Insper

Computação Gráfica

WGSL & Raytracing 1

WGSL - WebGPU Shading Language

- Linguagem moderna de shaders para web (maior acesso a hardware)
- Pode ser usada com JavaScript(JS), TypeScript(TS) e Rust
- Suporta Compute Shaders
- Fortemente tipada, ou seja, tipos de dados devem ser explicitamente definidos.
- A sintaxe e o design do WGSL foram feitos para ser mais seguros e menos propensos a erros comparado a outras linguagens de shaders: Rust based
- Links uteis:
  - https://webgpufundamentals.org/webgpu/lessons/webgpu-wgsl.html
  - https://www.w3.org/TR/WGSL/
  - https://google.github.io/tour-of-wgsl/

fonte: Ray Tracing Gems - High-Quality and Real-Time Rendering with DXR and Other APIs, por: Eric HainesTomas evAkenine-Möller

WGSL vs GLSL

GLSL	WGSL
OpenGL/WebGL	WebGPU
Tipada, mas com certa flexibilidade.	Linguagem com **tipagem forte.**
Tende a ser mais direta, com sintaxes menos rigorosas, mas também menos estruturadas.	Mais modular e estrita quanto à declaração de variáveis e funções.
Amplamente usado em gráficos desktop, dispositivos móveis e web através do WebGL.	Projetado especificamente para ser usado em navegadores modernos e com suporte a multiplataforma.
Mais antigo e largamente usado.	Leva em consideração boas práticas de design moderno.
Usado com WebGL, que pode ser mais lento ou ter menos controle de hardware moderno.	Aproveita as vantagens do WebGPU, oferecendo melhor desempenho e controle de hardware, especialmente em computação paralela.

fonte: Ray Tracing Gems - High-Quality and Real-Time Rendering with DXR and Other APIs, por: Eric HainesTomas evAkenine-Möller

WGSL vs GLSL - Exemplos

GLSL

```
float foo(vec2 uv, float k)
{
    return k + length(uv);
}
```

```
float foo(vec2 uv, float k)
{
    float o = length(uv) + k;
    return o;
}
```

WGSL

```
fn foo(uv : vec2f, k : f32)  -> f32
{
    return k + length(uv);
}
```

```
fn foo(uv : vec2f, k : f32)  -> f32
{
    var o = length(uv) + k;
    return o;
}
```

Ponteiros (Pointers):

GLSL não suporta

WGSL

```
fn foo(uv: ptr<function, vec2f>)  -> f32
{
    return length(uv);
}

foo(&uv);
```


fonte: Ray Tracing Gems - High-Quality and Real-Time Rendering with DXR and Other APIs, por: Eric HainesTomas evAkenine-Möller

Insper

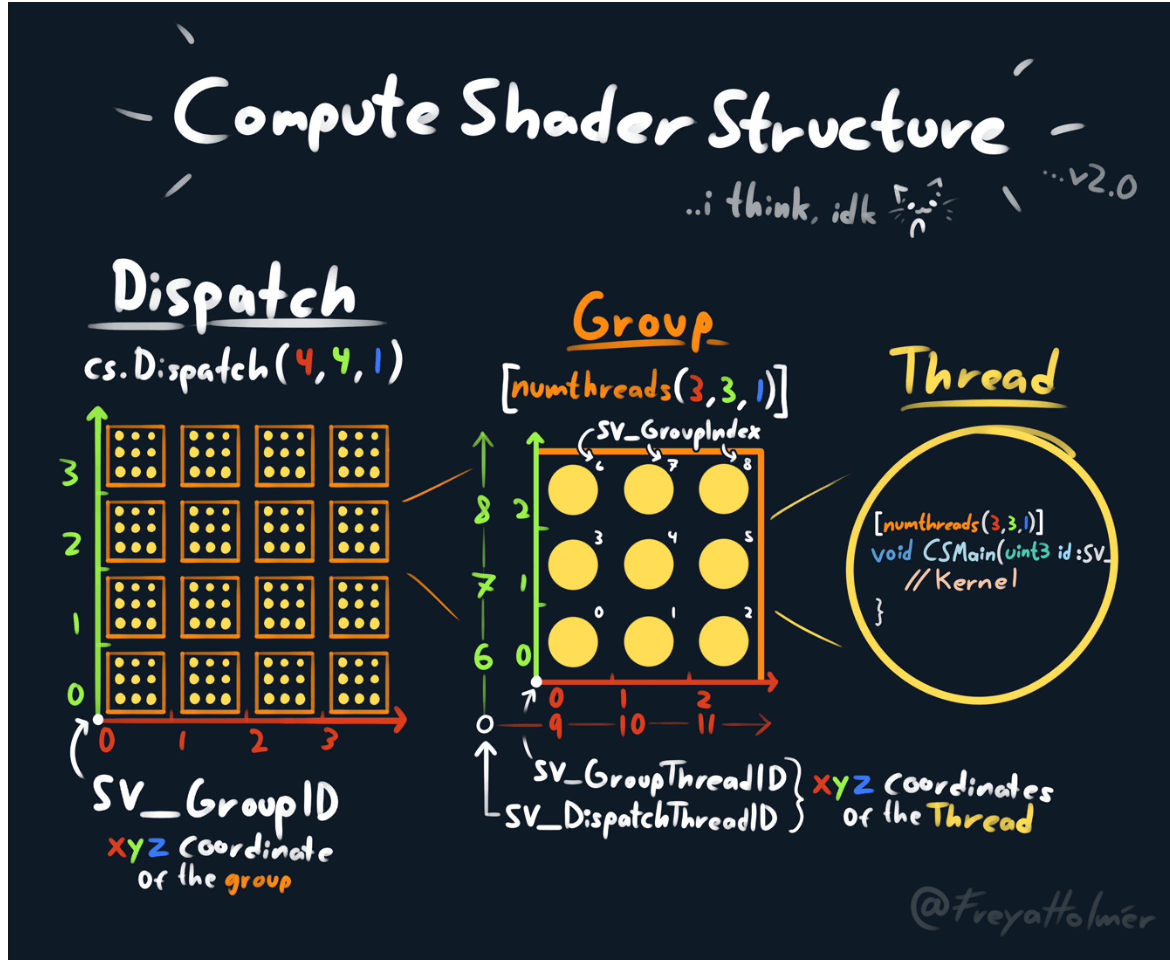
Compute Shader

- **Propósito Geral**: Realiza operações computacionais diretamente na GPU, como física, simulação, processamento de dados, etc., sem precisar gerar gráficos.
- **Independente de Pipeline Gráfico**: Desvinculado ao pipeline gráfico tradicional (vertex/fragment shaders), sendo independentemente da renderização.
- **Grupos de Trabalho (Workgroups)**: Divide a tarefa em grupos de trabalho para distribuir a carga computacional de forma eficiente entre os núcleos da GPU.
- **Entrada/Saída de Dados**: Recebe e escreve dados diretamente na memória da GPU (buffers, imagens), podendo manipular grandes volumes de dados.
- **Aplicações Diversas**: Usado para tarefas como física de partículas, inteligência artificial, simulação de fluidos, processamento de imagem, machine learning, etc.
- **Exemplo:** https://gubebra.itch.io/multiple-species-physarum
- Simulação de agentes (partículas, objetos)

Resumindo: Mais customizável, maleável, robusto e geral.

fonte: Ray Tracing Gems - High-Quality and Real-Time Rendering with DXR and Other APIs, por: Eric HainesTomas evAkenine-Möller

Compute Shader



fonte: Ray Tracing Gems - High-Quality and Real-Time Rendering with DXR and Other APIs, por: Eric HainesTomas evAkenine-Möller

Compute Shader em WGSL

WGSL

```
const THREAD_COUNT = 16;
@compute @workgroup_size(THREAD_COUNT, THREAD_COUNT, 1)
fn render(@builtin(global_invocation_id) id : vec3u)
{
    ...
}
```

Js

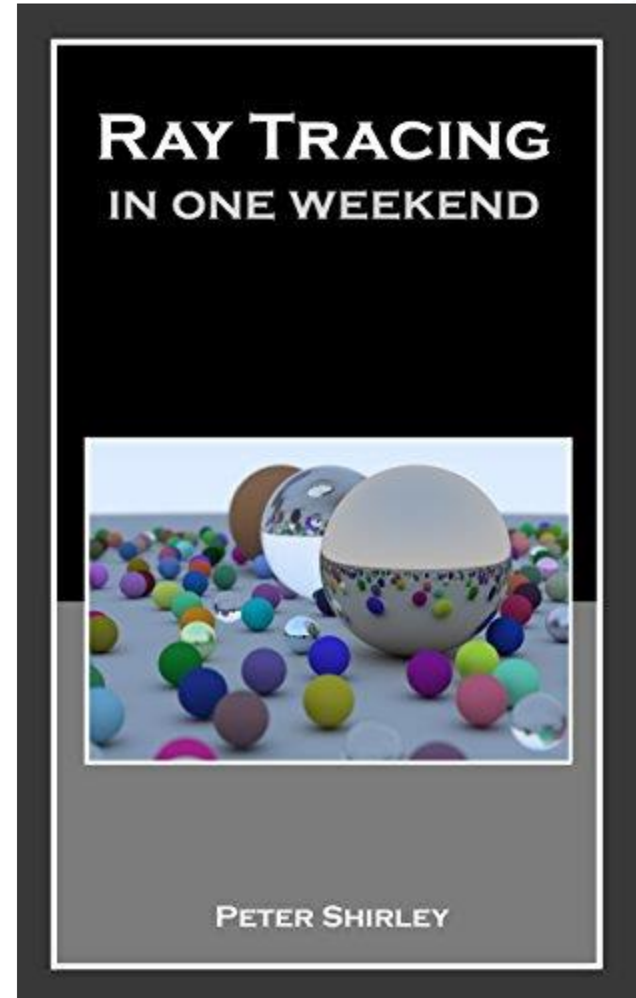
```
pass.dispatchWorkgroups(rez.x / THREAD_COUNT, rez.y / THREAD_COUNT, 1);
```


fonte: Ray Tracing Gems - High-Quality and Real-Time Rendering with DXR and Other APIs, por: Eric HainesTomas evAkenine-Möller

Ray Tracing

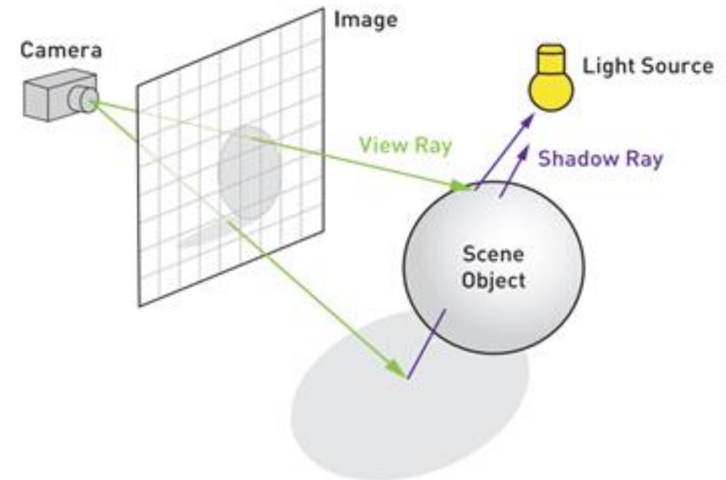
Esta parte do curso foi baseada no livro:

"Ray Tracing in One Weekend", por Peter Shirley
URL (series): https://raytracing.github.io/



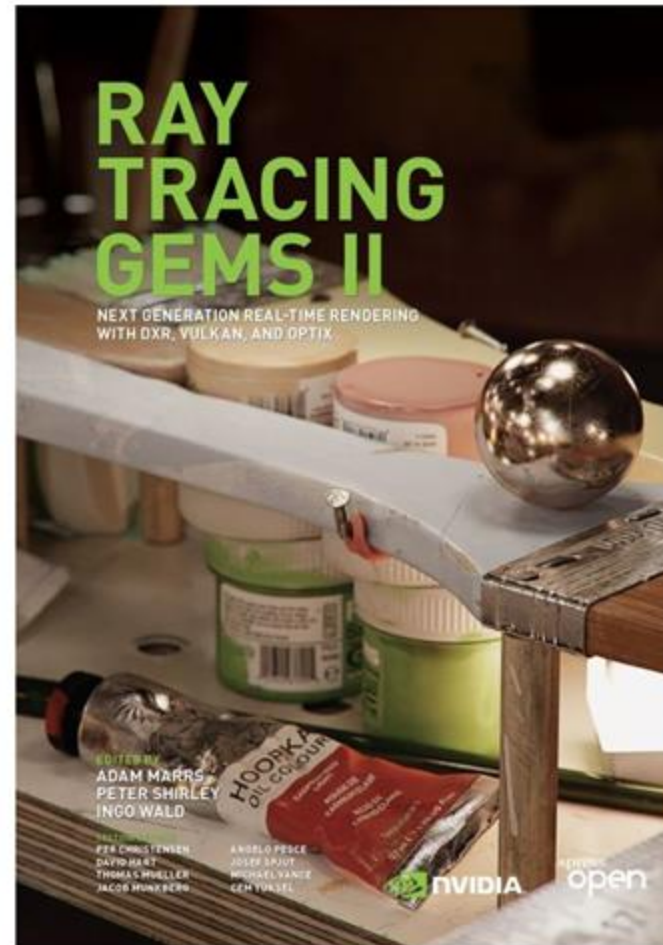
Ray Tracing – o que é

- **Ray Tracing** é uma técnica de renderização usada para criar imagens altamente realistas, simulando o comportamento reverso dos raios de luz.
- A técnica funciona ao **rastrear fontes de luz** partindo de uma câmera e verificando onde esses raios atingem objetos no ambiente.
- Cada interação de um raio com uma superfície tem cálculos de **reflexão, refração, sombreamento e sombras** com base nas propriedades do material e da iluminação da cena.
- Matemática para definir objetos (ex: geometrias) pode ser complexa.



fonte: Ray Tracing Gems - High-Quality and Real-Time Rendering with DXR and Other APIs, por: Eric HainesTomas evAkenine-Möller

Alguns Livros Interessantes



Onde Ray Tracing é usado

- Ray Tracing é computacionalmente "muito pesado", contudo, com os avanços em recursos computacionais, está técnica está se tornando viável até para aplicações em tempo real.
- Filmes/Animações
- Softwares de modelagem 3D: Blender / Maya
- Jogos: Reflexos / Sombras / AO / Lightmaps

Toy Story 4 (offline)

Resident Evil Village (realtime)

"some frames in *Monsters University* took a reported 29 hours each"

fonte: Future of Gaming : Rasterization vs Ray Tracing vs Path Tracing

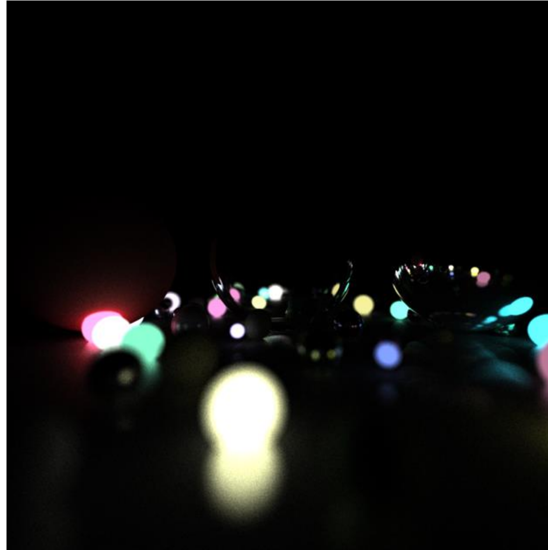
Path Tracer

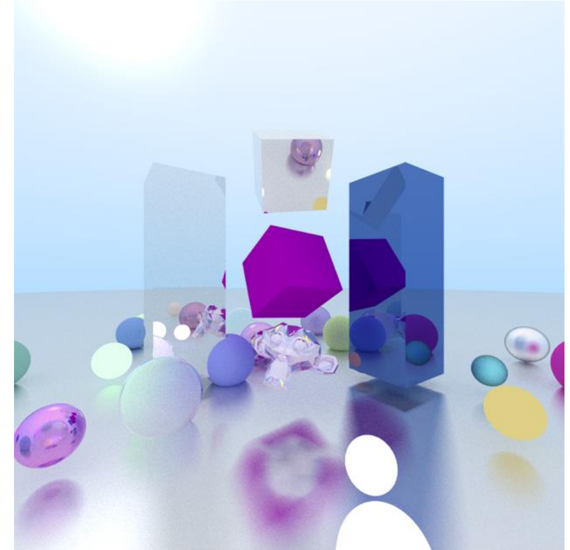
Um Path Tracer é um método de renderização baseada em Monte Carlo para produzir imagens de cenas tridimensionais. O livro de referência usa na prática Path Tracer.

fonte: https://github.com/YurongYou/Monte-Carlo-Path-Tracer

Projeto

Vocês irão desenvolver um Path Tracer, baseado na proposta do livro texto, em WGSL.



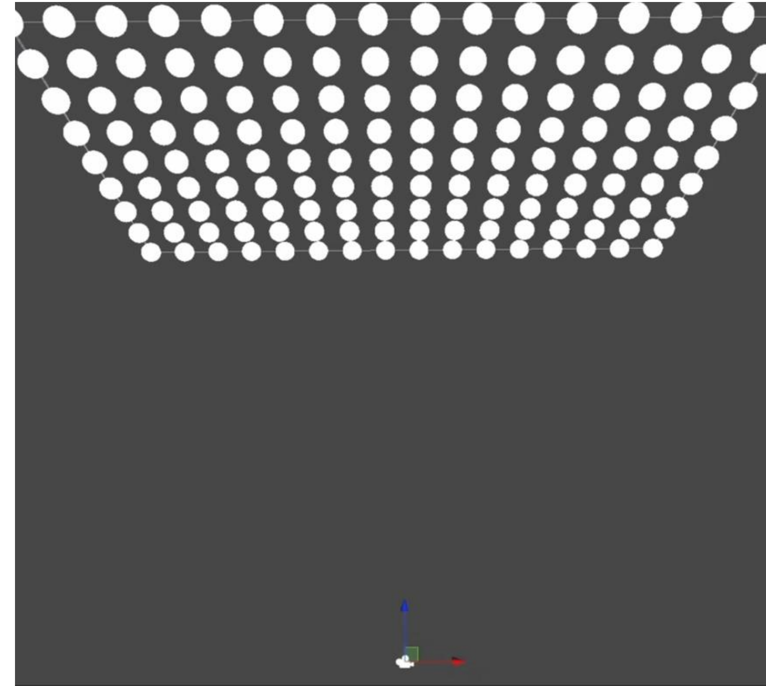


Insper

Path Tracer

Ideia básica do algoritmo:

- Crie **x** raios que saem da câmera virtual da cena
- Defina um número **y** máximo de reflexões (bounces)
- Para cada raio e a cada bounce, veja onde ele bateu (objetos na cena)
- Se bater em algo, pegue a cor e material do objeto
- Calcule a nova direção do raio após a colisão baseado no tipo de material, e multiplique a cor do pixel pela cor do material
- Se não bater em nada, retorne com a cor do ambiente
- Faça a média de cor com base no número **x (raios por pixel)**
- Acumule as cores (progressive rendering) e faça a transformação de espaço de cores (linear para gamma)



Fonte animação: [link]

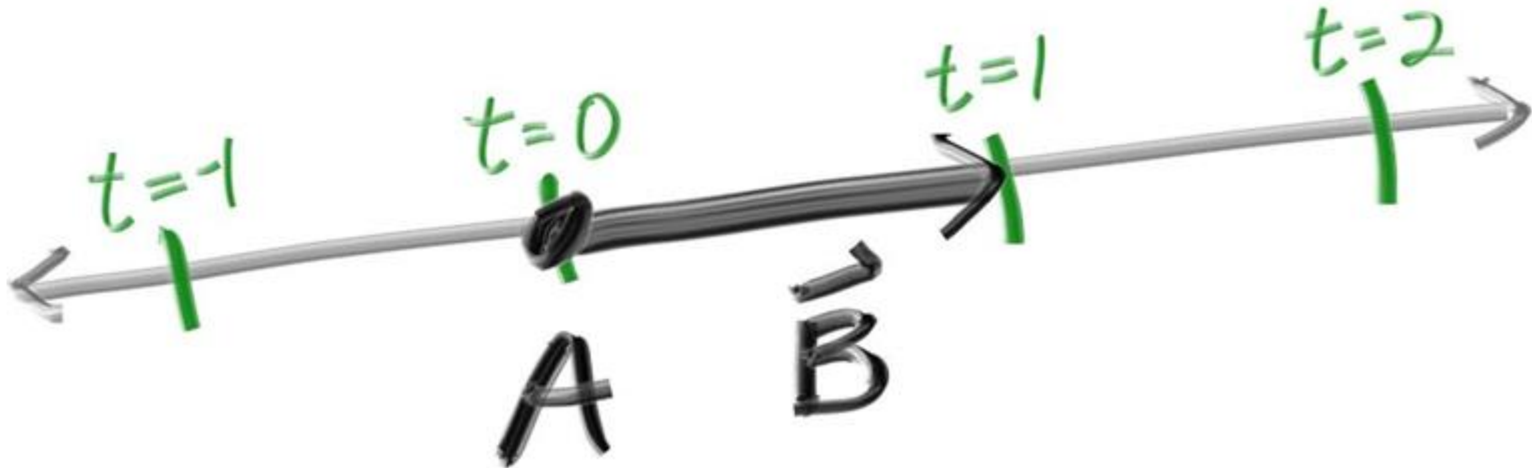
Insper

Raio (half-line / semirreta)

Raios do RayTracer

$$\mathrm{P}(t) = \mathrm{A} + t\mathrm{b}$$

A é a origem do raio
b é um vetor que define a direção do raio
t é um parâmetro real
P(t) é o ponto sobre o raio

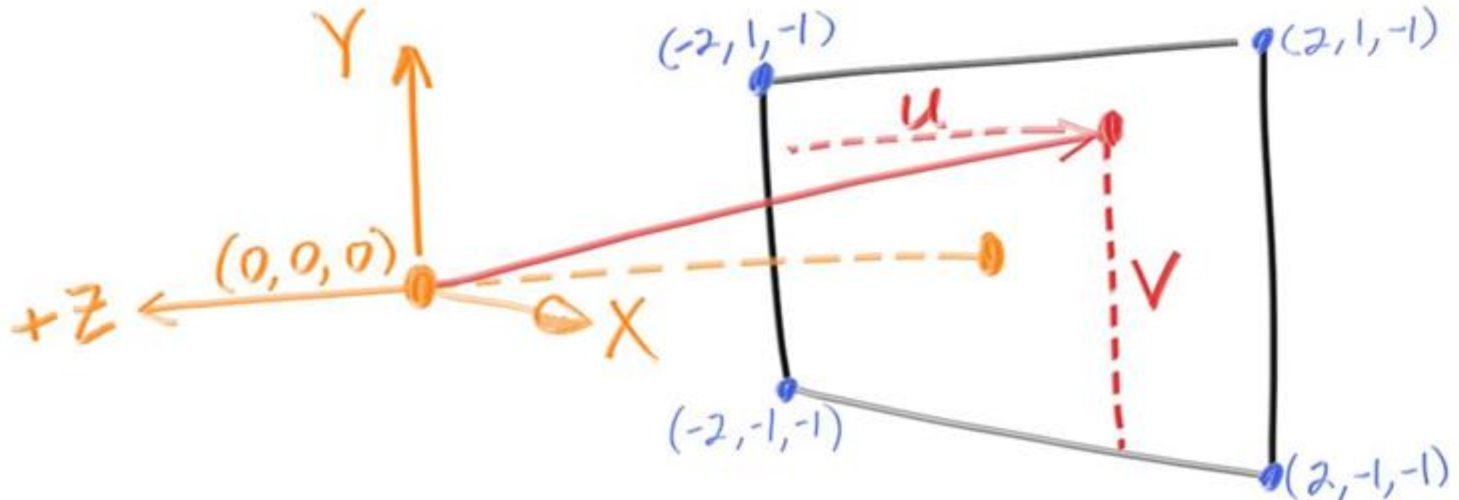


Criando câmera

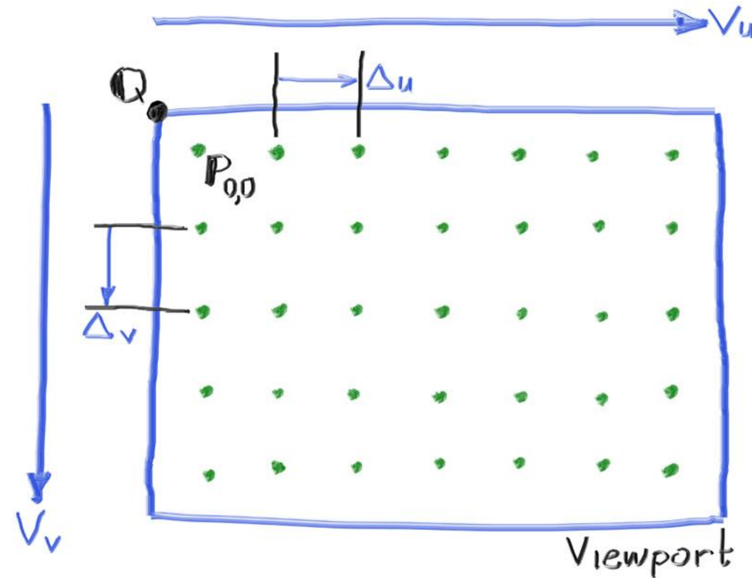
Vamos deixar o ponto de vista no (0,0,0) olhando para o Z negativo.

Varredura de pixels:

- Em CPU teríamos de passar por um loop pixel por pixel
- Em GPU o código para cada pixel roda automaticamente em paralelo



Criando o raio da câmera



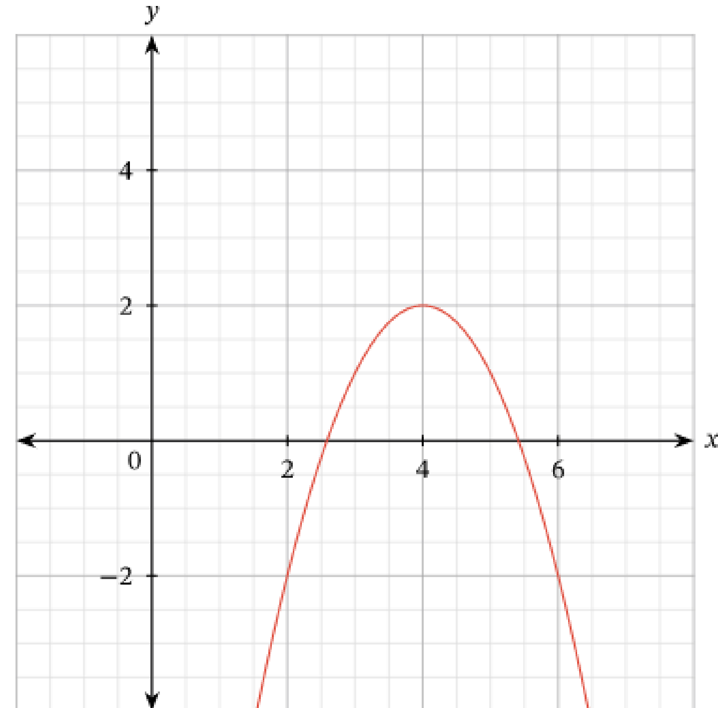

```
float aspect = iResolution.x/iResolution.y;
vec3 lower_left_corner = vec3(-1.0*aspect,-1.0, -1.0);
vec3 horizontal = vec3(2.0*aspect, 0.0, 0.0);
vec3 vertical = vec3(0.0,2.0, 0.0);
Ray r = Ray(vec3(0,0,0),
lower_left_corner+uv.x*horizontal+uv.y*vertical);
```

Fórmula de Bhaskara

Método para encontrar as raízes reais de uma equação do segundo grau através de seus coeficientes.

$$\Delta = b^2 - 4ac$$

$$X = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}$$



Insper

Adicionando uma Esfera

Esferas são objetos comumente vistos em RayTracers devido à simplicidade de calcular a intersecção de um raio com uma esfera.

$$x^2 + y^2 + z^2 = R^2$$

Assim, para um ponto (x, y, z) sobre a esfera a equação acima precisa ser verdadeira.

Para um ponto dentro da esfera $x^2 + y^2 + z^2 < R^2$

Para um ponto fora da esfera $x^2 + y^2 + z^2 > R^2$

Adicionando uma Esfera

Para uma esfera centrada em (C_x,C_y,C_z):

$$(x - C_x)^2 + (y - C_y)^2 + (z - C_z)^2 = r^2$$

Para um ponto P na superfície, podemos calcular o vetor (P-C), logo:

$$(\mathbf{P} - \mathbf{C}) \cdot (\mathbf{P} - \mathbf{C}) = (x - C_x)^2 + (y - C_y)^2 + (z - C_z)^2$$

Assim a equação da esfera na forma vetorial é:

$$(\mathbf{P} - \mathbf{C}) \cdot (\mathbf{P} - \mathbf{C}) = r^2$$

Adicionando uma Esfera

Desejamos saber se o raio **P**(t)=**A**+t**b** intersecta a esfera, assim:

$$(\mathbf{P}(t) - \mathbf{C}) \cdot (\mathbf{P}(t) - \mathbf{C}) = r^2$$

Ou expandindo:

$$(\mathbf{A} + tb - \mathbf{C}) \cdot (\mathbf{A} + tb - \mathbf{C}) = r^2$$

$$t^2\mathbf{b} \cdot \mathbf{b} + 2t\mathbf{b}(\mathbf{A} - \mathbf{C}) + (\mathbf{A} - \mathbf{C}) \cdot (\mathbf{A} - \mathbf{C}) - r^2 = 0$$

Adicionando uma Esfera

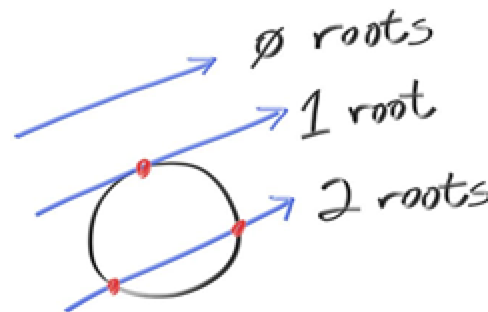
Podemos usar o Bhaskara para encontrar as raízes da equação de segundo grau.

$$\Delta = b^2 - 4ac \qquad X = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}$$

$$\underbrace{t^2\mathbf{b}\cdot\mathbf{b}}_{a} + \underbrace{2t\mathbf{b}(\mathbf{A}-\mathbf{C})}_{b} + \underbrace{(\mathbf{A}-\mathbf{C})\cdot(\mathbf{A}-\mathbf{C}) - r^2}_{c} = 0$$

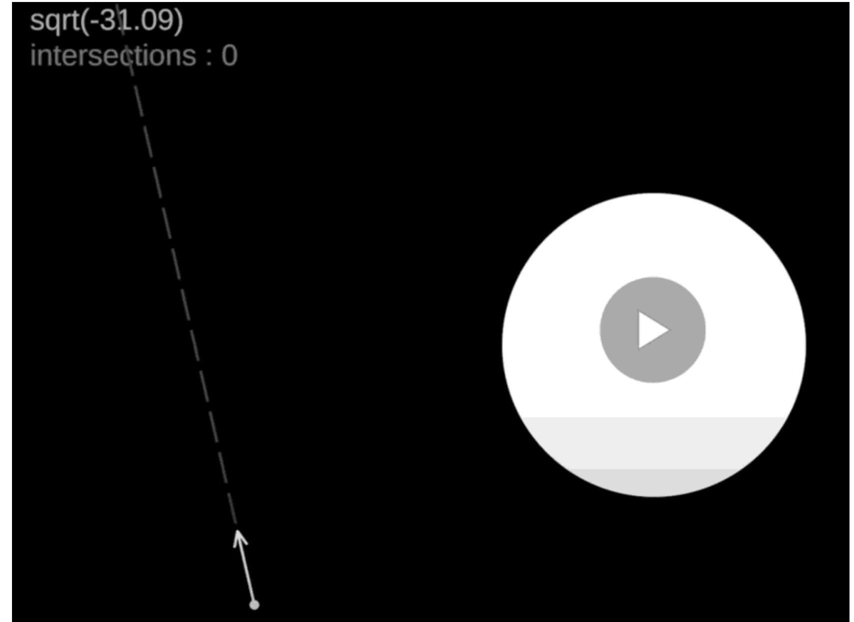
Se o delta:

- positivo: temos duas raízes
- zero: temos uma raiz
- negativo: não temos solução



Insper

Desenhando a esfera



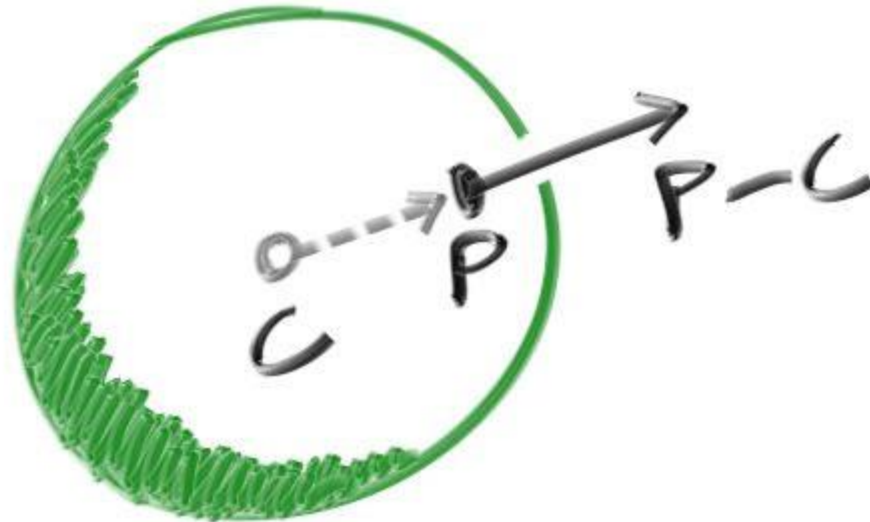
Fonte animação: [link]

Insper

Normais na Superfície

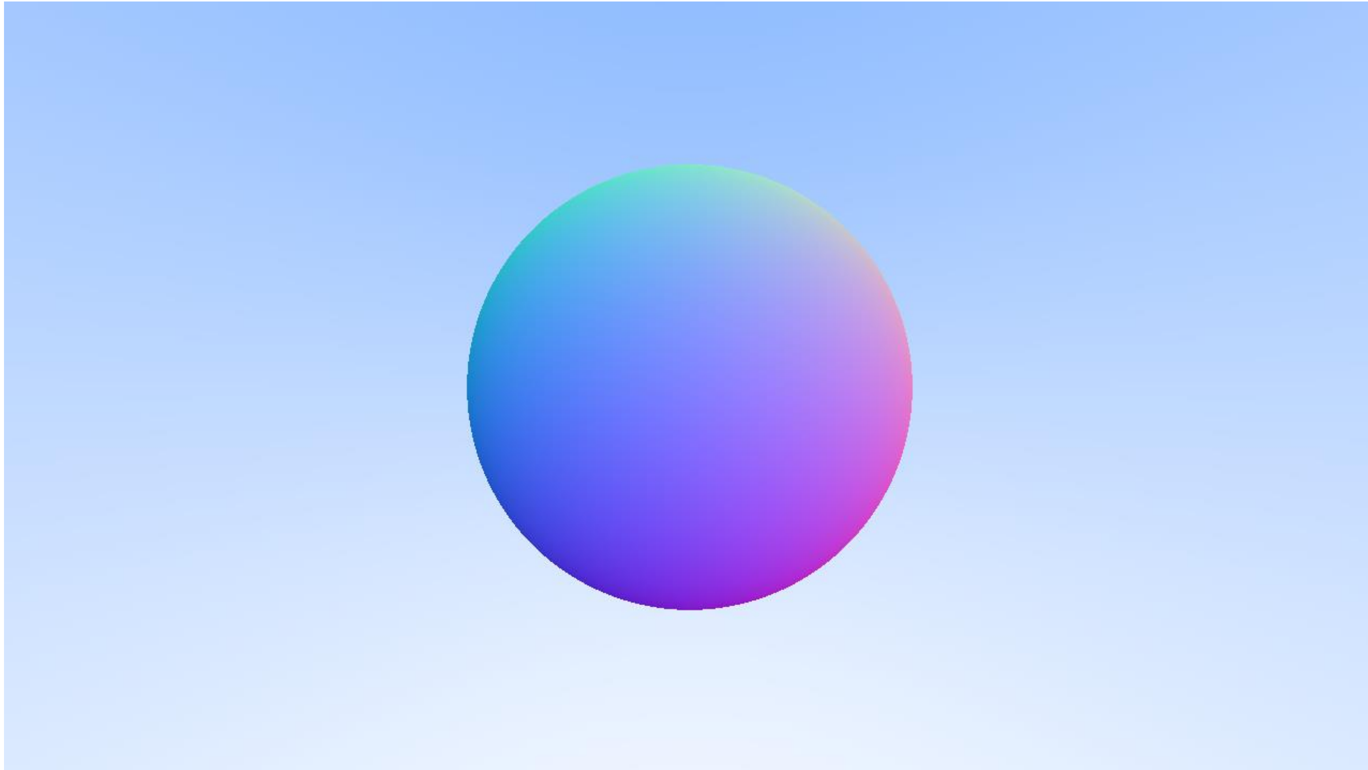
Para descobrir o vetor normal em um ponto na superfície de uma esfera, basta subtrair esse ponto do centro da esfera:

$$\vec{\mathbf{N}} = (\mathbf{P} - \mathbf{C})$$



Esfera exibindo valores das normais

Neste exemplo, os valores das normais (x,y,z) foram mapeados para as cores na superfície (r,b,g).



Insper

Simplificando o código de intersecção de raios

$$t^2\mathbf{b}\cdot\mathbf{b} + \boxed{2t\mathbf{b}(\mathbf{A}-\mathbf{C})} + \boxed{(\mathbf{A}-\mathbf{C})\cdot(\mathbf{A}-\mathbf{C})} - r^2 = 0$$

- Primeiro: o produto escalar de um vetor por ele mesmo é igual ao quadrado do módulo daquele vetor.
- Segundo: que o valor de b é uma multiplicação de 2, assim podemos colocar em evidência esse fator 2 e simplificar.

$$\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

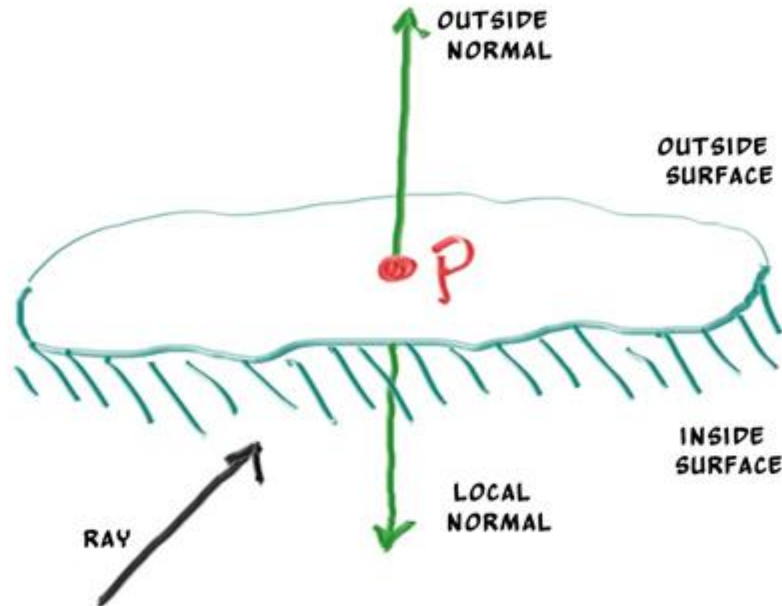
$$= \frac{-2h \pm \sqrt{(2h)^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-2h \pm 2\sqrt{h^2 - ac}}{2a}$$

$$= \frac{-h \pm \sqrt{h^2 - ac}}{a}$$

Face frontal e traseira

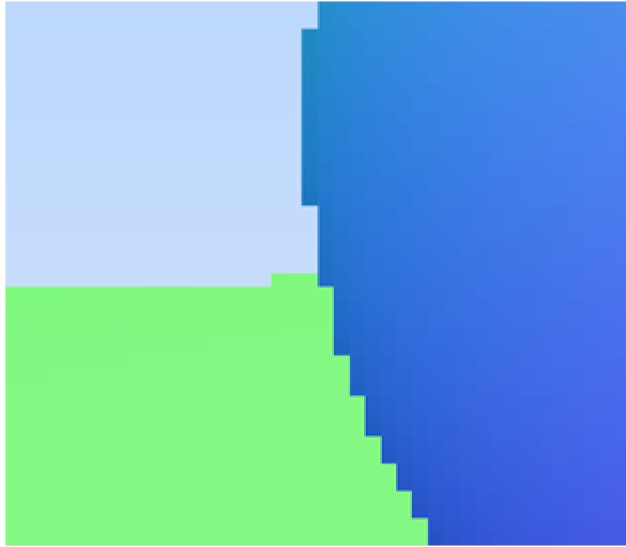
Os raios lançados podem intersectar as superfícies dos objetos pelo lado interno ou externo, para obter a direção basta fazer uma operação de produto escalar dos vetores.

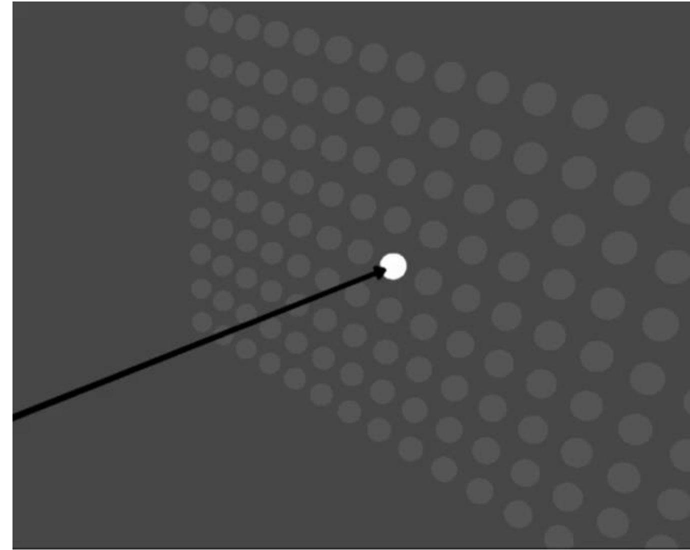


Insper

Antialiasing & Luz

Artefatos podem surgir nas bordas dos objetos na imagem.
Vamos fazer um antialising para reduzir esse problema.





Fonte animação: [link]

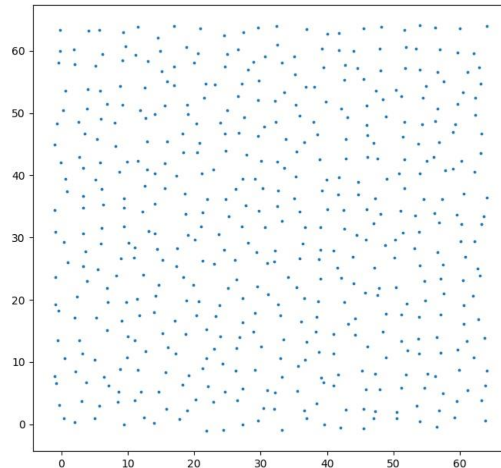
Vamos lançar vários raios por pixel?

Gerador de Números Aleatórios

Precisamos de uma rotina que gere números reais na faixa:
$0 \leq r < 1$

Além disso, precisamos de um gerador de números que gere um ponto aleatório dentro de um retangulo 2D.

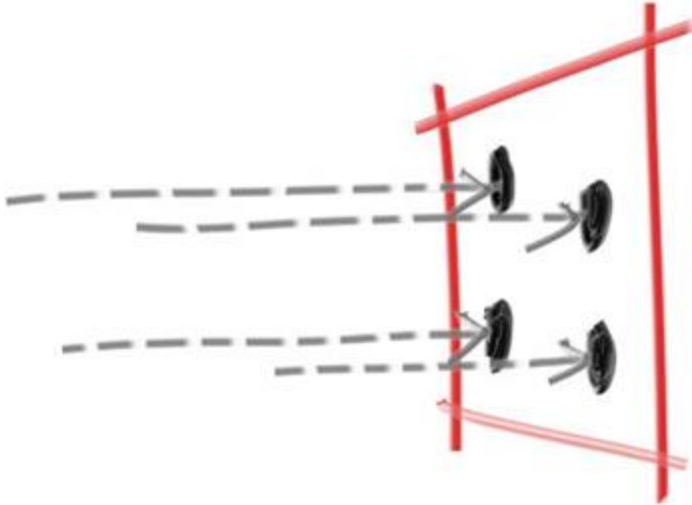
O WGSL (nenhuma linguagem de GPU) não possui uma função de números aleatórios de forma nativa. Assim temos de fazer uma.

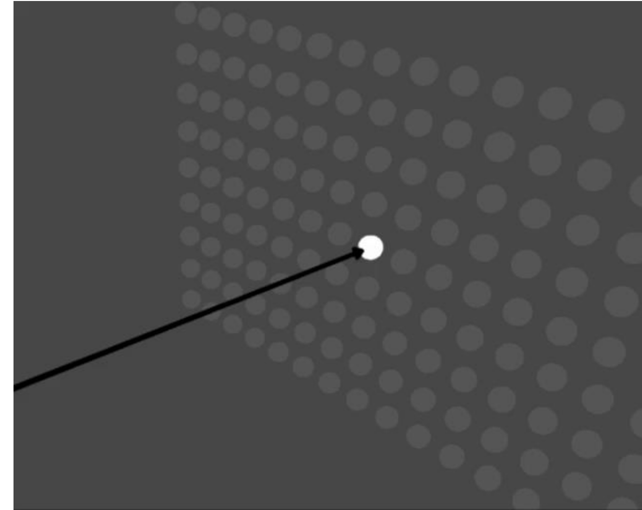


Insper

Várias amostras por pixel

Vamos lançar vários raios por pixel e depois fazer uma média.



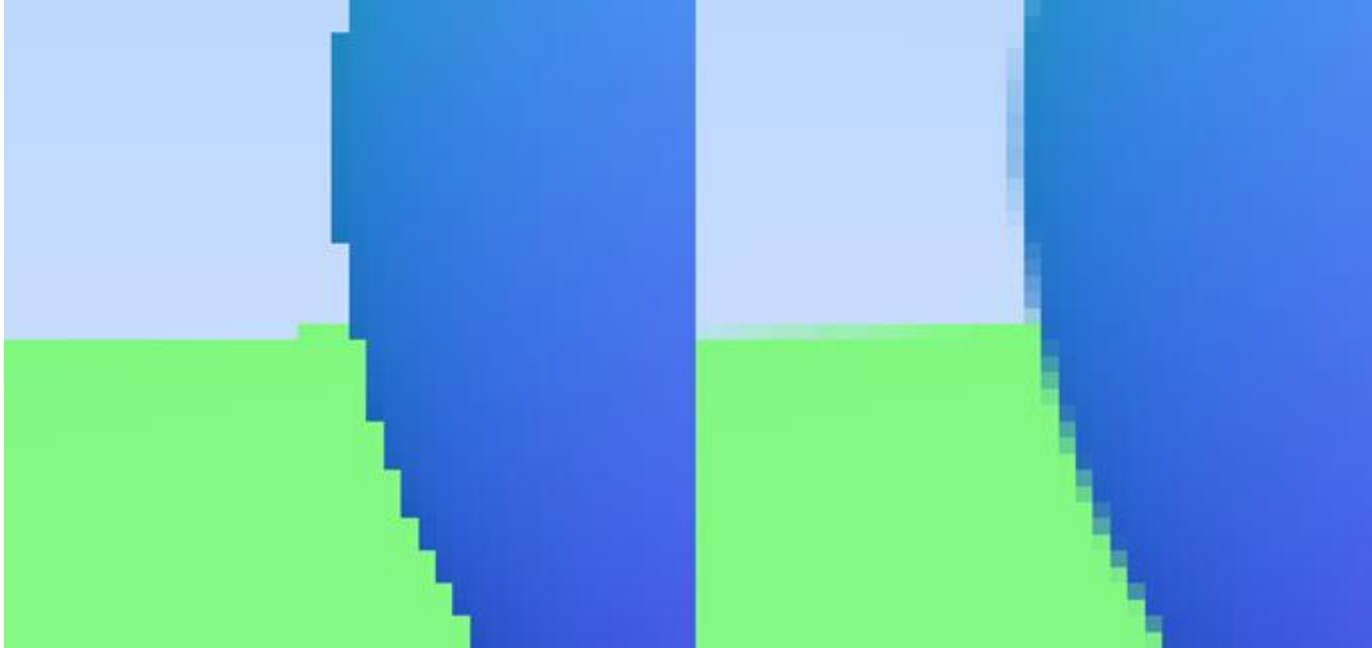


Fonte animação: [link]

```
fn sample_square(rngState: ptr<function, u32>) -> vec2f
{
  return vec2f(rng_next_float(rngState), rng_next_float(rngState));
}
var uv = (fragCoord + sample_square(&rng_state)) / vec2(rez);
```


Insper

Antes e depois do Antialiasing

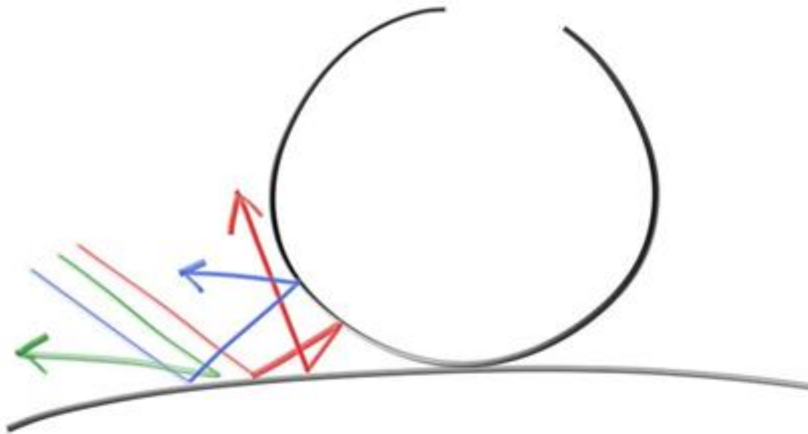


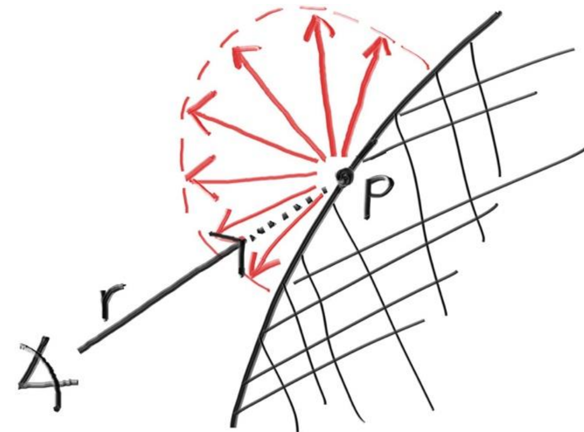
Somente anti-aliasing?
Gabarito do projeto: https://gubebra.itch.io/raytracing

Insper

Materiais difusos

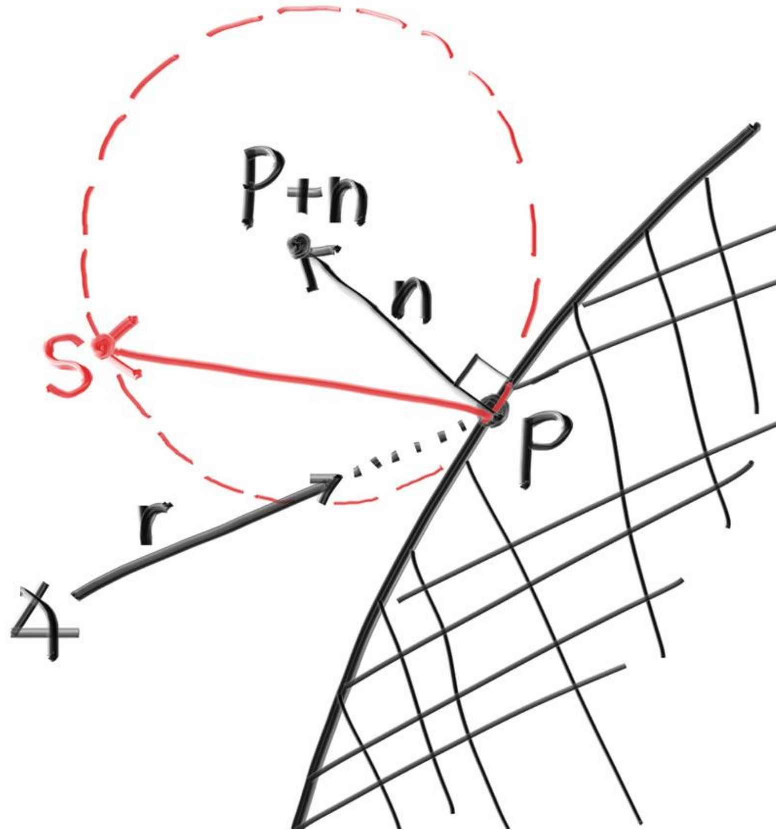
Os raios de luz que refletem em uma superfície difusa tem sua direção definida com uma certa aleatoriedade.





Insper

Reflexão Lambertiana



Normalize(Normal + RandomInSphere())

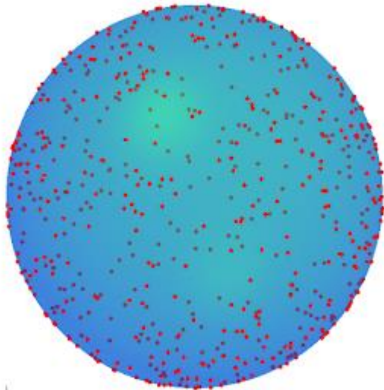
Lambertian distribution:

- A distribuição dispersa os raios refletidos de maneira proporcional a cos(ϕ)
- ϕ é o ângulo entre o raio refletido e a normal da superfície
- Isso significa que um raio refletido tem maior probabilidade de dispersar em uma direção próxima à normal da superfície
- Há menor probabilidade de dispersar em direções afastadas da normal

Reflexão Lambertiana

Função random: Ponto em uma esfera

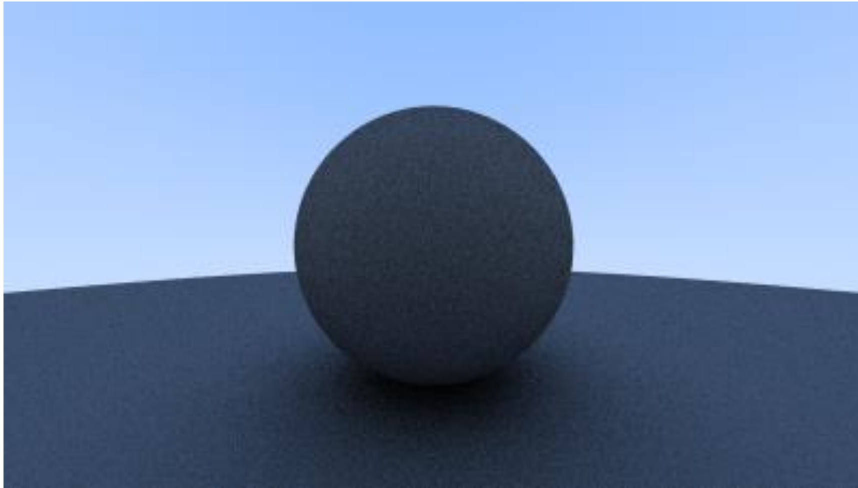
```
fn rng_next_vec3_in_unit_sphere(state: ptr<function, u32>) -> vec3<f32>
{
  var z = 2.0 * rng_next_float(state) - 1.0;
  var a = 2.0 * PI * rng_next_float(state);
  var r = sqrt(1.0 - z * z);
  var x = r * cos(a);
  var y = r * sin(a);
  return vec3(x, y, z);
}
```



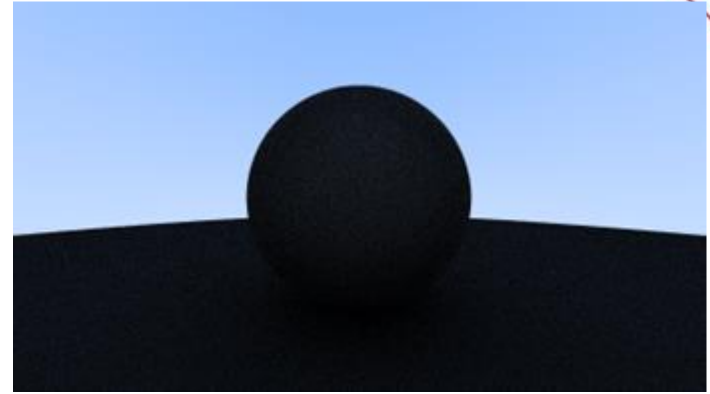
Insper

Resultado

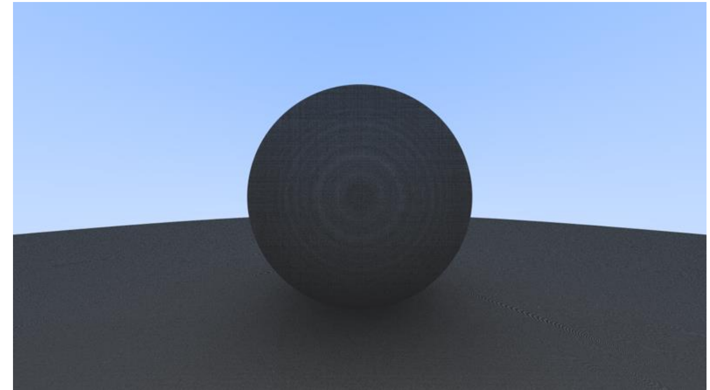
Parece que tem algo estranho.



Autor



ou



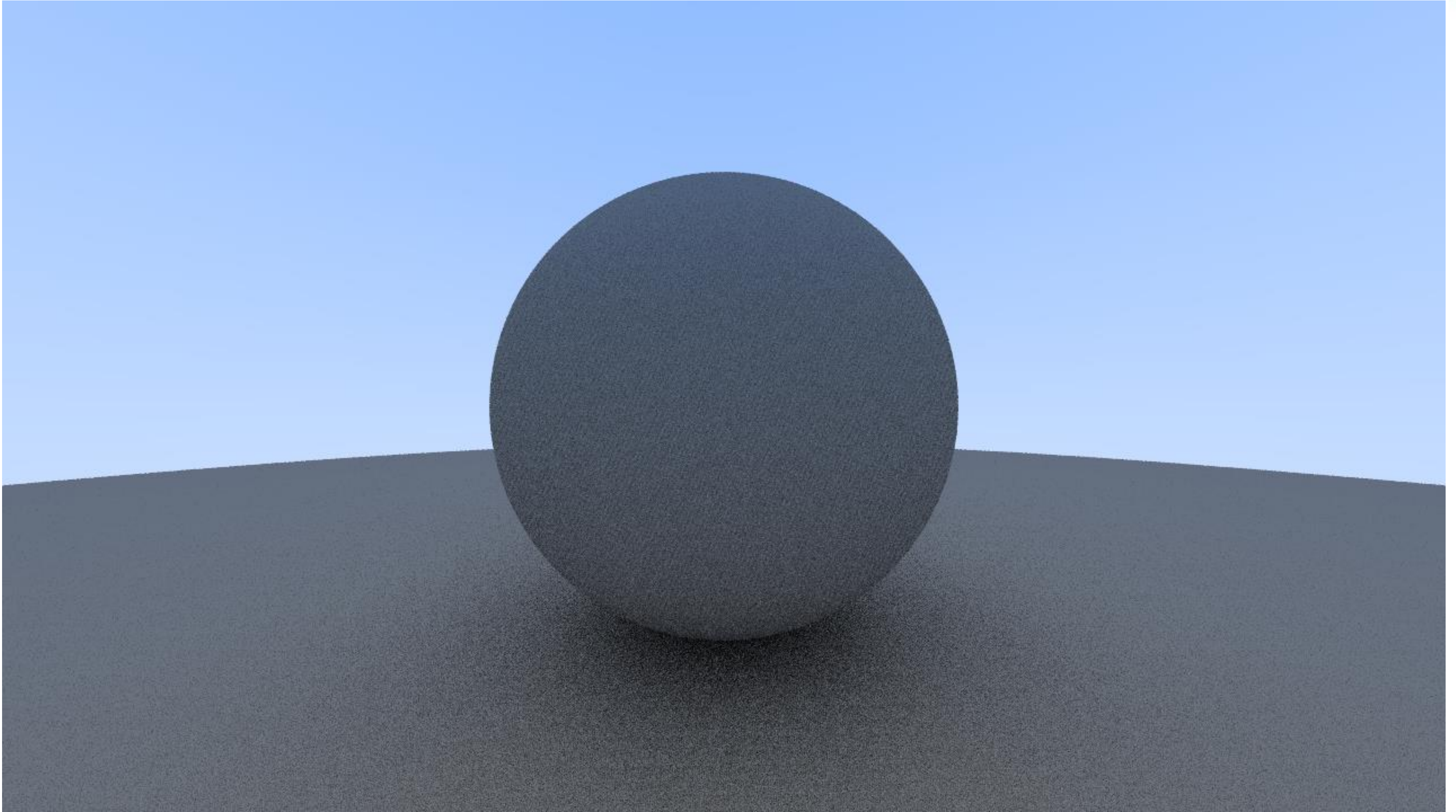
Professor

Shadow Acne - Os raios intersectam diretamente com a própria geometria.

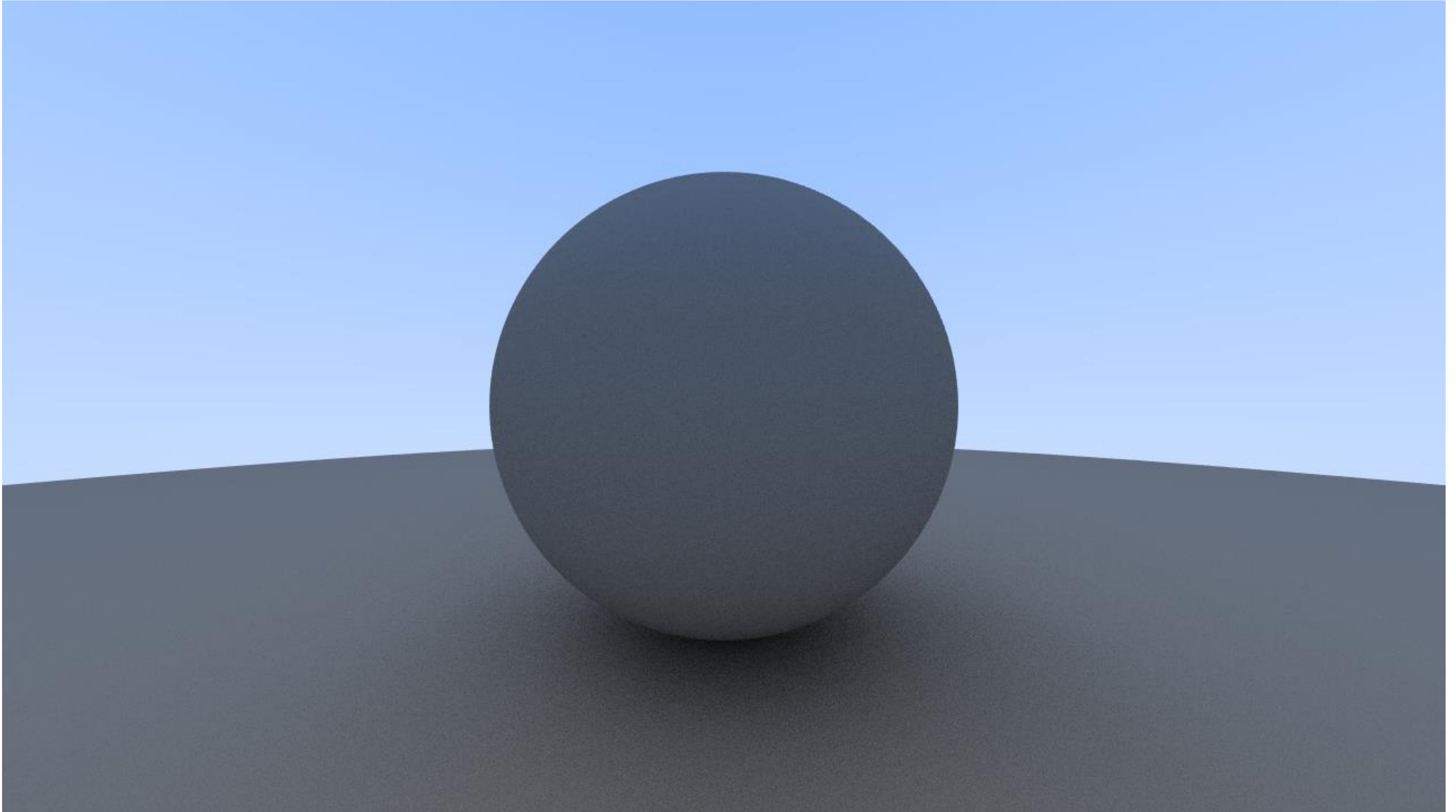
ou seja, um t=0.0001 de inicio de raio resolve!

Insper

Shadow Acne (10 amostras)



Shadow Acne (100 amostras)



Projeto Raytracer

Rubrica/Dicas/Código

https://github.com/Gustavobb/raytracing-wgsl-template - Fazer um fork

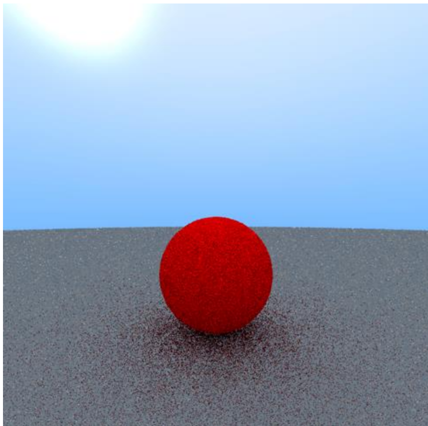
Insper

Projeto Raytracer

Se você fizer:

```
para cada raio (samples_per_pixel):
    crie um raio
    trace do raio:

    para cada bounce:
        para cada esfera (nesse caso):
            veja se a colisão foi encontrada (colisão mais perto) e pegue cor/material do objeto

        se colisão foi encontrada:
            calcule a nova direção do acordo com o material
            calcule a cor do raio de acordo com o material
            calcule a nova origem do raio de acordo com a colisão

        se colisão não foi encontrada:
            retorne a cor de fundo e cor do objeto

faça a média das cores dos raios
```

Com a aula de hoje, você chega (cena "Basic"):



Insper

Insper

Computação Gráfica

Luciano Soares
<lpsoares@insper.edu.br>

Fabio Orfali
<fabioo1@insper.edu.br>

Gustavo Braga
<gustavobb1@insper.edu.br>