

## Relato de Experiência Sobre o Aprendizado de Introdução à Renderização Baseada em Física em um Curso de Graduação da Área de Computação

Pedro Henrique Villar de Figueirêdo  
Centro de Informática  
Universidade Federal da Paraíba  
pedrofigueiredo@lavid.ufpb.br

**Resumo:** Este artigo apresenta um relato da experiência do estudo da disciplina de Introdução à Renderização Baseada em Física (IRBF) em um curso de graduação da área de computação. Ao longo deste trabalho, é ressaltada a importância da disciplina na motivação dos alunos e no combate à evasão escolar. Também é traçado um paralelo entre os conceitos abordados ao longo da disciplina e as disciplinas estudadas ao longo do curso de graduação. Ao final, discutem-se os pontos positivos e negativos da experiência e são apresentadas sugestões para as futuras ofertas da disciplina de IRBF.

**Palavras-chave:** *Renderização, Didática, Computação Gráfica.*

### 1. Introdução

A evasão escolar é problema recorrente em cursos de computação [1][2][3]. O desestímulo dos alunos durante os semestres iniciais é apontado como uma das causas principais desse fenômeno. Atribui-se uma parte significativa desse problema às disciplinas introdutórias do curso, tais como cálculo e física, pelo fato de terem cunho mais teórico e serem apresentadas, muitas vezes, de forma desconectada ao tema central do curso.

Diversos métodos vêm sendo testados com o objetivo de minimizar a evasão nesses cursos [4]. Dentre eles, pode-se citar a implantação de disciplinas de caráter mais prático e interdisciplinar em seus cronogramas. O estudo da renderização baseada em física (RBF), ou seja, da geração de imagens através da simulação física da propagação de energia luminosa, apresenta-se como uma opção interessante nesse sentido devido a diversos fatores. Primeiramente, o problema do RBF é naturalmente interdisciplinar, envolvendo, para sua formalização, conhecimentos de cálculo e de física. Para a implementação eficiente de sistemas de RBF, são necessários, ademais, conhecimentos de algoritmos, probabilidade e estruturas de dados. Em estágios de implementação mais avançados, esses sistemas requerem conhecimentos avançados de arquiteturas de computadores e processamento paralelo.

Colocando-se à parte todo o conhecimento técnico envolvido no desenvolvimento de sistemas de RBF, o assunto se demonstra estimulante também em função das imagens extremamente realistas que é capaz de gerar, além da atenção que tem recebido nos últimos anos em áreas como a de geração de efeitos especiais para o cinema, o projeto de novos produtos, arquitetura, renderização de jogos, entre outros. Assim, além da alta exigência técnica, o estudo da RBF qualifica o currículo profissional dos alunos ao colocá-los em contato com uma área do conhecimento que se encontra sob intensa investigação científica e cujo uso, pela indústria, está em franca expansão. Tendo isso em vista, ministrou-se pela primeira vez, na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), em caráter opcional, a disciplina de Introdução

à Renderização Baseada em Física (IRBF) no segundo semestre de 2016.

Este artigo relata, do ponto de vista de um aluno, a experiência de ter cursado a disciplina de IRBF. Ainda, o artigo apresenta, ao seu final, uma breve discussão em relação aos pontos positivos e negativos desta experiência, bem como sugestões para as futuras versões da disciplina de IRBF.

### 2. Metodologia

De forma a contextualizar as análises e discussões neste artigo, discute-se inicialmente o problema da RBF, sua formulação, resolução e importância na atualidade. Em seguida, são apresentadas as características da disciplina de IRBF, tema deste relato, detalhando-se sua estrutura, sua apresentação, sua execução e seus métodos de avaliação utilizados. Apontam-se as relações dos conceitos e métodos envolvidos no estudo da RBF com as disciplinas presentes atualmente no currículo dos cursos de engenharia da computação da UFPB. Por fim, discute-se a experiência da disciplina, ressaltando os pontos positivos e negativos. Como também, sugerem-se mudanças para futuras turmas de IRBF.

### 3. Renderização Baseada em Física

A RBF é uma técnica para geração computacional de imagens que procura obter o máximo de realismo através da simulação da interação da luz com objetos da cena. Dentre as técnicas de RBF, destacam-se Radiosidade [5] e o *Path Tracing* [6]. Este trabalho se concentra especificamente na segunda técnica.

De maneira simplificada, o *Path Tracing* assume que a luz é representada por meio de partículas (fótons) e utiliza princípios de ótica geométrica para determinar como estes se propagam e interagem com os objetos da cena e o sensor da câmera. Estas simulações, apesar de computacionalmente caras, podendo levar horas para gerar uma única imagem, têm sido utilizadas com frequência crescente em aplicações que demandam renderizações realistas, mas sem interatividade. Um exemplo é o *Arnold Renderer*, renderizador baseado em física produzido pela *Solid Angle* [7] e utilizado em

filmes, como *Arrival* e *Logan* (Figura 1), e seriados de televisão, como *Game of Thrones* [8].



Figura 1 - Comparação entre referência do ator (à esquerda) e renderização feita pelo Arnold Renderer (à direita). Filme: *Logan* [7].

### 3.1. Equação de Rendering

Em 1986, James Kajiya e David Immel introduziram, simultaneamente, a Equação de Rendering (Equação 1). Essa equação determina a quantidade de luz que é transportada por um raio de luz refletido e, ou, emitido por um ponto de uma superfície em determinada direção. A quantidade de energia transportada pelo raio é descrita em Watts por unidade de ângulo sólido por unidade de área projetada.

De acordo com a equação, a radiância de um ponto ( $L_o$ ) em uma determinada direção é igual à energia emitida nesta direção ( $L_e$ ) somada à energia refletida nesta mesma direção ( $L_r$ ). A energia refletida ( $L_r$ ) por um ponto em determinada direção é uma função da quantidade de energia ( $L_i$ ) de todos os raios de luz incidentes neste ponto, do ângulo de incidência ( $\theta$ ) destes raios e das propriedades reflexivas do material ( $f_r$ ).

$$L_o = L_e + \int_{\Omega} L_i \cdot f_r \cdot \cos\theta \cdot d\omega \quad (1)$$

### 3.2. Resolução da Equação de Rendering através de Monte Carlo

Um dos métodos numéricos mais utilizados para resolução da Equação de Rendering (Equação 1), em função de sua performance no caso de integrais de múltiplas dimensões e generalidade, é o método de Monte Carlo [9].

De acordo com esse método, raios de luz são disparados, a partir da câmera, em direção à cena, percorrendo-a de forma randômica até eventualmente encontrarem a fonte de luz. Raios que eventualmente encontrem a fonte de luz irão contribuir para a iluminação dos pixels da imagem final.

### 3.3. O Alto Custo Computacional da Renderização Baseada em Física

O uso do método numérico que converge no infinito implica em serem necessários infinitos raios de luz para representar, de forma exata, a radiância de um pixel. Esse fato demonstra o alto custo computacional e explica a lentidão de se usar RBF.

Por outro lado, simplificações da física e técnicas de programação permitem acelerar esse processo,

tornando-o viável para as aplicações de hoje em dia. As simplificações vão desde a representação adaptada da radiância - que, naturalmente, permite uma quantidade infinita de cores - para o padrão RGB; até o uso quase sempre incompleto de fórmulas de refletâncias e refrações de materiais.

As técnicas de programação envolvem o uso do paralelismo para dividir o processamento de uma imagem em múltiplas *threads* e de árvores binárias em estruturas de aceleração como a Bounding Volume Hierarchy [10].

## 4. A disciplina de IRBF

Esta disciplina ocorreu pela primeira vez no segundo semestre de 2016, na UFPB. Segundo o cronograma do curso de engenharia da computação [11], essa pode ser cursada a partir do quarto período, visto que seus pré-requisitos incluem álgebra linear e estruturas de dados, que são ministrados no segundo e no terceiro semestres.

### 4.1. Organização da Disciplina

A disciplina de IRBF foi ministrada em aulas semanais, às sextas-feiras pela manhã, tendo três horas e meia de duração. Seu objetivo foi que cada grupo de dois alunos construísse um renderizador, desde o início, incrementando-o à medida em que fossem introduzidos os conceitos necessários. A avaliação foi constituída da implementação de onze etapas do renderizador, as quais foram publicadas e explicadas em blogs dos alunos destinados à disciplina.

Primeiro, fez-se uma introdução ao tema de RBF, com o intuito de motivar os alunos. Nessa introdução, mostrou-se o renderizador *Mitsuba Renderer* [12] e apontou-se como primeira etapa de avaliação a construção de uma cena qualquer que explorasse as ferramentas disponíveis.

A partir deste ponto, disponibilizou-se um esquema inicial simples de um renderizador *Ray tracer*, que não utiliza conceitos físicos sobre a propagação da luz (mais simples que o *Path Tracing*), escrito em C++, no qual os alunos se baseariam para construir seus próprios renderizadores. A segunda etapa de avaliação foi a construção de triângulos, já que, no projeto inicial, só havia a possibilidade de esferas.

A terceira e quarta etapa de avaliação foram implementar a câmera perspectiva Pinhole, para se ter profundidade nas imagens geradas, e a implantação de cores, juntamente com carregamentos de malhas de objetos quaisquer através da Biblioteca Assimp [13].

A partir da quinta etapa, começou-se a usar os conceitos de *Path Tracing* para construir a imagem final da renderização. Essa nova abordagem, em conjunto com a adição de dois tipos de materiais (difuso e fonte de luz), fez possível a renderização de uma cena padrão da computação gráfica: a *Cornell Box* (Figura 2). Usou-se uma resolução de 1024x1024px, 10 níveis de profundidade e 10.000 raios para cada pixel.

Para gerar a imagem da Figura 2 com as configurações indicadas, foi necessário resolver a equação de *rendering* aproximadamente  $1,05 \times 10^{11}$  vezes, representando um alto custo computacional. Pensando nisso, a sexta etapa de avaliação foi a implementação de múltiplas *threads*, que visou diminuir o tempo de renderização, o qual, no caso da Figura 3, foi de 26 horas para 10 horas, uma melhoria de 160%.

Como também, na oitava etapa, implementou-se a estrutura de aceleração intitulada *Bounding Volume Hierarchy* (BVH) [10], reduzindo o número de intercessões em uma cena para a ordem de  $\log_2 n$ , visto que se usam árvores binárias para mapear os objetos.



Figura 2 - Renderização da *Cornell Box* Clássica [14].

As etapas sete e nove envolveram a implementação de novos materiais: espelho, vidro e metal. Isso trouxe maior flexibilidade ao *renderer*, podendo representar uma gama maior de cenas. Entretanto, na disciplina, foi dado pouco tempo para o desempenho dessas etapas, resultando em boa parte dos alunos não conseguindo representar tais materiais em seus renderizadores.

As últimas duas etapas tiveram como foco o desenvolvimento de uma cena final da disciplina, que tem o objetivo de reunir os conceitos aprendidos em todo o semestre. A primeira corrige um problema de representação das cores na imagem final chamada compressão gamma [15]. A segunda explica a construção de tal cena. Usou-se uma resolução de 1024x1024px, 10 níveis de profundidade e 20.000 raios para cada pixel. Pode-se vê-la na Figura 3.



Figura 3 - Cena final da disciplina de IRBF [14].

## 4.2. Conceitos Explorados e Suas Relações com Disciplinas da Graduação

Para mapear a interdisciplinaridade de IRBF, fez-se uma tabela (Tabela 1) contendo alguns conceitos de outras disciplinas da graduação que são abordados para resolver o problema do *Path tracing*.

Tabela 1 - Interdisciplinaridade de IRBF [11].

Conceito Explorado	Disciplina de Graduação	Semestre Letivo
Distâncias entre pontos e retas	Cálculo Vetorial e Geo. Analítica	Primeiro
Transformações de base	Álgebra Linear	Segundo
Distribuição homogênea	Cálculo das Probabilidades I	Segundo
Uso de múltiplas threads	Linguagem Programação I	Segundo
Programação orientada a objetos	Linguagem Programação I	Segundo
Complexidade de algoritmos	Estruturas de Dados I	Terceiro
Construção e percorrimento de árvores binárias	Estruturas de Dados I	Terceiro

Como se pode ver na Tabela 1, os assuntos abordados remetem a disciplinas do início do curso consideradas difíceis. Os conceitos de física usados na disciplina não são vistos no curso de Engenharia de Computação da UFPB. Porém, esses são colocados em prática e se tem, portanto, maior facilidade em seu entendimento.

## 5. Discussão e Análise

Como foi a primeira vez que a disciplina de IRBF foi ministrada, é natural que hajam pontos a serem melhorados. Um deles é o formato das aulas. Essas se estendem por três horas e meia, apenas uma vez na semana, tornando-se cansativa por ser majoritariamente teórica. Há, também, a diminuição da frequência com o que o aluno é ensinado sobre o tema durante a semana, o que irá prejudicá-lo ainda mais com uma eventual falta. Uma abordagem com duas aulas semanais combateria os problemas citados e não teria alteração na carga horária.

Outro problema foi a distribuição de tempo para a entrega das etapas de avaliação. Na etapa de desenvolvimento do *Path Tracer* (5), deu-se um tempo bem maior que o necessário para a implementação, enquanto na implantação de novos materiais (7 e 9) faltou tempo para muitos alunos. Sugere-se o acompanhamento semanal do desempenho dos alunos por parte do professor, podendo-se adequar o cronograma de aulas de acordo com as dificuldades encontradas.

Além disso, uma grande parcela da disciplina é utilizada para explicar conceitos de física novos que serão usados para resolver o problema do *Path Tracing*, em vez de explorar os detalhes de sua implementação. Esse problema acontece para o curso de Engenharia de Computação da UFPB, mas pode não se estender para outros cursos de graduação da área de computação.

Por outro lado, o aprendizado de RBF estimula conhecimentos de diversas áreas vistas durante um curso de graduação da área de computação, como visto na Seção 4.2, que nem sempre recebem aplicações práticas.

O acompanhamento por meio de etapas avaliativas na disciplina se mostrou uma maneira eficaz de observar a progressão dos alunos, identificando as suas dificuldades e incentivando a cooperação entre os discentes para superar as metas estabelecidas ao longo do período.

Outrossim, a escolha de blogs como meio de persistência das avaliações torna-se útil para os alunos, mesmo depois de finalizada a disciplina, uma vez que esse pode ser divulgado facilmente como parte de sua experiência na graduação, assim como favorece a continuação do projeto do renderizador.

Ademais, por ser uma área em expansão, presente na vida dos alunos, o estímulo para estudar a resolução de tal problema é recorrente. Verifica-se, também, que a sua aplicabilidade no mercado de trabalho oferece uma possibilidade real para a desenvoltura de uma carreira profissional. Assim, coloca-se o IRBF como um agente que propicia a permanência do aluno no meio acadêmico, reduzindo a evasão.

## 6. Conclusão

Neste artigo, foi apresentado um relato de experiência sobre o aprendizado da disciplina de Introdução à Renderização Baseada em Física. Estudou-se o problema da RBF, relataram-se as etapas de tal experiência e discutiu-se os pontos positivos e negativos, apresentando a estes sugestões para futuras turmas de IRBF.

## Bibliografia

- [1] Baggi, S.; Lopes, D. A. (2011) Evasão e avaliação institucional no ensino superior: uma discussão bibliográfica. *Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)*, 16(2): 355-374.
- [2] Silva Filho, R. L. L.; Motejunas, P. R.; Hipólito, O.; Lobo, M. (2007) A evasão no ensino superior brasileiro. *Cadernos de Pesquisa*, 37(132):6 41-659.
- [3] Xenos, M. (2004) Prediction and assessment of student behaviour in open and distance education in computers using Bayesian networks. *Computers & Education*, 43(4):345-359.
- [4] Gilioli, R. S. P. (2016) Evasão em instituições federais de ensino superior no Brasil: expansão da rede, SISU e desafios. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, 35-36. Disponível em: [http://www2.camara.leg.br/a-camara/documentos-e-pesquisa/estudos-e-notas-tecnicas/areas-da-conle/tema11/2016\\_7371\\_evasao-em-instituicoes-de-ensino-superior\\_renato-gilioli](http://www2.camara.leg.br/a-camara/documentos-e-pesquisa/estudos-e-notas-tecnicas/areas-da-conle/tema11/2016_7371_evasao-em-instituicoes-de-ensino-superior_renato-gilioli). Acesso em 10/12/17.
- [5] Goral, C.; Torrance, K.; Greenberg, D.; Battaile, B. (1984) Modeling the interaction of light between diffuse surfaces, *Computer Graphics*, 18(3): 213-220.
- [6] Kajiya, J. (1986) The Rendering Equation. *Computer Graphics*, 20(4): 143-150. Proc. of SIGGRAPH'86.
- [7] Solid Angle Gallery. <https://www.solidangle.com/gallery/>. Acesso em 28/10/17.
- [8] Arnold. <https://www.solidangle.com/arnold/>. Acesso em 29/10/17.
- [9] Catfish R. E. (1998). Monte Carlo and quasi-Monte Carlo methods. *Acta Numerica* cap.7: 1-49 Cambridge University Press.

- [10] Stich, M.; Friedrich, H.; Dietrich, A. (2009) Spatial splits in bounding volume hierarchies. HPG '09 Proceedings of the Conference on High Performance Graphics 2009, p. 7-13. ACM New York.
- [11] Plano de Curso de Engenharia de Computação. <http://ci.ufpb.br/cursos-graduacao/plano-de-curso-de-engenharia-de-computacao/>. Acesso em 10/12/17.
- [12] Mitsuba Renderer. <https://www.mitsuba-renderer.org>. Acesso em 10/12/17.
- [13] Assimp Documentation. [http://assimp.sourceforge.net/main\\_doc.html](http://assimp.sourceforge.net/main_doc.html). Acesso em 10/12/17.
- [14] Logon Renderer Project. <https://logonrenderer.wordpress.com>. Acesso em 10/12/17.
- [15] Smith, A. R. (1995) Gamma Correction. Microsoft Technical Memo 9. Online: <https://pdfs.semanticscholar.org/b9b8/bb2541fb303d6b9ae9023ecc6e473aa3e490.pdf>. Acesso em 10/12/17.