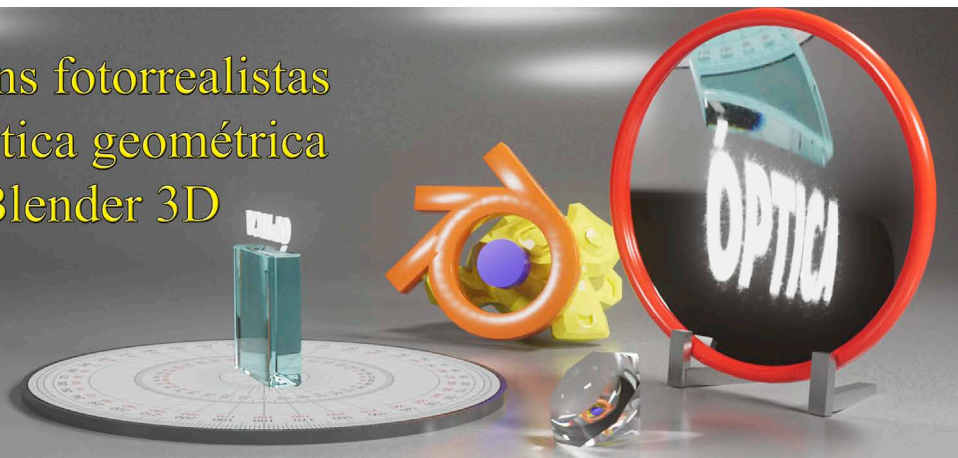


Produção de imagens fotorrealistas para o ensino de óptica geométrica utilizando o Blender 3D



Jackson Martins de Souza^{1#} 

¹Laboratório de Física, Instituto Federal do Amazonas, Campus São Gabriel da Cachoeira, São Gabriel da Cachoeira, Amazonas, Brasil.

Palavras-chave

óptica geométrica
Blender 3D
simulação
fotorrealismo

Resumo

Os avanços tecnológicos têm transformado o ensino, ampliando o acesso a recursos digitais e redefinindo a maneira como o conhecimento é transmitido. Nesse cenário, destaca-se o Blender, software de código aberto lançado há cerca de 30 anos, que possibilita modelagem e animação 3D, além de simulações físicas aplicáveis à educação. Associados a ele, os motores de renderização Cycles e LuxCoreRender, também gratuitos e de código aberto, permitem criar imagens fotorrealistas, capazes de representar com precisão fenômenos ópticos. Embora essas ferramentas sejam amplamente utilizadas em artes visuais e entretenimento, este trabalho investiga seu uso na produção de imagens voltadas ao ensino de óptica geométrica, explorando seu potencial didático para a física. A proposta é analisar como tais recursos podem gerar representações visuais detalhadas e acessíveis, facilitando a compreensão de conceitos abstratos e complexos para os estudantes. Além disso, avalia-se a integração dessas imagens em materiais didáticos, considerando a facilidade de acesso às plataformas e a possibilidade de professores replicarem os conteúdos. Desse modo, o Blender e seus renderizadores configuram-se como alternativas viáveis e envolventes para enriquecer o ensino de física, unindo tecnologia, acessibilidade e precisão científica.

1. Introdução

A visualização é um elemento crucial no ensino de ciências, especialmente em disciplinas como óptica, onde muitos conceitos podem parecer abstratos para os estudantes. Imagine explicar a trajetória da luz através de um espelho ou como sombras e penumbras são formadas sem um recurso visual eficaz - é um desafio tanto

para o professor quanto para o aluno. Nesse contexto, imagens claras e precisas tornam-se ferra-

A visualização é um elemento crucial no ensino de ciências, especialmente em disciplinas como óptica, onde muitos conceitos podem parecer abstratos para os alunos

mentas poderosas para transformar o aprendizado em algo mais tangível e significativo [1].

Uma alternativa adotada pelos profissionais da educação para contornar essas dificuldades é o uso de plataformas de design gráfico, como o Canva, que permitem a criação de colagens e ilustra-

Autor de Correspondência. E-mail: jack.ms.fisica@gmail.com.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Copyright © 2025, Copyright by Sociedade Brasileira de Física. Printed in Brazil.

ções [2]. No entanto, a produção dessas imagens não é simples. A dificuldade de capturar em fotografias certos fenômenos, a indisponibilidade de equipamentos e os entraves relacionados aos direitos autorais tornam essa tarefa ainda mais complexa. Como alternativa, temos o Blender 3D, um software de código aberto inicialmente voltado para a criação artística e de entretenimento, mas que se destaca pela sua capacidade de simular de forma fotorrealista diversos fenômenos físicos.

Este trabalho investiga o potencial do Blender no ensino de óptica geométrica, focando em sua capacidade de produzir imagens que não apenas representem, mas também simulem a realidade de forma quase perfeita. Esse recurso pode ser integrado tanto em aulas quanto na produção de materiais didáticos, que podem ser desenvolvidos pelos próprios professores ou por outros profissionais da educação.

Dessa maneira, o software contribui para a criação de um ambiente de aprendizado enriquecido, no qual os estudantes podem visualizar experimentos e fenômenos que, de outra maneira, estariam fora de seu alcance. Assim, buscamos responder à seguinte questão: é possível transformar o Blender em uma ferramenta didática eficaz, capaz de potencializar o entendimento dos alunos sobre os conceitos de óptica geométrica?

Embora programas de modelagem e animação 3D sejam amplamente conhecidos por aplicações artísticas, o uso em contextos educacionais de física com rigor científico ainda é pouco documentado em periódicos indexados. Há estudos que reportam a aplicação do Blender e da impressão 3D no ensino de física no âmbito STEM, evidenciando seu potencial como ferramenta de visualização e prototipagem educacional [3], bem como trabalhos que apresentam o desenvolvimento de habilidades STEM na educação secundária por meio da modelagem 3D, enfatizando sua utilidade educativa em contextos práticos [4]. Esses exemplos ressaltam que, apesar do uso dessa ferramenta no ensino, ainda há uma lacuna quanto ao seu potencial, especificamente em óptica geométrica ou em simulações de luz fotorrealistas.

Portanto, o presente trabalho destaca-se ao propor um uso pioneiro do Blender fundamentado em princípios físicos para o ensino da óptica geométrica com fidelidade científica.

Entre as ferramentas amplamente utilizadas no ensino de óptica geométrica, destacam-se os simuladores interativos do projeto PhET e os recursos de modelagem matemática do GeoGebra, que possibilitam a manipulação de parâmetros ópticos em tempo real [5–7]. No entanto, tais ferramentas operam dentro de limites definidos: o PhET oferece experiências visuais pré-configuradas com pouca margem de edição, enquanto o GeoGebra, embora mais flexível matematicamente,

carece de uma representação visual rica e de mecanismos para construção de contextos tridimensionais fotorrealistas.

Já o Blender apresenta-se como uma ferramenta aberta e expansível, capaz de simular não apenas fenômenos físicos com base em algoritmos realistas de propagação da luz, mas também de permitir a criação de ambientes educacionais complexos, narrativas visuais imersivas e cenários contextualizados para diferentes públicos e objetivos didáticos. Essa versatilidade possibilita que o educador vá além da abstração geométrica, produzindo materiais visuais que representem os fenômenos em contextos próximos da realidade, favorecendo tanto o engajamento quanto a compreensão conceitual por parte dos alunos.

2. Renderização e ray tracing

A renderização é o processo no qual os softwares de modelagem convertem um projeto 3D em uma imagem ou vídeo, geralmente incorporando efeitos que não eram exibidos no projeto. Essa etapa é uma das mais exigentes em termos de processamento computacional, pois envolve a realização de cálculos complexos para simular fenômenos ópticos presentes na imagem ou vídeo final. Embora esse processo faça parte dos softwares de modelagem e animação 3D, o algoritmo responsável pelos cálculos das simulações ópticas, conhecido como renderizador ou motor de renderização, é muitas vezes uma extensão do programa, permitindo que o usuário escolha entre diferentes motores de renderização.

Atualmente, a maioria dos softwares de modelagem 3D possui renderizadores nativos capazes de produzir imagens de alta qualidade. Contudo, existe um mercado crescente de renderizadores externos que podem ser adicionados aos programas, oferecendo diferentes qualidades e velocidades de processamento. Na prática, a diferença entre eles está na metodologia utilizada, ou seja, na base do algoritmo que realiza as simulações.

Entre os muitos programas de modelagem e animação digital, o Blender destaca-se por ser gratuito, de código aberto e equipado com ferramentas tão robustas quanto as de programas comerciais. Ele conta com três renderizadores nativos: Workbench, Eevee e Cycles, cada um com características específicas para diferentes tipos de trabalho.

O renderizador Workbench é utilizado para criar esboços rápidos, sem simulação física do comportamento da luz, o que o torna mais simples e rápido no processo. As imagens geradas pelo Workbench são semelhantes à visualização básica do projeto, sem qualquer fenômeno físico associado.

O Eevee, por outro lado, é capaz de realizar cálculos simplificados de propagação e espalhamento da luz,

O software contribui para a criação de um ambiente de aprendizado enriquecido, no qual os estudantes podem visualizar experimentos e fenômenos

utilizando o método de rasterização. Esse método combina vários algoritmos que operam em paralelo para produzir diferentes efeitos e fenômenos físicos, compilando-os na imagem final. Embora as imagens geradas pelo Eevee contenham alguns fenômenos físicos, suas limitações [8] tornam-no inadequado para a produção de imagens fotorrealistas.

O motor de renderização Cycles, por sua vez, é capaz de gerar imagens extremamente realistas, embora isso demande um processamento mais intensivo, o que pode resultar em tempos de renderização mais longos, dependendo da capacidade do computador.

Nesta pesquisa, utilizamos também o LuxCoreRender, um renderizador externo gratuito disponível para o Blender. Em geral, renderizadores externos que podem ser acoplados aos programas de modelagem 3D são especializados em algum tipo de renderização. No caso do LuxCoreRender, trata-se de um motor voltado para o fotorrealismo [9]. Tanto o Cycles quanto o LuxCoreRender utilizam a técnica de *ray tracing*, cujo foco é uma representação realista da cena montada no programa. Essa técnica consiste em analisar o percurso dos raios emitidos pelos pixels da câmera do observador, que são refletidos pelo cenário até alcançar a fonte de luz, coletando informações de cada superfície encontrada e simulando o comportamento da luz ao interagir com esses objetos [10].

Do ponto de vista físico, a utilização do percurso inverso da luz, partindo da câmera até a fonte de luz, demonstra que os algoritmos de *ray tracing* estão alinhados com o princípio da reversibilidade dos raios de luz. Utilizar a câmera como ponto de partida para os raios que coletam informações sobre o comportamento da luz apresenta uma vantagem significativa, pois apenas a parcela de luz que realmente compõe a imagem no campo de visão do observador precisa ser calculada (Fig. 1). Se os raios fossem emitidos diretamente da fonte de luz, seria necessário calcular a emissão em todas as direções, sem saber quais raios efetivamente atingiriam os pixels da câmera para formar a imagem. Isso resultaria em muitos cálculos desnecessários, aumentando o tempo de renderização.

A Fig. 1 ilustra a lógica do traçado inverso de raios na técnica de *ray tracing*. As informações coletadas por esses raios definem o comportamento da luz nas simulações e estão diretamente associadas aos materiais aplicados aos objetos da cena. Na prática, ao criar um material, podemos definir diversas características, como cor, rugosidade, transparência, entre outras. No contexto da renderização, define-se material como o conjunto de propriedades ópticas e físicas atribuídas a uma superfície ou meio, que determinam como ela interage com a luz. Cada renderizador possui seu próprio sistema para criação desses materiais; contudo,

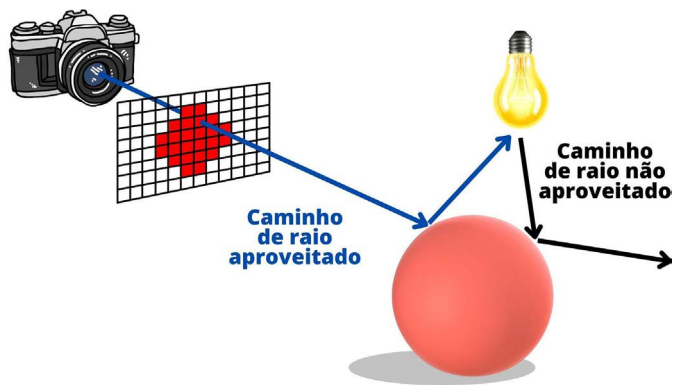


Figura 1 - Representação do princípio de reversibilidade da luz utilizando a técnica de *ray tracing*, evidenciando a diferença entre o traçado direto (da luz) e o inverso (da câmera).

devido à integração entre Eevee e Cycles no Blender, ambos utilizam o mesmo sistema, eliminando a necessidade de alterações ao alternar entre eles. Essa integração é particularmente relevante para este trabalho, pois relaciona-se diretamente com algumas limitações do Cycles, mesmo sendo um renderizador baseado em *ray tracing*.

Dependendo do sistema de materiais, é possível criar objetos difusos, reflexivos, transparentes, luminosos, entre outras variações. Na Fig. 2, são apresentados exemplos dessas variações visuais entre renderizadores. A combinação dos materiais e dos renderizadores resulta em diferentes imagens.

Devemos deixar claro que o método *ray tracing* diz respeito apenas à forma de coletar informações do cenário para processar a imagem final. No entanto, a maneira como essas informações serão utilizadas - ou quais delas serão coletadas - depende da composição

total do algoritmo. Em outras palavras, o uso da técnica *ray tracing* não garante, por si só, uma imagem fotorrealista. Existem versões simplificadas dessa técnica, conhecidas como *ray casting*, que são incapazes de calcular e simular fenômenos físicos como a reflexão ou a transparência dos objetos. O algoritmo do *ray tracing* tradicional é o que podemos chamar de

ray tracing recursivo [11], que pode ser implementado de diferentes maneiras, resultando nos diversos motores de renderização disponíveis atualmente.

3. Metodologia.

Para explorar o potencial do Blender como ferramenta de ensino de óptica geométrica, desenvolvemos uma metodologia que envolve diversas etapas: desde a modelagem de cenas 3D até a renderização e a validação dos resultados obtidos. A seguir, descrevemos cada etapa em detalhe para que o processo seja replicável por outros pesquisadores ou educadores interessados.

A utilização do percurso inverso da luz, partindo da câmera até a fonte de luz, demonstra que os algoritmos de ray tracing estão alinhados com o princípio da reversibilidade dos raios de luz

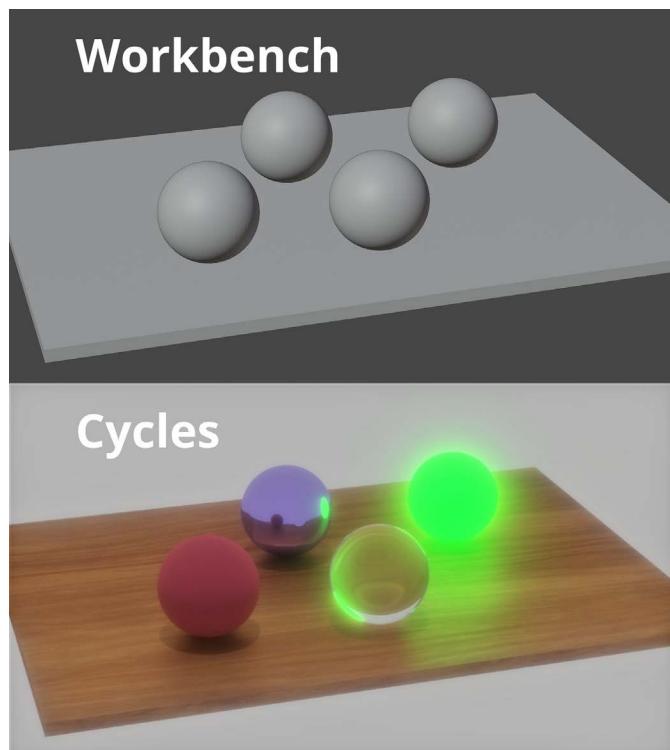


Figura 2 - Comparação entre dois motores de renderização do Blender: na parte superior, o Workbench, voltado para visualização rápida e sem simulação avançada de luz; na parte inferior, o Cycles, baseado em *ray tracing*, capaz de reproduzir efeitos ópticos como reflexos, transparência e emissão de luz, resultando em maior realismo.

3.1. Modelagem e configuração da cena

Inicialmente, utilizamos o Blender para criar modelos tridimensionais que simulam experimentos clássicos de óptica geométrica. Foram desenvolvidos objetos representando fontes de luz, espelhos, superfícies de diferentes materiais e anteparos para observação dos fenômenos. Para garantir a precisão científica, todas as medidas e parâmetros geométricos foram configurados de acordo com experimentos reais. As cenas foram organizadas de modo a facilitar a visualização dos princípios da óptica geométrica.

3.2. Escolha dos renderizadores

Motores de renderização são softwares ou algoritmos que transformam cenas tridimensionais em imagens bidimensionais, aplicando cálculos complexos para simular o comportamento da luz e de sombras, reflexões e refrações. Eles convertem os modelos 3D, juntamente com as configurações de luz e materiais, em imagens realistas ou estilizadas, dependendo do propósito. A renderização pode ser simples, apenas

Motores de renderização são softwares ou algoritmos que transformam cenas tridimensionais em imagens bidimensionais

para visualizações rápidas, ou extremamente detalhada, visando o fotorrealismo. No Blender, cada motor de renderização possui características específicas que afetam a qualidade e a velocidade do processamento das cenas.

Há três motores de renderização principais: Workbench, Eevee e Cycles. Além disso, utilizamos também o LuxCoreRender, um renderizador externo, porém gratuito, que pode ser incorporado ao Blender 3D. Cada um desses motores foi testado com a mesma cena para avaliar a capacidade de reprodução dos fenômenos ópticos. O motor Workbench foi utilizado apenas para visualizações preliminares e esboços. Para os experimentos focados em fotorrealismo, optamos pelo uso do Cycles e do LuxCoreRender, ambos utilizando a técnica de *ray tracing*.

3.3. Configuração dos materiais

Cada material utilizado nos objetos da cena foi configurado para replicar suas propriedades ópticas de maneira simplificada, considerando principalmente sua cor. Embora os materiais possam ser configurados com diferentes propriedades no Blender, como refração e absorção, esses aspectos não impactariam significativamente a investigação dos princípios da óptica geométrica neste estudo. O foco principal esteve na simulação dos fenômenos de reflexão e formação de sombras, que são essenciais para o entendimento dos conceitos abordados.

3.4. Renderização e dificuldades técnicas

Uma vez configurados a cena e os materiais, partimos para a etapa de renderização. Utilizamos os motores Cycles e LuxCoreRender para produzir imagens finais com alto grau de fotorrealismo. O processo foi configurado para simular a propagação da luz da forma mais realista possível, considerando fenômenos como reflexão especular, penumbra e dispersão da luz. Para cada cena, variamos parâmetros como a posição das fontes de luz, espelhos e objetos, a fim de observar como essas alterações impactavam o resultado.

Durante o processo de renderização, observamos que o tempo necessário para gerar cada imagem variou significativamente de acordo com o renderizador utilizado e a complexidade da cena. Enquanto o motor Cycles produziu resultados em tempo hábil para atividades educacionais simples - na escala de segundos -, o LuxCoreRender, embora mais preciso, apresentou tempos mais longos, podendo variar entre 1 e 3 minutos de processamento, especialmente em cenas com múltiplas fontes de luz e superfícies reflexivas. Esses tempos estão diretamente ligados à capacidade de processa-

mento do hardware utilizado (GPU NVIDIA 1050Ti), sendo necessário, no mínimo, um computador com placa gráfica dedicada para garantir desempenho aceitável.

Além disso, destaca-se o aspecto humano: a curva de aprendizagem do Blender. Dominar suas interfaces e recursos pode representar um desafio inicial para professores sem experiência prévia em modelagem 3D. Embora a comunidade ofereça tutoriais e documentação abundante, compreender aspectos como iluminação, posicionamento de câmeras, materiais e renderizadores exige tempo e prática. Ainda assim, é importante destacar que o domínio do Blender no contexto educacional vai muito além da geração de imagens. Familiarizar-se com essa ferramenta abre caminho para a integração de competências STEAM, envolvendo física, design, programação, lógica espacial, criatividade e narrativa visual.

Familiarizar-se com essa ferramenta abre caminho para a integração de competências STEAM

4. Resultados e validação

Para validar os resultados, as imagens renderizadas foram comparadas qualitativamente e, sempre que possível, quantitativamente, com o comportamento previsto dos fenômenos, conforme descrito em exemplos teóricos de livros e artigos acadêmicos. Essa análise não envolveu a reprodução física dos experimentos, uma vez que os princípios ópticos analisados são bem estabelecidos na literatura, dispensando montagem experimental.

A verificação considerou três aspectos principais:

- Conformidade geométrica: análise das proporções e dimensões nas imagens (por exemplo, relação entre o tamanho do objeto e a sombra projetada, ângulos de incidência e reflexão).
- Comportamento físico esperado: observação de fenômenos característicos de cada princípio da óptica geométrica (formação de sombras e penumbras, reversibilidade dos raios, independência e superposição de feixes).
- Consistência visual entre renderizadores: comparação entre os resultados obtidos com Cycles e LuxCoreRender, avaliando se ambos mantêm a fidelidade física, mesmo com diferenças na implementação do *ray tracing*.

Com base nesses critérios, cada imagem foi analisada quanto à presença de sombras, reflexões especulares, coerência dos ângulos e formação de imagens reais e virtuais. Os resultados confirmaram a aderência às previsões teóricas, com pequenas limitações identificadas, principalmente no Cycles, relacionadas à reflexão especular de fontes primárias.

4.1. Princípio da propagação retilínea

Uma consequência da propagação retilínea dos raios é a formação de sombras e penumbras [12]. Sendo assim, para averiguarmos se esse princípio está implementado nos renderizadores Cycles e LuxCoreRender, modelamos um ambiente que possui uma fonte de luz pontual a uma distância $2x$ de uma parede. Também foi inserido um objeto circular com diâmetro d , a uma distância x da fonte, e um anteparo quadrado com aresta de $2d$ (o dobro do diâmetro do objeto), que servirá como referência, posicionado junto à parede (Fig. 3). Definimos como eixo óptico a linha imaginária perpendicular à parede que passa pelo centro do anteparo, sendo a luz posicionada também sobre esse eixo. Nessa simulação, ambos os renderizadores forneceram resultados semelhantes.

A simulação apresentada na Fig. 3 valida esse comportamento. Como existe apenas uma fonte de luz pontual no ambiente, a sombra formada pelo objeto estende-se até as arestas do anteparo quadrado, ou seja, a sombra formada a uma distância da luz duas

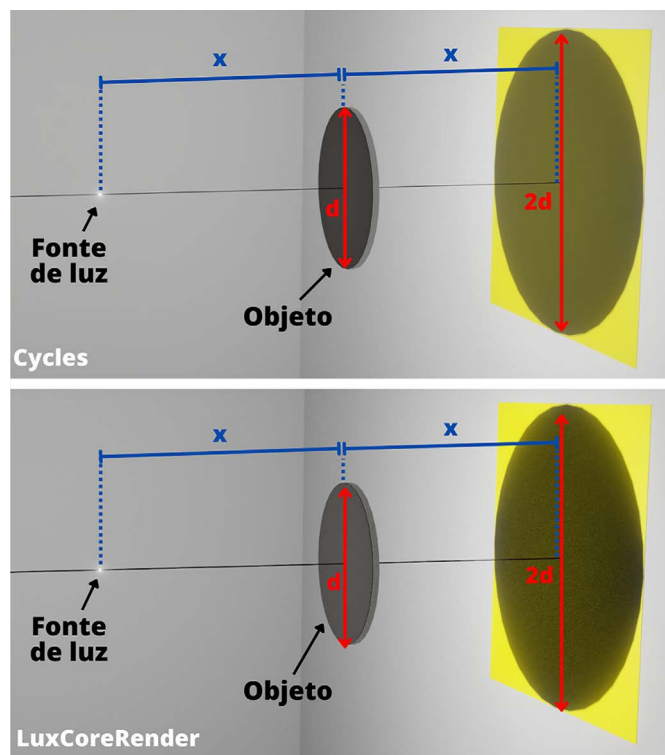


Figura 3 - Simulação da formação de sombras a partir de uma fonte de luz pontual, ilustrando a propagação retilínea da luz. Na parte superior, renderização no Cycles; na inferior, no LuxCoreRender. Em ambos os casos, observa-se a relação geométrica entre o tamanho do objeto (d) e o dobro dessa medida ($2d$) na sombra projetada, conforme previsto pela óptica geométrica.

vezes maior que a do objeto possui duas vezes o seu tamanho, estando de acordo com o princípio da propagação retilínea da luz.

Com um resultado favorável na formação de sombras geradas pelos renderizadores, para verificarmos a formação de penumbras, posicionamos duas fontes de luz distantes $1,5d$ uma da outra, com o eixo óptico passando pelo ponto médio dessa distância. Ambas as fontes permaneceram afastadas $2x$ em relação à parede, com um objeto de diâmetro d situado exatamente no meio entre elas. A Fig. 4 mostra o resultado obtido com duas fontes de luz, que foi similar para os renderizadores utilizados.

A distância entre as fontes pontuais formou uma região de sombra com largura de $0,5d$, além de produzir duas regiões de penumbra. Esse resultado evidencia que a metodologia de *ray tracing* implementada nos renderizadores está de acordo com o princípio da propagação retilínea da luz.

4.2. Princípio da reversibilidade dos raios

O princípio da reversibilidade garante que a trajetória realizada por um raio de luz não se altera quando invertemos seu sentido. Para testarmos esse princípio, modelamos um experimento muito comum em kits didáticos de óptica, no qual uma fonte é capaz de gerar um feixe de luz sobre uma superfície, incidindo sobre um espelho plano com um ângulo em relação à reta normal. Essa simulação permite analisar não somente o comportamento do feixe de luz ao ter sua trajetória invertida, mas também a primeira lei da reflexão, que afirma que o ângulo entre o raio incidente e a reta normal é idêntico ao ângulo entre o raio refletido e a normal e que ambos se encontram no mesmo plano [13]. Esse comportamento pode ser observado na Fig. 5, que evidencia uma diferença entre os renderizadores.

Diferentemente do LuxCoreRender, o renderizador Cycles não realiza a simulação da reflexão do feixe pelo espelho de forma especular. Essa limitação afeta a qualidade visual em cenários com janelas, metais e outros

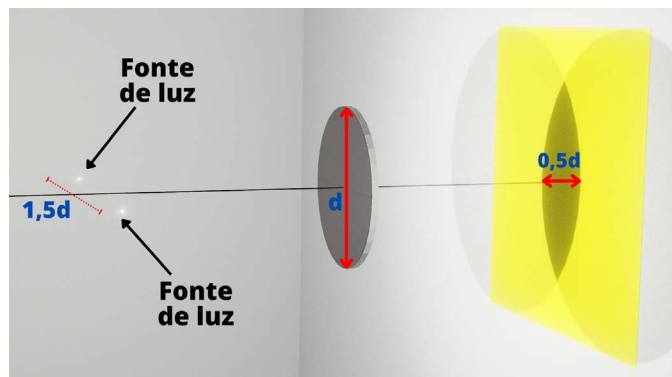


Figura 4 - Simulação de sombra e penumbra geradas por múltiplas fontes de luz, validando o comportamento esperado conforme a teoria da propagação retilínea.

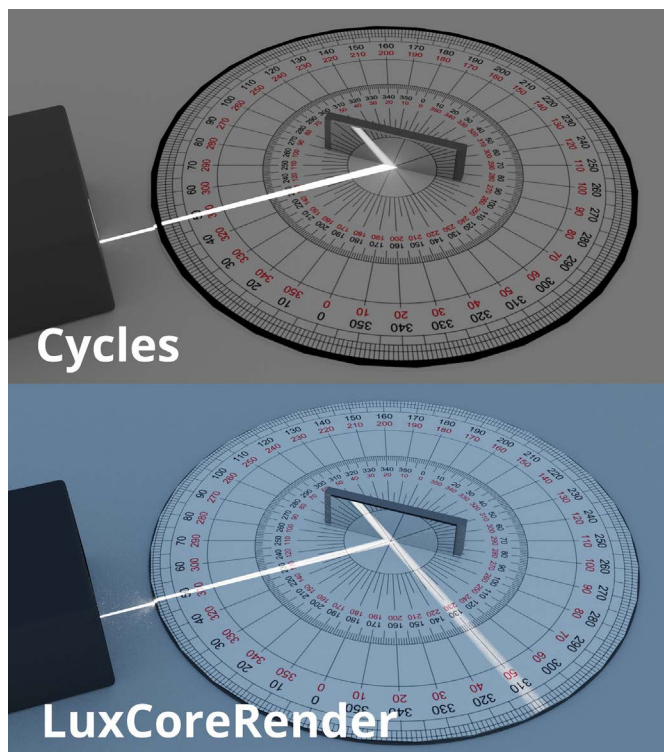


Figura 5 - Simulação de reflexão especular de um feixe luminoso em espelho plano, analisando a fidelidade dos renderizadores frente à primeira lei da reflexão.

objetos reflexivos, resultando em imagens menos realistas. Por outro lado, a Fig. 6 demonstra que o LuxCoreRender, além de simular a reflexão do feixe incidente de forma especular, também satisfaz a primeira lei da reflexão - em que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão - e está alinhado com o princípio da reversibilidade dos raios.

Embora o motor de renderização Cycles não realize a reflexão especular da luz, essa limitação ocorre apenas quando a luz refletida provém de uma fonte primária, não se aplicando a fontes secundárias. Na imagem renderizada pelo Cycles na Fig. 5, podemos ver a reflexão do transferidor e do próprio feixe de luz no

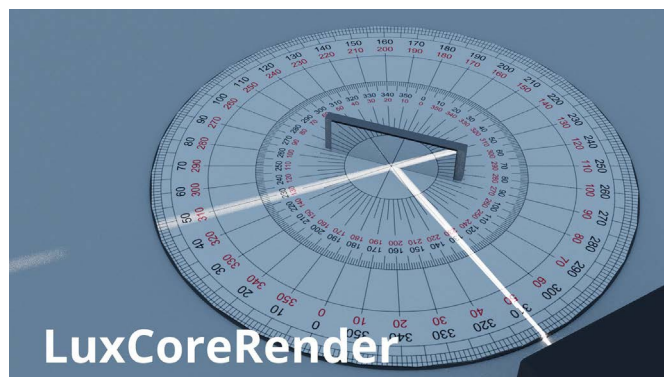


Figura 6 - Representação do princípio da reversibilidade dos raios por meio da inversão da trajetória luminosa no LuxCoreRender.

espelho. Essa limitação já era prevista no renderizador Eevee e foi herdada pelo Cycles devido à integração entre os dois.

4.3. Princípio da independência e superposição dos raios luminosos

O princípio da independência dos raios, consequência do comportamento ondulatório da luz, estabelece que a trajetória de um feixe não se altera ao cruzar com outro feixe de luz. Para testar esse princípio, modelamos duas fontes luminosas emitindo luz com diferentes comprimentos de onda. Quando os feixes de luz dessas fontes se cruzaram, obtivemos uma simulação do experimento de mistura de cores.

Conforme ilustrado na Fig. 7, os feixes de luz cruzam-se no centro do transferidor, criando uma região de superposição cromática que resulta em uma nova cor pela soma dos espectros eletromagnéticos emitidos pelas diferentes fontes. Esse fenômeno evidencia que os motores de renderização possuem a capacidade de replicar efeitos ópticos complexos, característicos da óptica física. Embora a formação de uma nova cor seja um resultado visualmente interessante, o aspecto mais significativo a ser destacado nesse trabalho é que os feixes de luz mantêm suas trajetórias inalteradas, demonstrando que a presença de um feixe não interfere no comportamento do outro. Esse comportamento corrobora o princípio da independência dos raios luminosos, bem como o fenômeno da superposição.

Esses achados, além de validarem a precisão dos motores de renderização na simulação de fenômenos ópticos, estabelecem um ponto de partida promissor para futuros estudos que se aprofundem em aspectos mais complexos da óptica física, como dispersão e di-

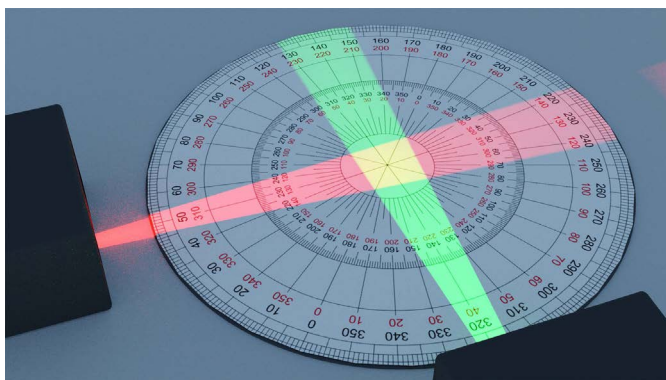


Figura 7 - Simulação no Blender da superposição de dois feixes de luz monocromáticos: um vermelho e um verde. A interseção evidencia o princípio da independência dos feixes e a formação da cor amarela pela mistura aditiva, conforme descrito pela óptica física.

fração da luz. Pesquisas subsequentes poderiam explorar como os motores de renderização tratam fenômenos como interferência e polarização, expandindo o potencial dessas ferramentas para a representação não apenas da óptica geométrica, mas também de fenômenos inerentes à óptica física. Essa abordagem integrativa é fundamental para uma compreensão mais abrangente e precisa dos comportamentos da luz em contextos tanto teóricos quanto aplicados.

4.4. Formação de imagens virtuais e reais

Observamos que os três princípios da óptica geométrica, juntamente com a lei da reflexão, foram implementados nos algoritmos dos renderizadores Cycles e LuxCoreRender. Embora o Cycles apresente dificuldades quanto à reflexão de fontes primárias, elas são superadas na reflexão de objetos (fontes secundárias). A Fig. 8 nos revela que os renderizadores abordados neste trabalho possuem a lógica necessária para criar imagens que ilustram e contextualizam conteúdos de óptica geométrica aplicada à formação de imagens por espelhos planos.

A imagem obtida com o Blender, utilizando o renderizador Cycles, pode ilustrar a formação de imagens por associação de espelhos planos. Os espelhos foram

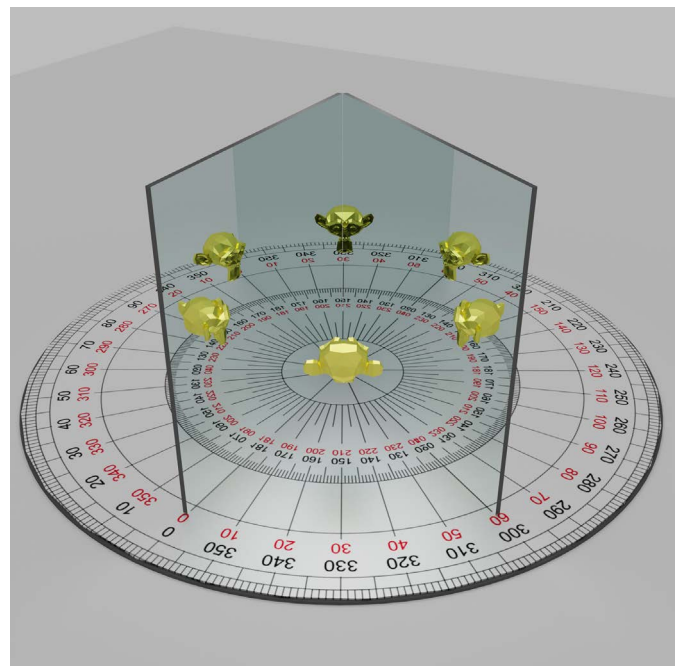


Figura 8 - Formação de múltiplas imagens a partir de dois espelhos planos dispostos com um ângulo de 90°, mostrando a simetria e a quantidade de imagens prevista teoricamente pela fórmula de associação angular de espelhos planos. O objeto central é replicado em diferentes posições angulares, conforme o modelo da óptica geométrica.

posicionados com um ângulo de 60 graus, resultando na formação de cinco imagens, conforme previsto pela teoria [14], que pode ser expressa pela equação

$$n = \frac{360}{\alpha} - 1.$$

Além disso, o potencial da tecnologia 3D na produção de imagens fotorrealistas para o ensino de óptica geométrica torna-se ainda mais evidente diante da facilidade de ilustrar situações que envolvem espelhos esféricos - como demonstrado na Fig. 9 -, especialmente considerando que obter esses espelhos fisicamente pode ser desafiador, sobretudo quando há necessidade de uma curvatura específica.

O Blender oferece aos profissionais da educação a flexibilidade de criar uma ampla variedade de imagens e situações ilustrativas envolvendo espelhos e projeção de sombras, tudo a partir do computador. No entanto, é fundamental compreender as limitações de cada renderizador para saber o que pode ou não ser produzido com precisão.

Sem o entendimento adequado das capacidades de cada renderizador, tentar reproduzir a formação de imagens por espelhos em certas situações pode parecer impossível. Observamos que a formação de imagens por espelhos com o renderizador Cycles, nas Figs. 8 e 9, não apresentou qualquer dificuldade. No entanto, para produzir imagens fotorrealistas do experimento conhecido como “formação de imagens reais com espelho côncavo no trilho óptico”, apenas o LuxCoreRender foi capaz de realizar essa tarefa com precisão.

Nos experimentos realizados com trilho óptico, é comum utilizar uma fonte de luz primária como objeto. Essa configuração, no entanto, impõe uma limitação ao

O potencial da tecnologia 3D na produção de imagens fotorrealistas para o ensino de óptica geométrica torna-se ainda mais evidente diante da facilidade de ilustrar situações que envolvem espelhos esféricos



Figura 9 - Simulação da formação de imagens por espelhos esféricos: à esquerda, espelho côncavo produzindo imagens ampliadas; à direita, espelho convexo gerando imagens reduzidas. A cena ilustra como o Blender pode representar diferentes configurações ópticas de acordo com os princípios da óptica geométrica.

renderizador nativo Cycles, que não consegue representar com precisão a projeção da imagem formada por esse tipo de fonte. Em contraste, o renderizador externo LuxCoreRender demonstra maior fidelidade física, sendo capaz de simular corretamente a formação da imagem real projetada em um anteparo. A Fig. 10 apresenta o resultado dessa simulação, reproduzindo uma montagem frequentemente utilizada em laboratórios didáticos de óptica geométrica.

Observa-se que, em conformidade com a lei da reflexão e os princípios da óptica geométrica, a imagem formada pelo espelho côncavo para um objeto situado além do centro de curvatura apresenta as características previstas pela literatura: uma imagem real, invertida e menor, projetada no semianteparo.

5. Conclusão

Os resultados obtidos confirmam que o Blender, aliado aos motores de renderização Cycles e LuxCoreRender, é capaz de reproduzir com fidelidade os principais princípios da óptica geométrica - propagação retilínea, reversibilidade dos raios, independência e superposição de feixes luminosos -, além de aspectos da formação de imagens reais e virtuais. A validação, realizada por comparação com previsões teóricas amplamente consolidadas, demonstrou que as simulações mantêm aderência aos modelos físicos, mesmo com limitações pontuais identificadas, especialmente no Cycles, quanto à reflexão especular de fontes primárias.

O Cycles mostrou-se eficiente para aplicações educacionais que demandam agilidade e simplicidade, enquanto o LuxCoreRender apresentou maior precisão física, tornando-se a opção preferencial para simulações em que a fidelidade visual e conceitual é prioridade. Essa distinção é relevante para que o educador escolha o motor mais adequado con-

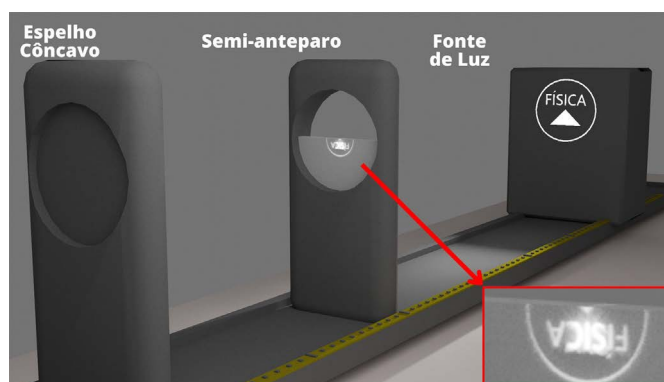


Figura 10 - Simulação no Blender de uma montagem didática em trilho óptico, composta por espelho côncavo, semianteparo e fonte de luz. A cena destaca a formação de uma imagem real, invertida e projetada no semianteparo, evidenciando o comportamento previsto pela óptica geométrica.

forme os objetivos didáticos, o tempo disponível e os recursos computacionais disponíveis.

A viabilidade do uso dessas ferramentas no ensino de óptica geométrica também depende de fatores externos, como formação docente, infraestrutura computacional e disponibilidade de tempo para preparar os materiais. Estratégias como a criação de bancos colaborativos de imagens e cenas prontas podem ampliar o acesso e facilitar a adoção da tecnologia em diferentes contextos escolares.

Além do potencial demonstrado na óptica geométrica, a metodologia empregada abre caminho para a

exploração de fenômenos mais complexos da óptica física, como refração, dispersão e difração da luz, ampliando o escopo de aplicação do Blender no ensino de física. Pesquisas futuras poderão aprofundar essas possibilidades, fortalecendo o uso do fotorrealismo computacional como recurso didático e aproximando os alunos de conceitos que, muitas vezes, permanecem abstratos no ensino tradicional.

Recebido em: 30 de Outubro de 2024

Aceito em: 11 de Agosto de 2025

Referências

- [1] D. Tomio, C. Grimes, D.L. Ronchi, F. Piazza, K. Reinicke, e cols., Caderno Pedagógico **10**, 25 (2013). Disponível em <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/1210/1077>, acesso em 18/8/2025.
- [2] M.T.S.F. Salgado, V.L.B. Gautério, Revista Tecnologia e Sociedade **16**, 42 (2020). [doi](#)
- [3] I. Usembayeva, B. Kurbanbekov, S. Ramankulov, A. Akhanova, International Journal of STEM Education **4**, 45 (2024). [doi](#)
- [4] T. Lutsiuk, H. Aliksieieva, Forum for Education Studies **3**, 1545 (2025). [doi](#)
- [5] PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder. *Bending Light*. Disponível em <https://phet.colorado.edu/en/simulation/bending-light>, acesso em 31/7/2025.
- [6] PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, *Geometric Optics*. Disponível em <https://phet.colorado.edu/en/simulations/geometric-optics>, acesso em 31/7/2025.
- [7] GeoGebra, *Ray Optics - Coleção de Applets Sobre Espelhos e Lentes*. Disponível em <https://www.geogebra.org/m/JJkVRHK>, acesso em 31/7/2025.
- [8] Blender, *Blender Manual*. Disponível em <https://docs.blender.org/manual/en/4.2/render/eevee/limitations/index.html>, acesso em 29/10/2024.
- [9] Luxcorerender, *Physically Based Rendering*. Disponível em <https://luxcorerender.org/physically-based-rendering/>, acesso em 30/10/2024.
- [10] A.S. Glassner, *An Introduction to ray tracing* (Academic Press, London, 1989), p. 17.
- [11] F.W.S.V. Da Silva, *Introdução ao ray tracing* (Relatório Técnico COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1994). Disponível em <https://www.cin.ufpe.br/~sbm/CG/raytrac.pdf>, acesso em 18/8/2025.
- [12] K. Yamamoto, L.F. Fuke, *Física para o Ensino Médio: Termologia, Óptica e Ondulatória* (Saraiva, São Paulo, 2016), v. 2, p. 121.
- [13] J. Walker, D. Halliday, R. Resnick, *Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna* (LTC, Rio de Janeiro, 2009), v. 4, p. 18.
- [14] N.V. Bôas, R.H. Doca, G.J. Biscula, *Física 2: Termologia, Ondulatória e Óptica* (Saraiva, São Paulo, 2013), v. 2, p. 224.