "iExperience", adjust="tukey") %>% #, interaction = TRUE) %>%
90 summary() %>% # add significance stars to the output
91 mutate(sig. = symnum(p.value, corr=FALSE, na=FALSE,
92                      cutpoints = c(0, .001, .01, .05, .10, 1),
93                      symbols = c("****", "***", "**", ".", " ")))
94
95 # Posthoc - dSigma X iSpeed X iExperience
96 art.con(m, "iExperience:iSpeed", adjust="tukey") %>% #, interaction = TRUE) %>%
97 summary() %>% # add significance stars to the output
98 mutate(sig. = symnum(p.value, corr=FALSE, na=FALSE,
99                      cutpoints = c(0, .001, .01, .05, .10, 1),

```

Figura 22: Parte 2 - Código R foi desenvolvido especificamente para realizar cálculos estatísticos em ambas as cenas

```
101
102
103
104 # Analysis of Variance of Aligned Rank Transformed Data:
105 # Model: Mixed Effects (lmer)
106 # Response: art(dSigma)
107 # dSigma X iSpeed X iVisionImpairment
108 m = art(dSigma ~ iVisionImpairment * iSpeed + (1|Participant), data=data_mars);
109 anova(m);
110
111 # Posthoc - dSigma X iSpeed X iVisionImpairment
112 art.con(m, "iSpeed", adjust="tukey") %>%#, interaction = TRUE) %>%
113 summary() %>% # add significance stars to the output
114 mutate(sig. = symnum(p.value, corr=FALSE, na=FALSE,
115                      cutpoints = c(0, .001, .01, .05, .10, 1),
116                      symbols = c("****", "***", "**", ".", " ")))
117
118
119 # Analysis of Variance of Aligned Rank Transformed Data:
120 # Model: Mixed Effects (lmer)
121 # Response: art(dSigma)
122 # dSigma X iSpeed X iGender
123 m = art(dSigma ~ iGender * iSpeed + (1|Participant), data=data_mars);
124 anova(m)
125
126
127 # Posthoc - dSigma X iSpeed X iGender
128 art.con(m, "iGender:iSpeed", adjust="tukey") %>%
129 summary() %>% # add significance stars to the output
130 mutate(sig. = symnum(p.value, corr=FALSE, na=FALSE,
131                      cutpoints = c(0, .001, .01, .05, .10, 1),
132                      symbols = c("****", "***", "**", ".", " ")))
133
```

Figura 23: Parte 3 - Código R foi desenvolvido especificamente para realizar cálculos estatísticos na de Marte e replicados para o Túnel

APÊNDICE B - Roteiro de Uso



ROTEIRO DE USO

¹ Bom dia/Boa tarde/Boa noite. Obrigado por comparecer ao experimento de Thállys Lisboa e Horácio Macêdo sobre alteração de parâmetros de foveação mediante movimento em cenários com realidade virtual. Vou pedir para você colocar os óculos de realidade virtual, é preferível que ele fique bem ajustado à sua cabeça, na sua linha de visão, uma vez que você vai precisar de pelo menos uma das mãos livres.

Para explicar o experimento, vou rodar uma cena de demonstração. Você, neste momento, deve estar vendo (primeira cena). Ao longo do experimento, eu vou pedir que você aperte (o botão) no controle para sinalizar que você está percebendo a tela começando a sofrer este tipo de degradação. **(liga a técnica)**. Este é um caso extremo do que estamos querendo experimentar. Idealmente, você vai perceber bem antes de chegar neste estado.

Mais uma coisa. Nós pediremos para que você foque sua visão no centro da tela e evite desviar a cabeça da direção do movimento. Qualquer mal estar, você avise que a gente cessa o experimento imediatamente. Contagem regressiva de cinco segundos para o começo do experimento. Quatro. Três. Dois. Um.

(passa a cena)

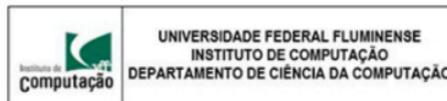
Este é o fim da cena de (cena). Você está se sentindo bem?

Eu vou rodar uma demonstração da (segunda cena), tal como eu fiz com (primeira cena). Esta é a (segunda cena) com a resolução completa, e esta é a cena degradada. Mesma coisa da primeira vez, sinalize apertando o botão do controle quando sentir a tela ficando desta forma.

Contagem regressiva de cinco segundos para o começo do experimento. Quatro. Três. Dois. Um.

Figura 24: Roteiro utilizado nos Testes

APÊNDICE C - TCLE



O(A) Sr.(ª) está sendo convidado(a) a participar do projeto de pesquisa **Combinação de Foveated Rendering com Motion Blur em Ambiente de Realidade Virtual** de responsabilidade do pesquisador **THALLYS LISBOA SIMÕES**. A sua participação é voluntária e que este consentimento poderá ser retirado a qualquer tempo, sem prejuízos à continuidade do tratamento (se for o caso) ou qualquer outra penalização.

A sessão consistirá no uso de um HMD e um Notebook. Segundo estudos algumas pessoas podem sentir desconforto durante experiências com realidade virtual, como enjoo, dor nos olhos e tontura. Ao realizar este experimento **você declara que é maior de 18 anos e de estar ciente que poderá sentir um ou mais sintomas de desconforto causados pelo uso de equipamentos de realidade virtual.**

A equipe envolvida no estudo é composta por dois estudantes de mestrado(Thallys Lisboa e Horácio Brescia), e os professores responsáveis (Dr. Esteban W. Clua e Dra. Daniela G. Trevisan) e da participação do Dr. Thiago Malheiros

Agradecemos vossa participação e colaboração.

Os Comitês de Ética em Pesquisa (CEPs) são compostos por pessoas que trabalham para que todos os projetos de pesquisa envolvendo seres humanos sejam aprovados de acordo com as normas éticas elaboradas pelo Ministério da Saúde. A avaliação dos CEPs leva em consideração os benefícios e riscos, procurando minimizá-los e busca garantir que os participantes tenham acesso a todos os direitos assegurados pelas agências regulatórias. Assim, os CEPs procuram defender a dignidade e os interesses dos participantes, incentivando sua autonomia e participação voluntária. Procure saber se este projeto foi aprovado pelo CEP desta instituição. Em caso de dúvidas, ou querendo outras informações, entre em contato com o Comitê de Ética da Faculdade de Medicina da Universidade Federal Fluminense (CEP FM/UFF), por e-mail ou telefone, de segunda à sexta, das 08:00 às 17:00 horas: e-mail: etica@vm.uff.br Tel/fax: (21) 26299189

Eu, _____,

declaro ter sido informado e concordo em ser participante, do projeto de pesquisa acima descrito.

Rio de Janeiro, ____ de Novembro de 2022

SEU E-MAIL _____.

(nome e assinatura do participante ou responsável legal)

Figura 25: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido