Insper

Computação Gráfica

Aula 1: Introdução

Professores

Luciano P. Soares

Doutor em Engenharia de Computação
pela Escola Politécnica da USP

Fabio Orfali

Doutor em Ensino de Matemática e Ciências
na Faculdade de Educação da USP

Gustavo Braga

Engenheiro de Computação pelo Insper

Pedro Emil Freme

Game Designer pela Fatec

Insper

Sobre esse curso

Uma ampla visão geral dos principais tópicos e técnicas em computação gráfica: geometria, renderização, cores, texturas, iluminação, animação, imagens, etc.

Aprenda fazendo:

- Diversas atividades em aula para verificar, desenvolver e fixar suas habilidades;
- Desenvolvimento de projetos para colocar todo esse conhecimento para funcionar.

Horário de Atendimento

Quartas-feiras das 18:00 as 19:30
Link de Acesso Remoto do Teams:
- Luciano Soares: lucianops@insper.edu.br
- Fabio Orfali: fabioo1@insper.edu.br

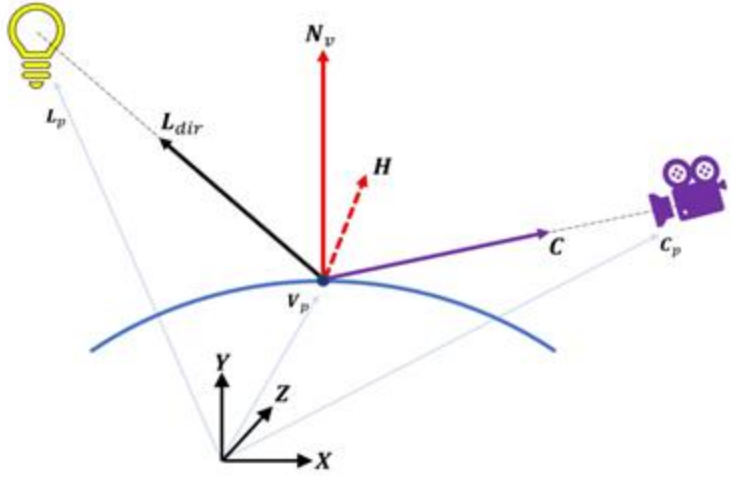
Computação Gráfica

Essa primeira parte da disciplina é baseada no curso de Berkeley CS184 e Stanford CS248. Qualquer semelhança não é mera coincidência.

Assim, já agradeço a todos pelos materiais encontrados na internet: Pat Hanrahan, Ren Ng, Kayvon Fatahalian, Keenan Crane, Mark Pauly, Steve Marschner, Kayvon Fatahalian, dentre outros.

Vai ter matemática nesse curso ?

Sim. Neste curso iremos bem a fundo no funcionamento dos algoritmos que geram os gráficos, e vocês verão na prática como o conhecimento matemático é importante.

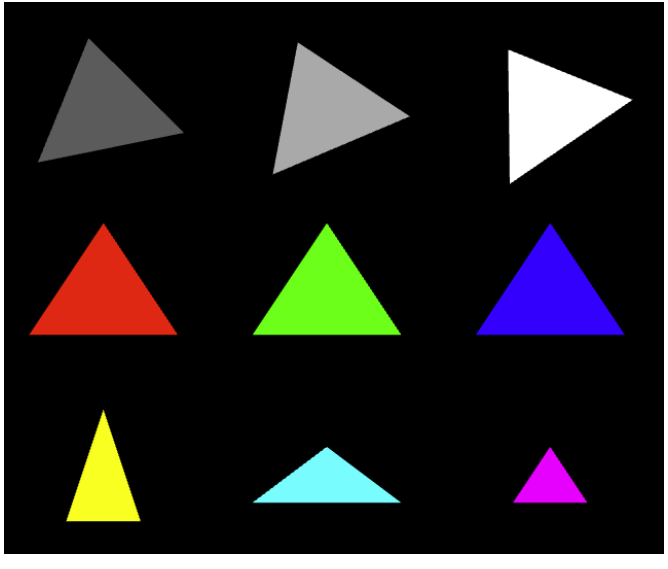


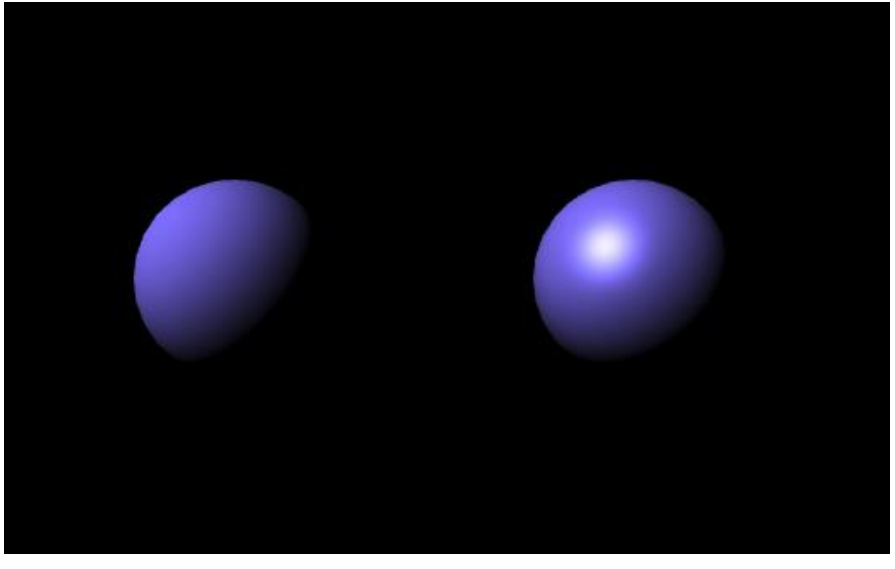
Avengers: Age of Ultron

Insper

E os resultados

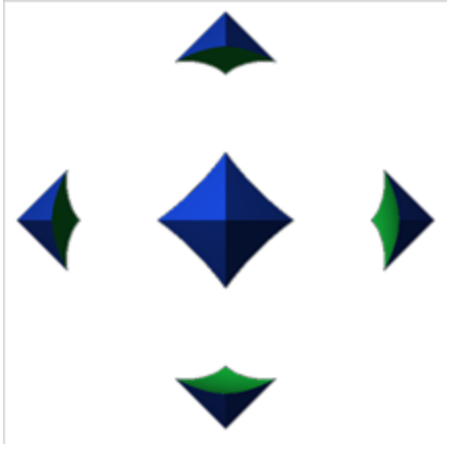
Começaremos com resultados bem simples.
Triângulos, Esferas,...

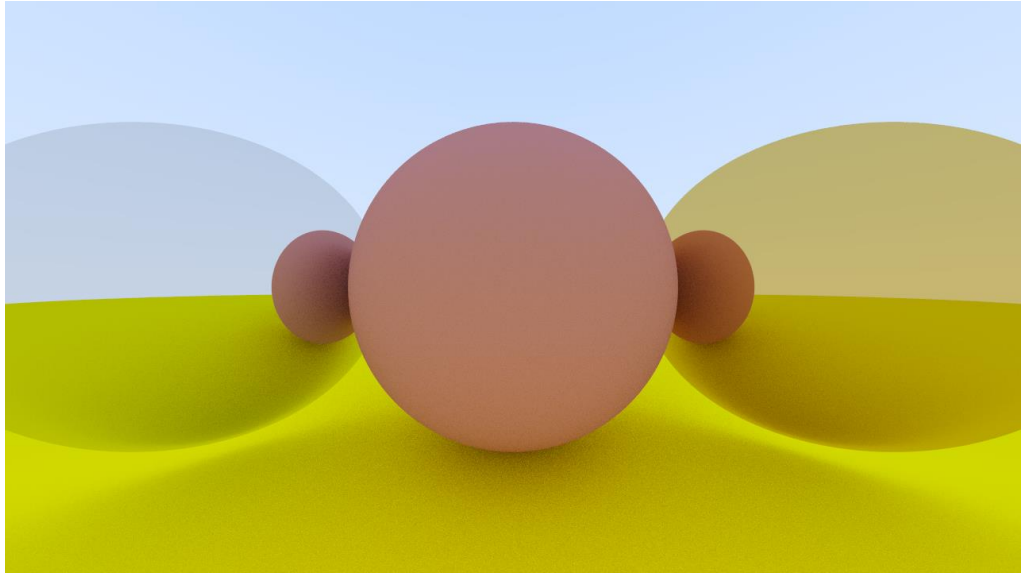




Podemos ir mais longe?

Na segunda parte do curso trabalharemos com ferramentas mais avançadas usando por exemplo *shaders*.





O foco não é mergulhar nas APIs Gráficas

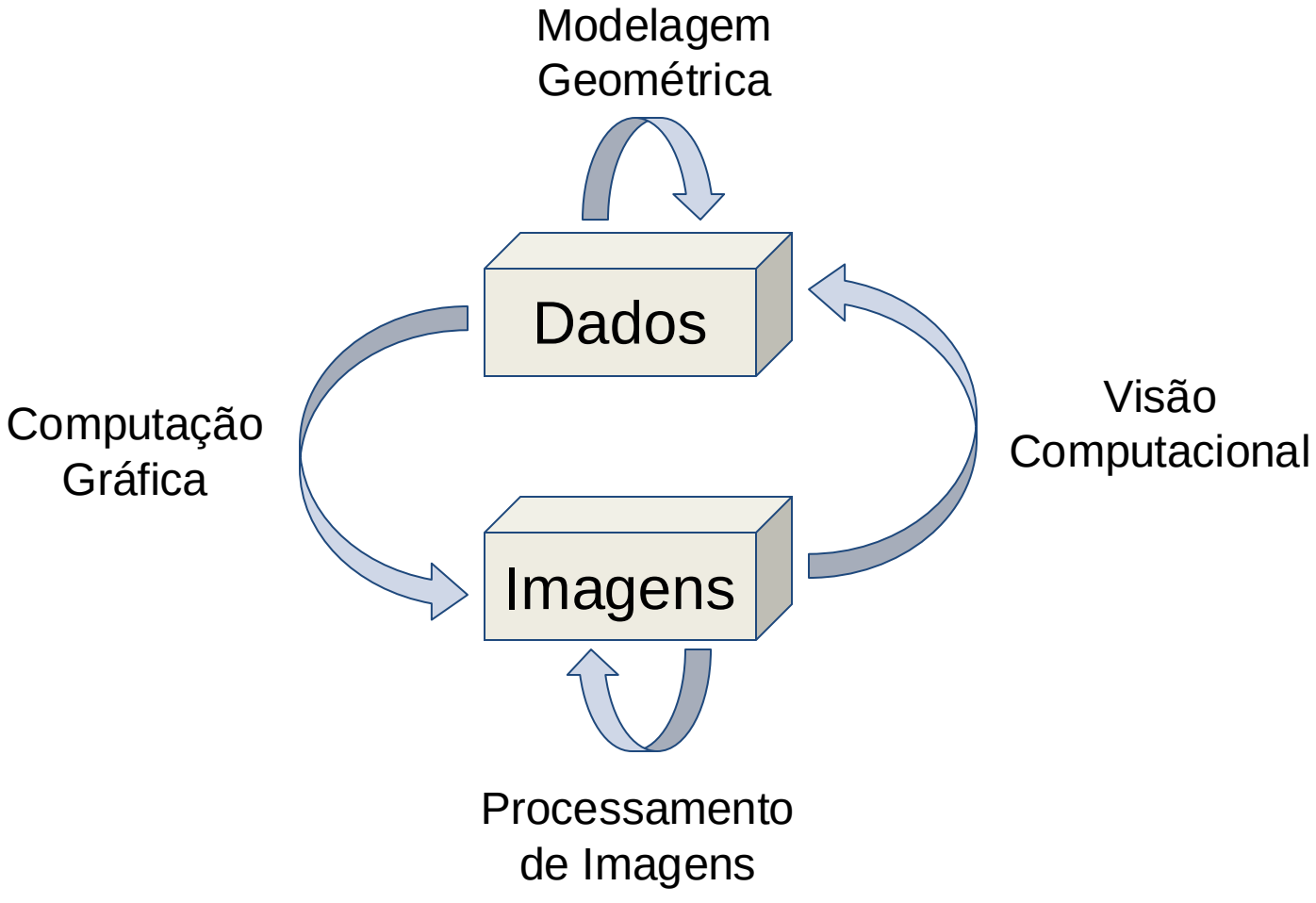
O que é Computação Gráfica?

Computação Gráfica

O uso de computadores para gerar e manipular informações visuais.

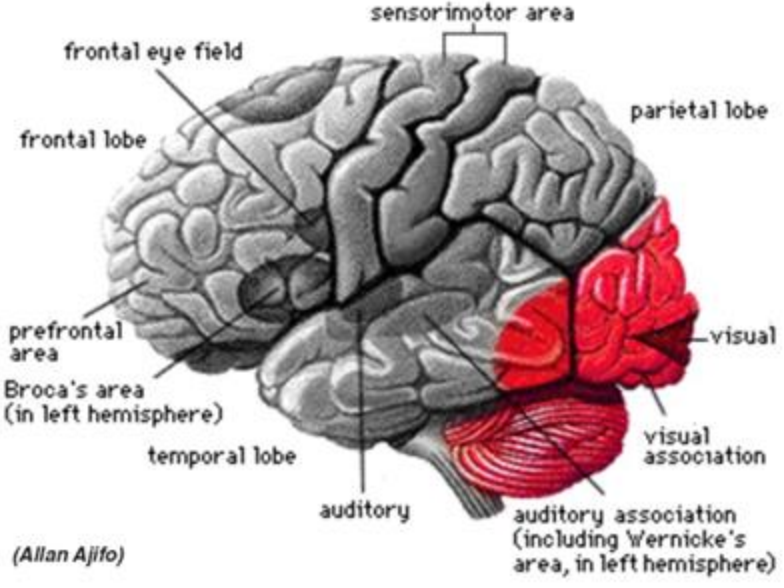
Lord of the Rings

Onde está a Computação Gráfica?



Por que Informação Visual

Cerca de 30% do cérebro é dedicado ao processamento visual...



Os olhos são a porta de acesso ao cérebro com maior largura de banda!

Insper

Usos da Computação Gráfica
Filmes

Avengers: Endgame

The Lion King

District 9

SIGGRAPH 2021 Computer Animation Festival

https://www.youtube.com/watch?v=3oXFgQTFx1M

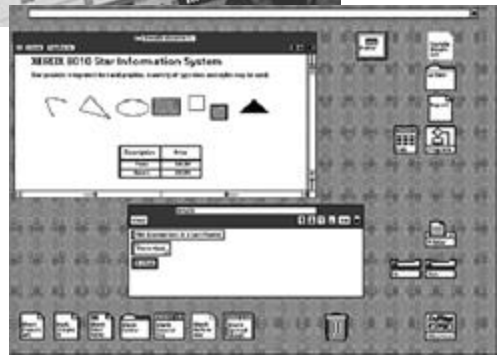
Insper

Usos da Computação Gráfica
Jogos Digitais


Uncharted 4 (Naughty Dog, 2016)


Assassin's Creed Odyssey (Ubisoft 2018)

Usos da Computação Gráfica
Interface Gráfica / Graphical User Interface



Insper

Usos da Computação Gráfica

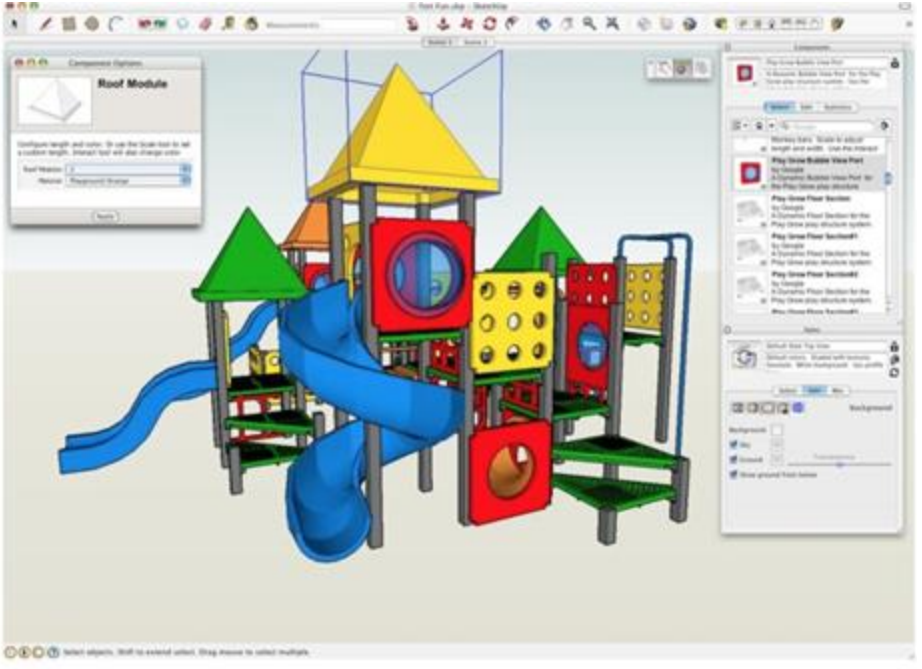
Imagem e terrenos para mapas

Mapas, fotos de satélite, imagens de ruas

Insper

Usos da Computação Gráfica
CAD (Computer-aided design)

SolidWorks



SketchUp

Para mecânica, arquitetura, eletrônica, ...

Insper

Usos da Computação Gráfica
Arquitetura

Bilbao Guggenheim, Frank Gehry

Heydar Aliyev Center, Zaha Hadid Architects

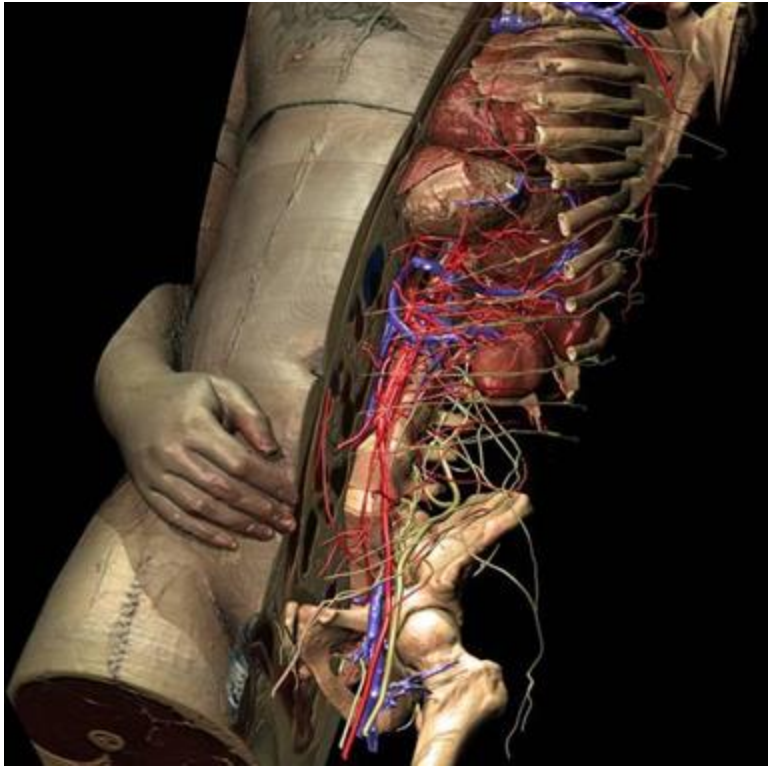
Usos da Computação Gráfica
Design de Produtos

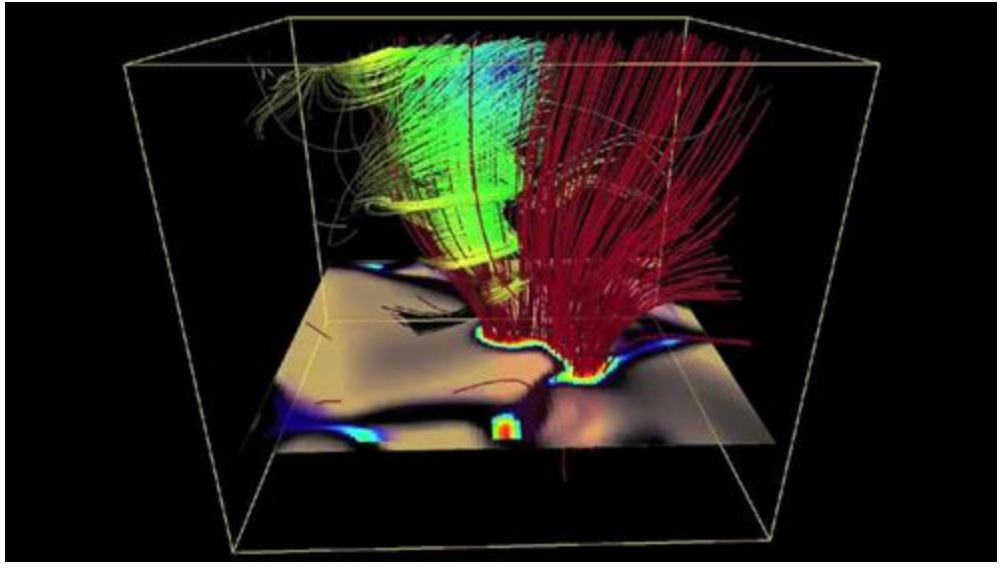
Tesla Model X

Ikea

75% do catálogo de produtos da Ikea são imagens renderizadas.

Usos da Computação Gráfica
Visualização





Científica, Engenharia, Medicina, Jornalismo, ...

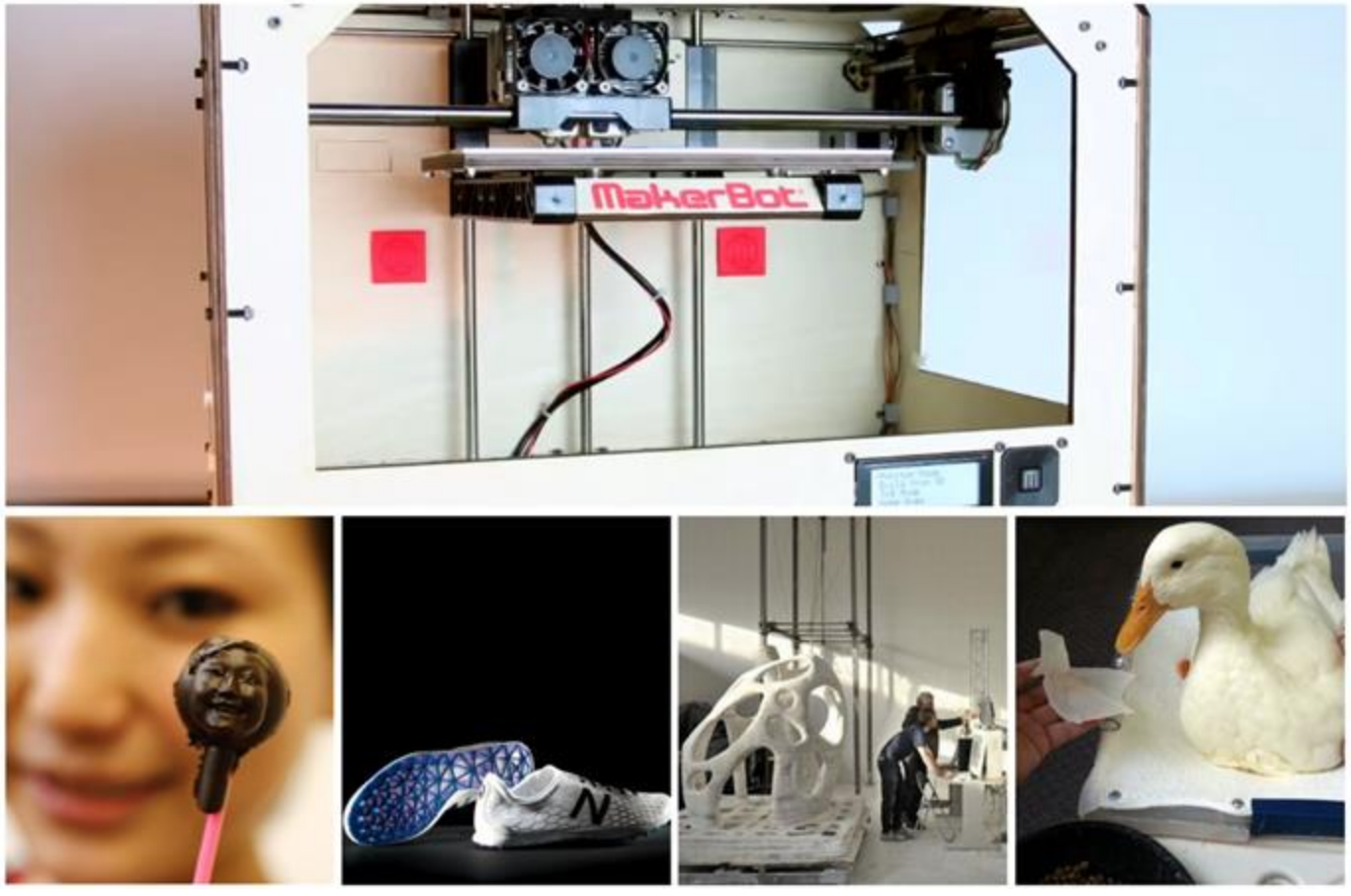
Usos da Computação Gráfica
Simulações

Driving simulator
Toyota Higashifuji Technical Center

da Vinci surgical robot
Intuitive Surgical

Simulador de voo, de direção, de cirurgia.

Usos da Computação Gráfica
Impressão 3D



Insper

Fundamentos da Computação Gráfica

Todas essas aplicações demandam!

Ciência e Matemática

- Física da luz, cores, óptica
- Cálculo de curvas, geometrias, perspectiva
- Amostragens

Arte e psicologia

- Percepção: cores, movimento, qualidade de imagem
- Arte e Design: composição, forma, iluminação

Supercomputação (GPUs)

Theoretical Performance	
Pixel Rate:	136.0 GPixel/s
Texture Rate:	420.2 GTexel/s
FP16 (half) performance:	26.90 TFLOPS (2:1)
FP32 (float) performance:	13.45 TFLOPS
FP64 (double) performance:	420.2 GFLOPS (1:32)

https://www.techpowerup.com/gpu-specs/geforce-rtx-2080-ti.c3305

Theoretical Performance	
Pixel Rate:	443.5 GPixel/s
Texture Rate:	1,290 GTexel/s
FP16 (half):	82.58 TFLOPS (1:1)
FP32 (float):	82.58 TFLOPS
FP64 (double):	1,290 GFLOPS (1:64)

https://www.techpowerup.com/gpu-specs/geforce-rtx-4090.c3889

Insper

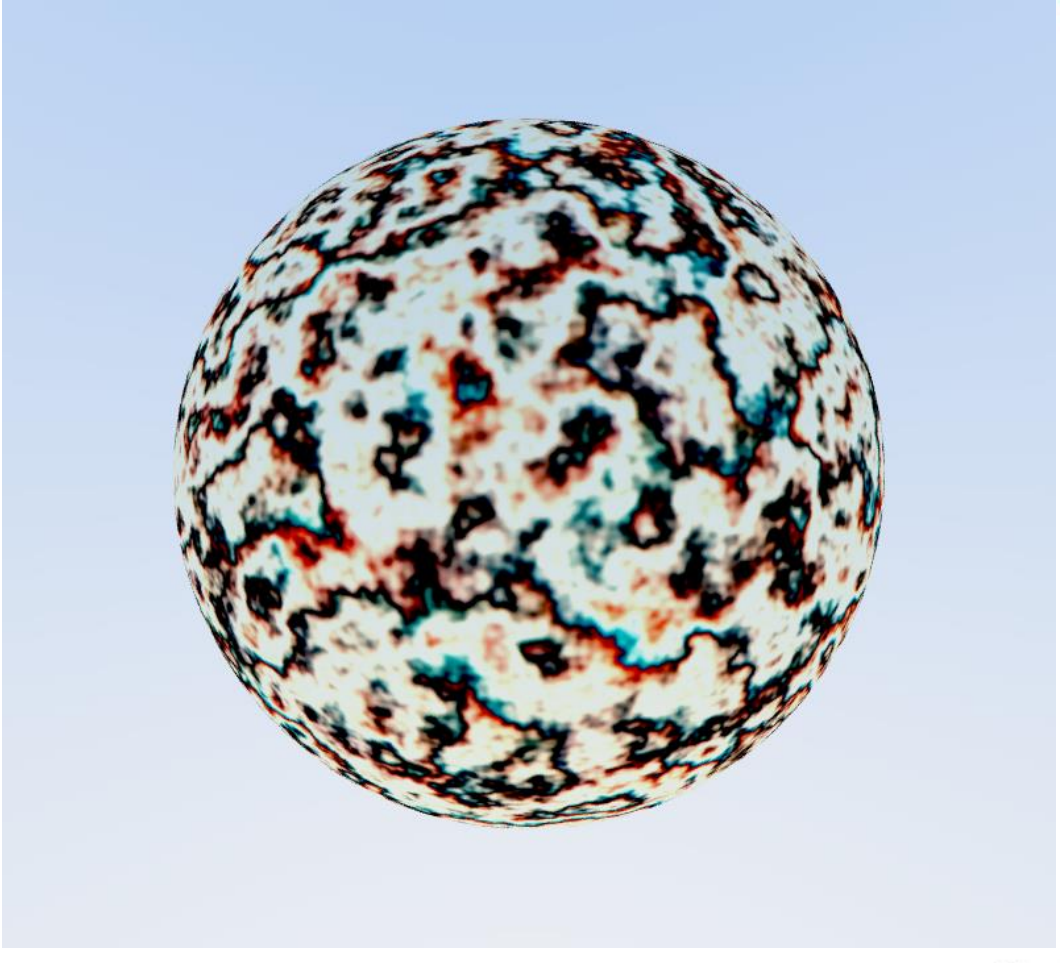
Objetivos de Aprendizagem

Ao final da disciplina o estudante será capaz de:

- Implementar algoritmos diversos de renderização 3D.
- Desenvolver rotinas gráficas através de técnicas de álgebra linear.
- *Desenvolver shaders* programáveis em bibliotecas gráficas de baixo nível.
- Compreender os diversos elementos das pipelines gráficas.

Aulas

- 01 - Introdução
- 02 - Desenhando Triângulos e X3D
- 03 - Renderização e Transformações Geométricas
- 04 - Coordenadas Homogêneas e Quatérnios
- 05 - Sistemas de Coordenadas
- 06 - Projeções Perspectiva
- 07 - Revisão 1
- 08 - Grafo de Cena
- 09 - Interpolação em Triângulos
- 10 - Anti-aliasing e Visibilidade
- 11 - Mapeamento
- 12 - Revisão 2
- 13 - Revisão 3
- 14 - Primitivas Geométricas
- 15 - Materiais e Iluminação
- 16 - Curvas e Animações
- 17 - Revisão 4
- 18 - Pipeline Gráfico
- 19 - Shaders
- 20 - Programmable Shaders
- 21 - Signed Distance Function
- 22 - Geometrias
- 23 - Ray Marching
- 24 - Sombras
- 25 - Ray Tracing
- 26 - Normal e Gradiente
- 27 - Aleatoriedade e Ruídos
- 28 - Revisão / Estúdio



Bibliografia

Os documentos passados nas aulas deveriam ser suficiente, mas se desejar, essas são excelentes fontes de informação:

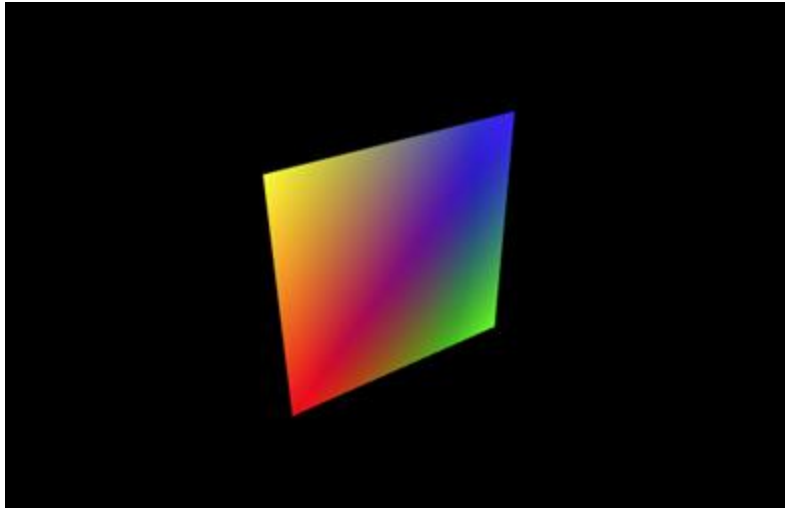
1	HUGHES, John F.; DAM, Andries van; MCGUIRE, Morgan; SKLAR, David F.; FOLEY, James D.; FEINER, Steven K.; AKELEY, Kurt. **Computer Graphics: Principles and Practice.** 3ª Ed. Addison-Wesley Professional; 2013.
2	GREGORY, Jason. **Game Engine Architecture.** 3ª Ed. A K Peters/CRC Press; 2018.
3	LENGYEL, Eric. **Mathematics for 3D Game Programming and Computer Graphics.** 3ª Ed. Cengage Learning PTR; 2011.

Avaliação

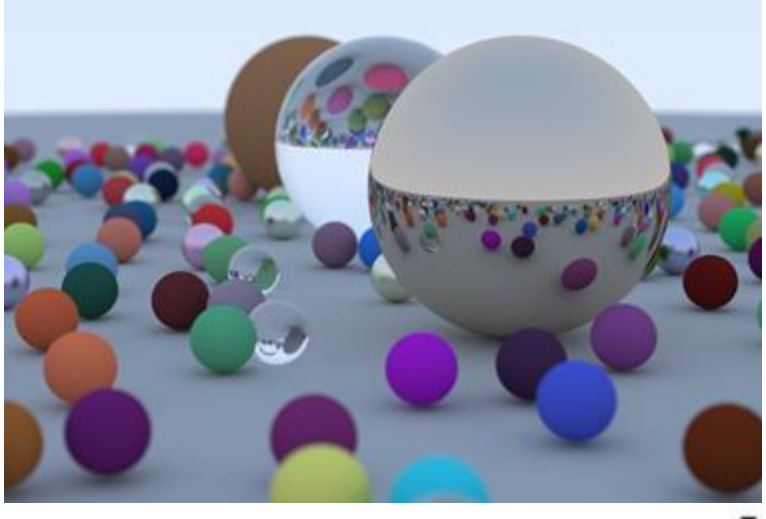
- Projetos do Curso : Projetos 1 e 2
  - Projetos terão entregas parciais
- Handouts Avaliativos
  - Alguns handout selecionados deverão ser entregues

Nota final é a média de todas as entregas

Projeto 1: Rasterizador (CPU)



Projeto 2: Shaders (GPU)



Política de Atrasos nas Entregas

As entregas são até 11:59 do dia marcado.

Para cada dia atrasado a nota é reduzida em 1 ponto.

(Isso não significa que todos que entregarem no prazo receberão 10, se o trabalho fosse receber 5 e chegou atrasado um dia, a nota do trabalho vai virar 4)

Ferramentas de Inteligência Artificial

Para as tarefas e discussões conceituais
pediremos que vocês não usem ferramentas de IA

Para exercícios práticos e projetos
use com moderação

Perguntas?

Insper

Computação Gráfica

X3D e Linhas

Como armazenar os dados da cena?

Nós precisamos de uma forma de armazenar os dados:

- Superfícies
- Materiais
- Animações
- Luzes
- Câmeras

Extensible Markup Language (XML)

- XML é usado para estruturar dados
- XML é codificado em texto
- XML lembra o HTML e específica do XHTML
- XML usa muito texto para organizar dados
- XML é livre de licença, independente de plataforma e bem suportado

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<texto>
        <frase>hello world</frase>
</texto>
```

Na prática as pessoas estão migrando de XML para JSON (JavaScript Object Notation)

XML - Elementos e Atributos

- O XML possui elementos que podem conter outros elementos
- Atributos são valores colocados dentro dos elementos

Elemento de Abertura: Shape	`<Shape>`
Elemento de Abertura: TriangleSet	`--- <TriangleSet>`
Elemento Singleton: Coordinate, atributo: point	`------- <Coordinate point='-5 1 3 -3 2 1 -5 4 0'/>`
Elemento de Fechamento: TriangleSet	`--- </TriangleSet>`
Elemento de Abertura: Appearance	`--- <Appearance>`
Elemento Singleton: Material, atributo: diffuseColor	`------- <Material diffuseColor='1 0 0'/>`
Elemento de Fechamento: Appearance	`--- </Appearance>`
Elemento de Fechamento: Shape	`</Shape>`

Computação Gráfica

X3D

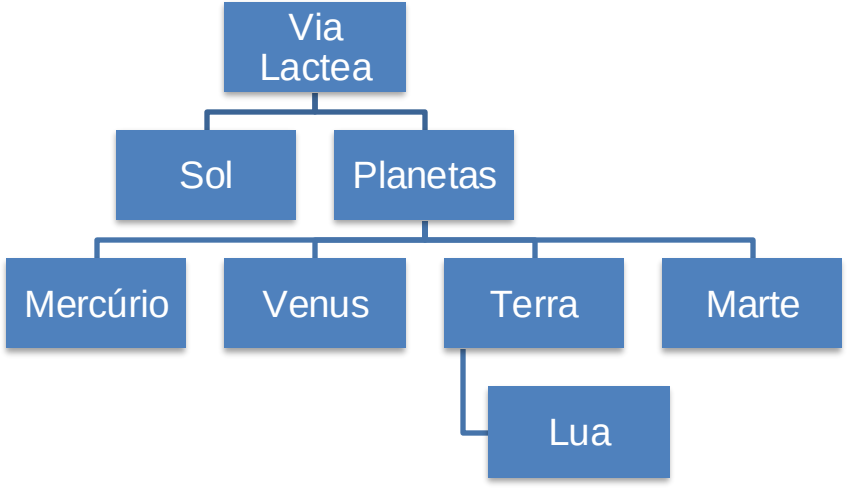
X3D

Formato Universal de Transferência de dados 3D

- Um padrão aberto
- Fácil de entender e modelar
- Portável entre plataformas
- Fácil de ensinar e programar

Grafo de Cena (Scene Graph)

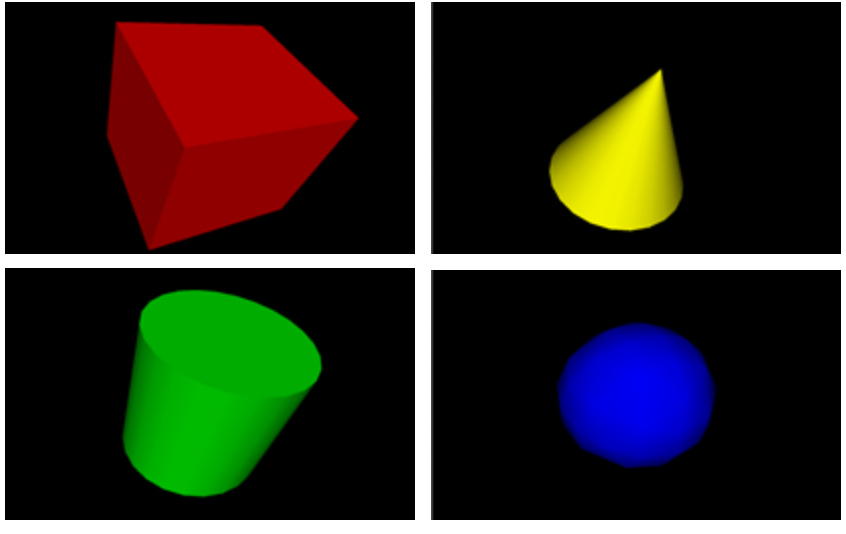
Estrutura de dados hierárquica de objetos gráficos para uma determinada cena. Objetos são representados como nós de um grafo, para posterior renderização.



Veremos mais sobre Grafo de Cena nas próximas aulas.

Exemplos de Tipos de Nós

- Geometrias
  - retas, curvas
  - cubos, esferas, cones, cilindros
  - malhas de polígonos
- Controle
  - Switch/Select
  - Group
- Propriedades
  - Cores
  - Materiais
  - Luzes
  - Câmera

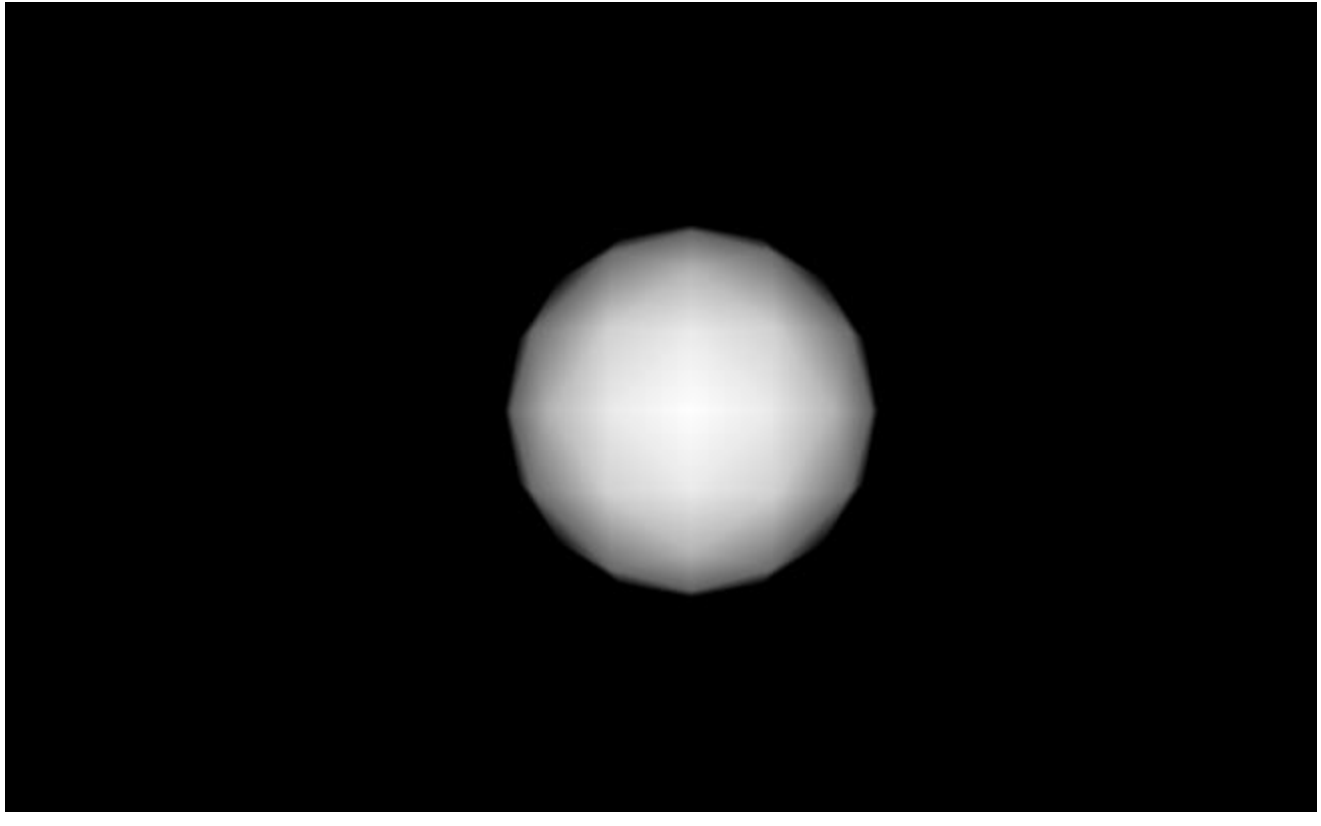


X3D XML (exemplo)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE X3D PUBLIC "http://www.web3d.org/specifications/x3d-3.0.dtd">
<X3D profile="Immersive">
<Scene>
    <NavigationInfo type="ANY"/>
    <Transform>
        <Shape>
            <Appearance>
                <Material diffuseColor=”1 1 1”/>
            </Appearance>
            <Sphere/>
        </Shape>
    </Transform>
</Scene>
</X3D>
```

Exemplo

Esfera Branca

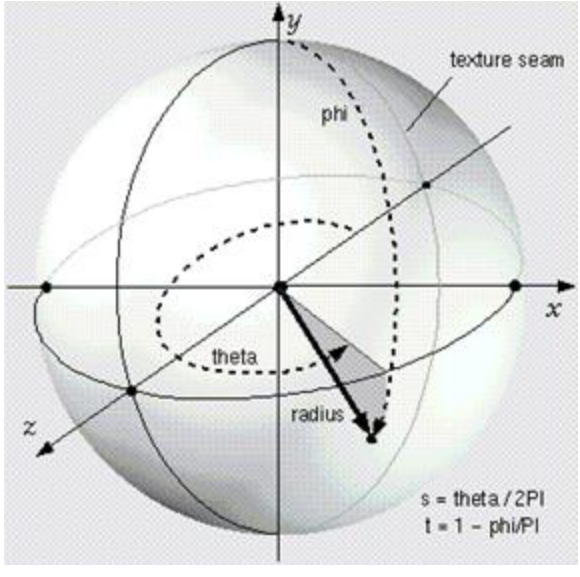


Abordagem do X3D (exemplo)

Sphere : X3DGeometryNode {

SFNode	[in,out]	metadata	NULL	[X3DMetadataObject]
SFFloat	[ ]	radius	1	(0,∞)
SFBool	[ ]	solid	TRUE	

}



Especificação X3D

https://www.web3d.org/documents/specifications/19775-1/V3.3/Part01/Architecture.html

Extensible 3D (X3D)
Part 1: Architecture and base components

ISO/IEC 19775-1:2013

This document is Edition 3 of ISO/IEC 19775-1, Extensible 3D (X3D). The full title of this part of the International Standard is: *Information technology — Computer graphics, image processing and environmental data representation — Extensible 3D (X3D) — Part 1: Architecture and base components*. **When navigating within this document, it is possible to return to the beginning of the document by clicking on the X3D logo.**

Background	Clauses		Annexes
Foreword	1 Scope	22 Environmental sensor component	A Core profile
Introduction	2 Normative references	23 Navigation component	B Interchange profile
	3 Terms, definitions, acronyms, and abbreviations	24 Environmental effects component	C Interactive profile
	4 Concepts	25 Geospatial component	D MPEG-4 interactive profile
	5 Field type reference	26 Humanoid animation (H-Anim) component	E Immersive profile
	6 Conformance	27 NURBS component	F Full profile
	7 Core component	28 Distributed interactive simulation (DIS) component	G Recommended navigation behaviours

alternativamente: https://www.web3d.org/documents/specifications/19775-1/V3.3/Part01/nodeIndex.html

Insper

Componentes de Geometria 2D

https://www.web3d.org/documents/specifications/19775-1/V3.3/Part01/components/geometry2D.html

Extensible 3D (X3D)
Part 1: Architecture and base components

14 Geometry2D component

14.1 Introduction

14.1.1 Name

The name of this component is "Geometry2D". This name shall be used when referring to this component in the COMPONENT statement (see 7.2.5.4 Component statement).

14.1.2 Overview

This clause describes the Geometry2D component of this part of ISO/IEC 19775. This includes how two-dimensional geometry is specified and what shapes are available. Table 14.1 provides links to the major topics in this clause.

Table 14.1 — Topics

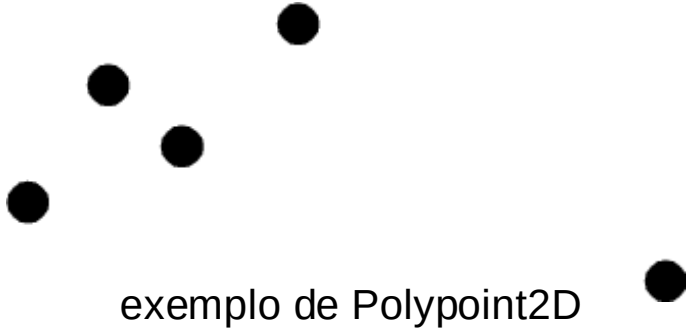
- 14.1 Introduction
  - 14.1.1 Name
  - 14.1.2 Overview
- 14.2 Concepts
  - 14.2.1 Overview of geometry

Insper

Polypoint2D

O nó **Polypoint2D** especifica uma série de vértices no sistema de coordenadas 2D local em cada um dos quais é exibido um ponto. O campo **points** especifica os vértices a serem exibidos.

```
Polypoint2D : X3DGeometryNode {
        SFNode              [in,out]    metadata   NULL      [X3DMetadataObject]
        MFVec2f   [in,out]  point                  []                (-∞,∞)
}
```



exemplo de Polypoint2D
(com vértices ampliados)

Polyline2D

O nó **Polyline2D** especifica uma série de segmentos de linha contiguos no sistema de coordenadas 2D local conectando os vértices especificados. O campo **lineSegments** especifica os vértices a serem conectados.

```
Polyline2D : X3DGeometryNode {
    SFNode                  [in,out]    metadata        NULL        [X3DMetadataObject]
    MFVec2f    []                       lineSegments    []          (-∞,∞)
}
```

exemplo de Polyline2D

TriangleSet2D

O nó **TriangleSet2D** especifica um conjunto de triângulos no sistema de coordenadas 2D local. O campo **vertices** especifica os triângulos a serem exibidos. O número de vértices fornecidos deve ser igualmente divisível por três. O excesso de vértices deve ser ignorado.

TriangleSet2D : X3DGeometryNode {				
SFNode	[in,out]	metadata NULL	[X3DMetadataObject]	
MFVec2f	**[in,out]**	**vertices**	**[]**	**(-∞,∞)**
SFBool	[]	solid	FALSE	
}				

exemplo de TriangleSet2D

Appearance

O nó **Appearance** especifica as propriedades visuais da geometria. O campo material, se especificado, deve conter um nó Material.

```
Appearance : X3DAppearanceNode {
    SFNode  [in,out]  fillProperties      NULL  [FillProperties]
    SFNode  [in,out]  lineProperties      NULL  [LineProperties]
    SFNode  [in,out]  material            NULL  [X3DMaterialNode]
    SFNode  [in,out]  metadata            NULL  [X3DMetadataObject]
    MFNode  [in,out]  shaders             []    [X3DShaderNode]
    SFNode  [in,out]  texture             NULL  [X3DTextureNode]
    SFNode  [in,out]  textureTransform    NULL  [X3DTextureTransformNode]
}
```

Material

O nó **Material** especifica propriedades de material de superfície para nós de geometria associados e é usado pelas equações de iluminação X3D durante a renderização.

Material : X3DMaterialNode {				
SFFloat	[in,out]	ambientIntensity	0.2	[0,1]
SFColor	[in,out]	diffuseColor	0.8 0.8 0.8	[0,1]
SFColor	**[in,out]**	**emissiveColor**	**0 0 0**	**[0,1]**
SFNode	[in,out]	metadata	NULL	[X3DMetadataObject]
SFFloat	[in,out]	shininess	0.2	[0,1]
SFColor	[in,out]	specularColor	0 0 0	[0,1]
SFFloat	[in,out]	transparency	0	[0,1]
}				

Exemplos

***X3D Example Archives:* X3D for Web Authors, Chapter 10 Geometry 2D, Polyline 2D**

Example of Polyline2D showing multiple 2D line segments.

X3D model | ClassicVRML | VRML97 | Canonical XML | annotated documentation | .py python

X_ITE | X3DOM | .json (check) | .x3db Binary | .java source (Javadoc) | .ttl Turtle (query)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE X3D PUBLIC "ISO//Web3D//DTD X3D 3.3//EN" "http://www.web3d.org/specifications/x3d-3.3.dtd">
<X3D profile='Immersive' version='3.3' xmlns:xsd='http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance' xsd:noNamespaceSchemaLocation =' http://www.web3d.org/specifications/x3d-3.3.xsd '>
    <head>
        <component level='2' name='Geometry2D'/>
        <meta name='title' content='Polyline2D.x3d'/>
        <meta name='description' content='Example of Polyline2D showing multiple 2D line segments.'/>
        <meta name='creator' content='Leonard Daly and Don Brutzman'/>
        <meta name='created' content='17 April 2006'/>
        <meta name='modified' content='20 October 2019'/>
        <meta name='reference' content=' http://X3dGraphics.com '/>
        <meta name='reference' content=' https://www.web3d.org/x3d/content/examples/X3dResources.html '/>
        <meta name='rights' content='Copyright 2006, Daly Realism and Don Brutzman'/>
        <meta name='subject' content=' X3D book, X3D graphics, X3D-Edit, http://www.x3dGraphics.com '/>
        <meta name='identifier' content=' http://X3dGraphics.com/examples/X3dForWebAuthors/Chapter10Geometry2D/Polyline2D.x3d '/>
        <meta name='generator' content='X3D-Edit 3.3, https://savage.nps.edu/X3D-Edit'/>
        <meta name='license' content=' ../license.html'/>
    </head>
```

***Index for DEF node* : MagentaAppearance**

Exemplo:
https://x3dgraphics.com/examples/X3dForWebAuthors/Chapter10Geometry2D/Polyline2DIndex.html

Visualizando X3D online

Uma forma é criar um HTML é chamar os scripts em Javascript para rodar seu X3D diretamente.

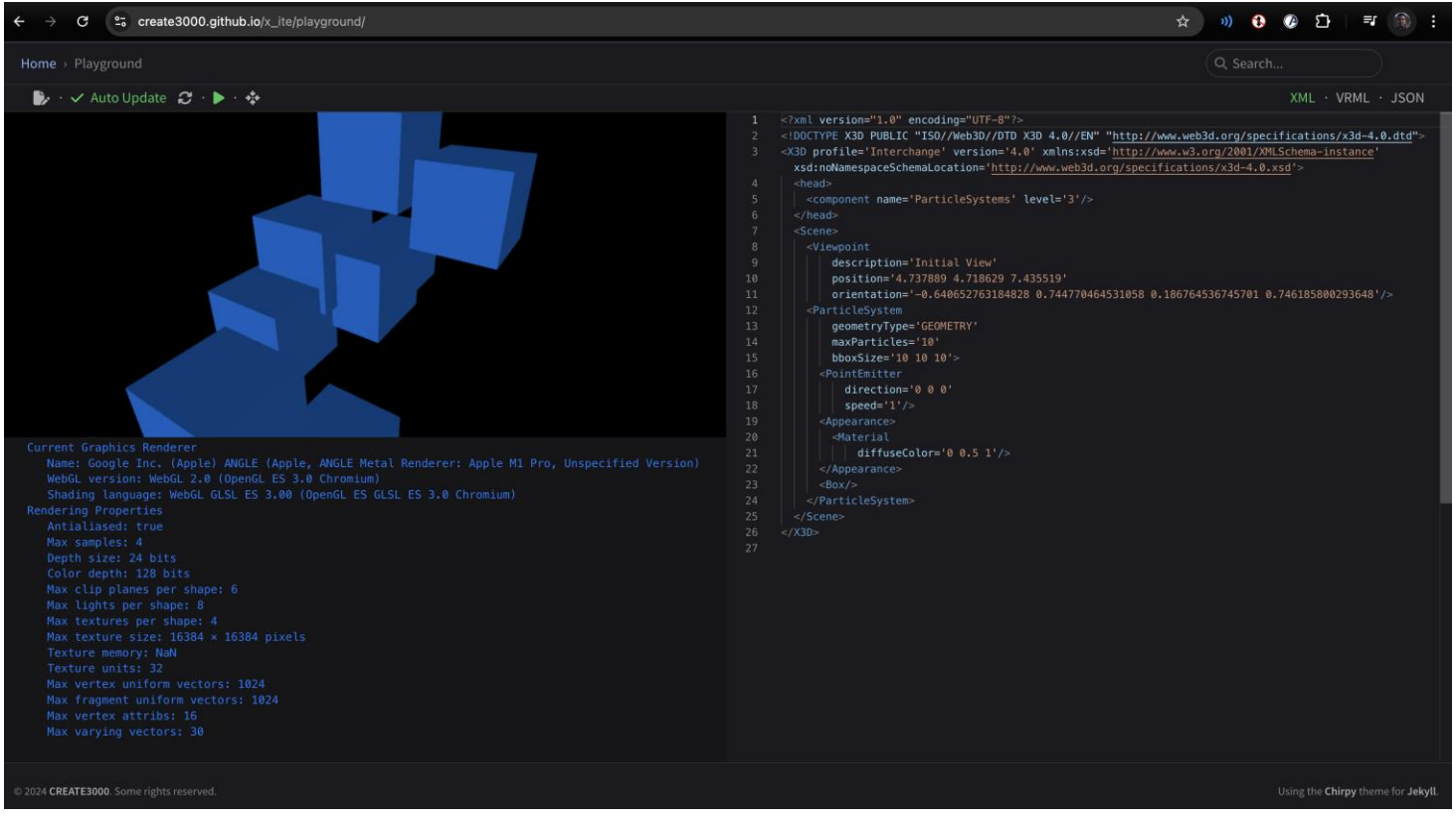
```
<html>
  <head>
    <script src="https://create3000.github.io/code/x_ite/latest/x_ite.min.js"></script>
  </head>
  <body>
    <x3d-canvas src="triang3d.x3d"></x3d-canvas>
  </body>
</html>
```

Outra forma é abrindo o arquivo X3D em alguma plataforma web que suporte o formato. Por exemplo:

https://create3000.github.io/x_ite/playground/

X_ITE X3D Browser

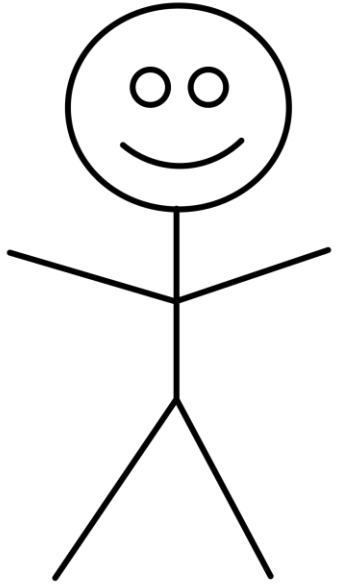
https://create3000.github.io/x_ite/playground/



Insper

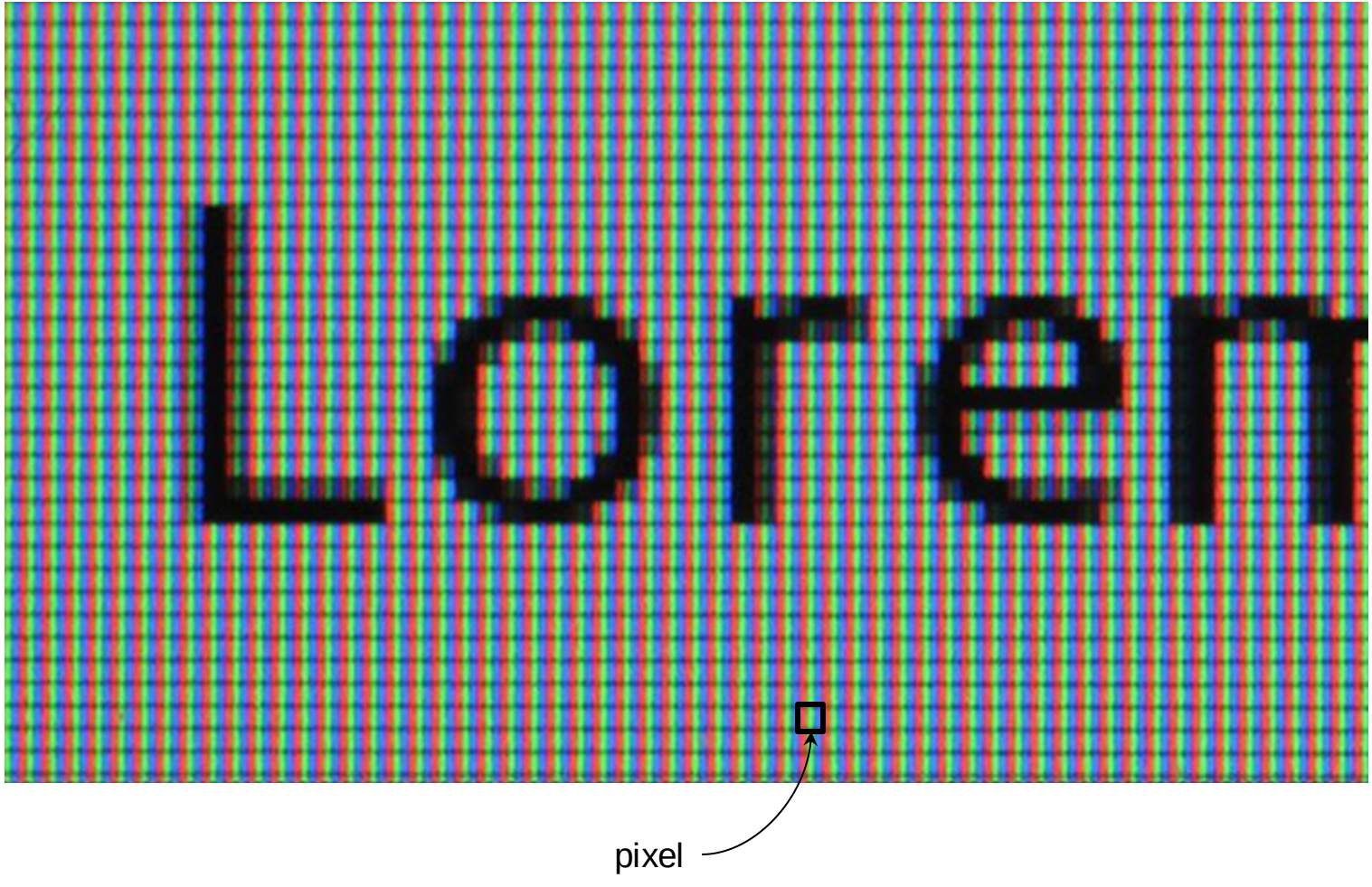
Atividade – Crie um Boneco Palito em X3D

Desenhe um boneco palito em X3D. Use os recursos que achar mais conveniente para desenhar seu boneco.



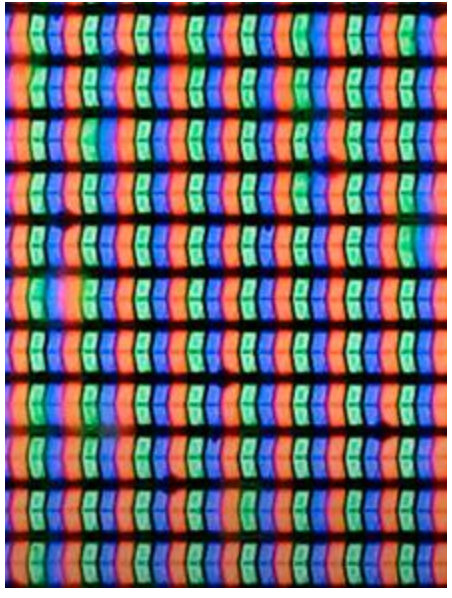
Como se desenham linhas no computador?

Funcionamento dos Displays



Funcionamento dos Displays

iPhone X

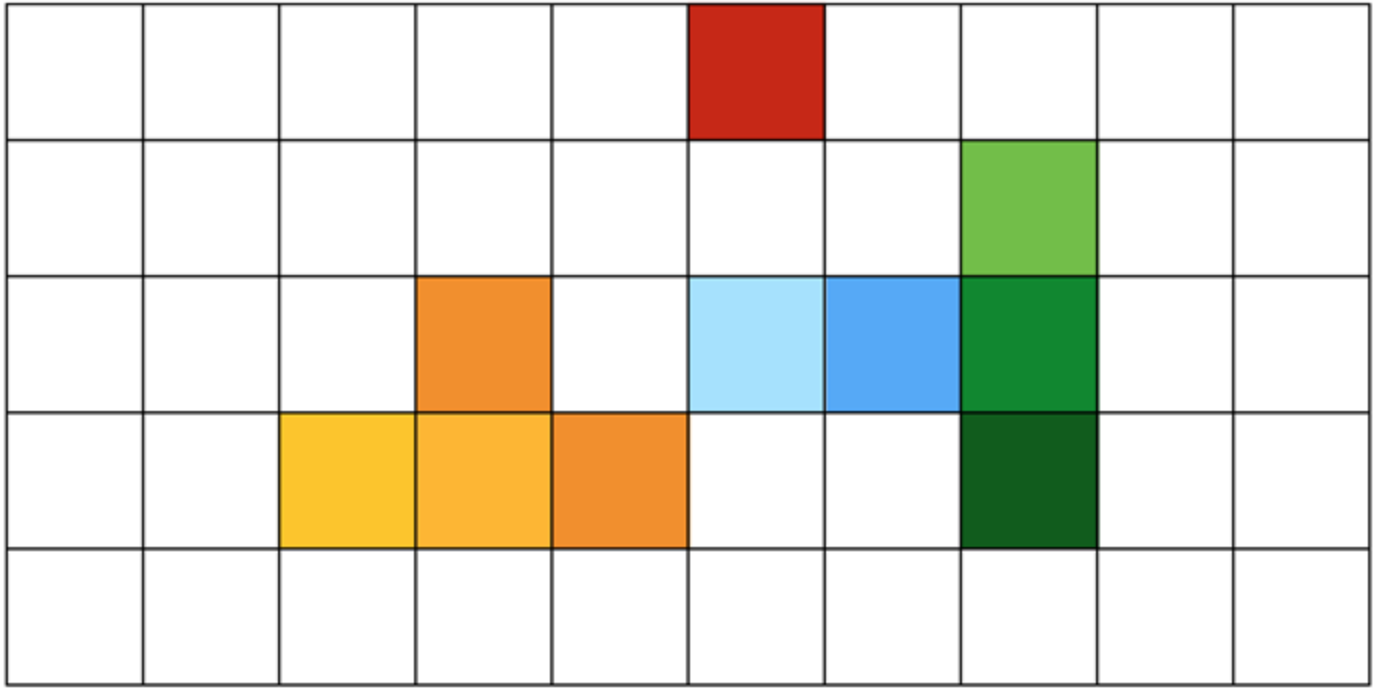


iPhone 8

Insper

Como as imagens são representadas

As imagens são representadas com um grid 2D de pixels (**pi**cture **x el**ement). Cada pixel possui uma cor e brilho.



Profundida de cores

A profundidade de cor indica a quantidade de memória usada para representar os canais de cores de cada pixel.

Tradicionalmente usamos 8 bits por canal de cor, ordenados em vermelho(R), Verde(G) e Azul(B), levando a 24 bits por pixel.

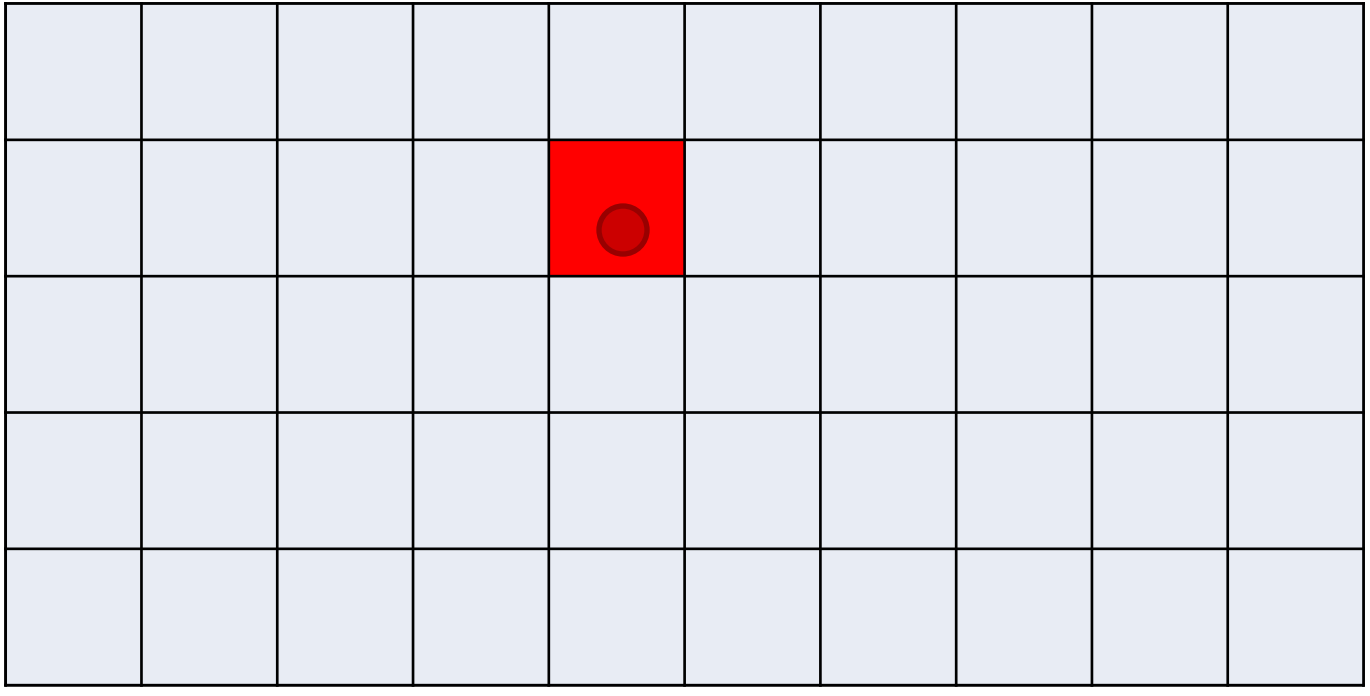
	#FFFFFF	White RGB(255, 255, 255)
	#FFC0CB	Pink RGB(255, 192, 203)
	#FF0000	Red RGB(255, 0, 0)
	#FFA500	Orange RGB(255, 165, 0)
	#FFFF00	Yellow RGB(255, 255, 0)
	#008000	Green RGB(0, 128, 0)
	#00FFFF	Cyan/Aqua RGB(0, 255, 255)
	#0000FF	Blue RGB(0, 0, 255)
	#800080	Purple RGB(128, 0, 128)

Frame Buffer

Memória (usualmente na placa gráfica) que armazena esse grid de pixels para depois ser enviado para o display.

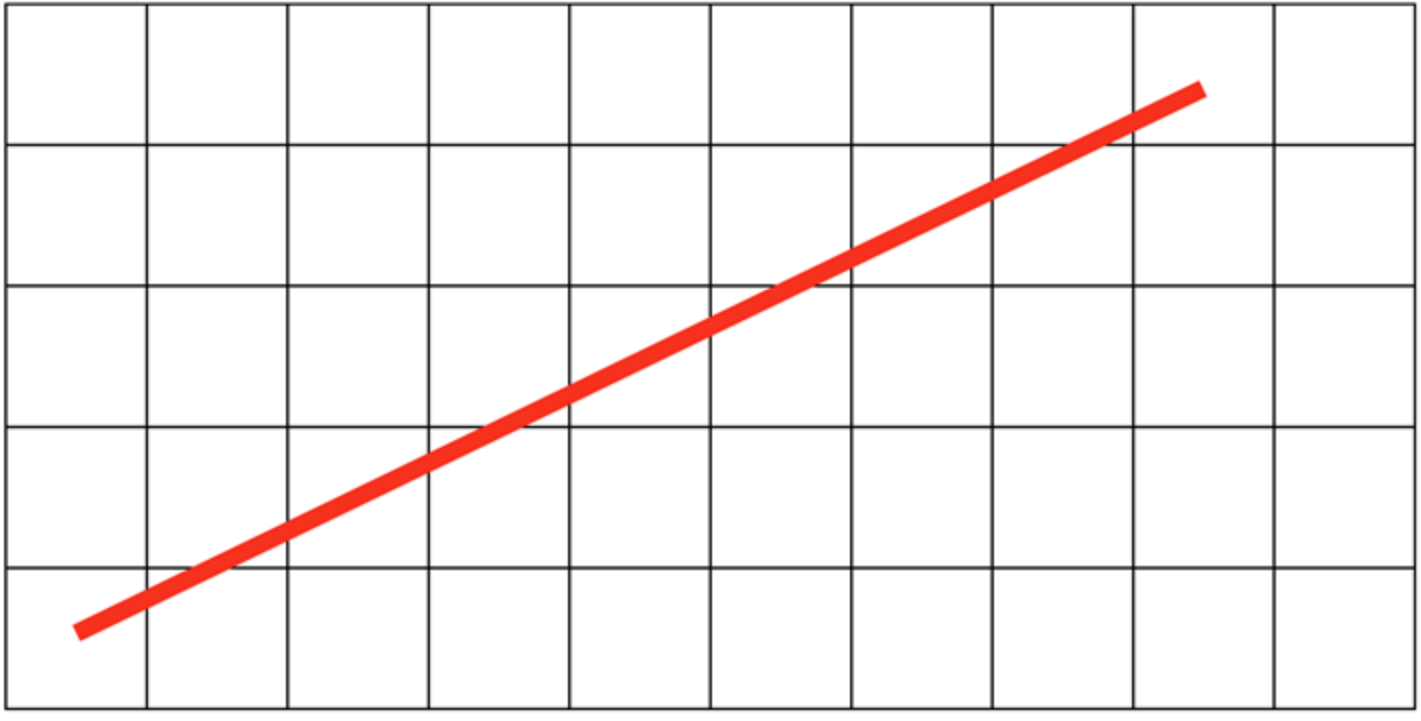
Desenhando Pontos na Tela

Normalmente desenhamos um pixel quando queremos desenhar um ponto na tela.



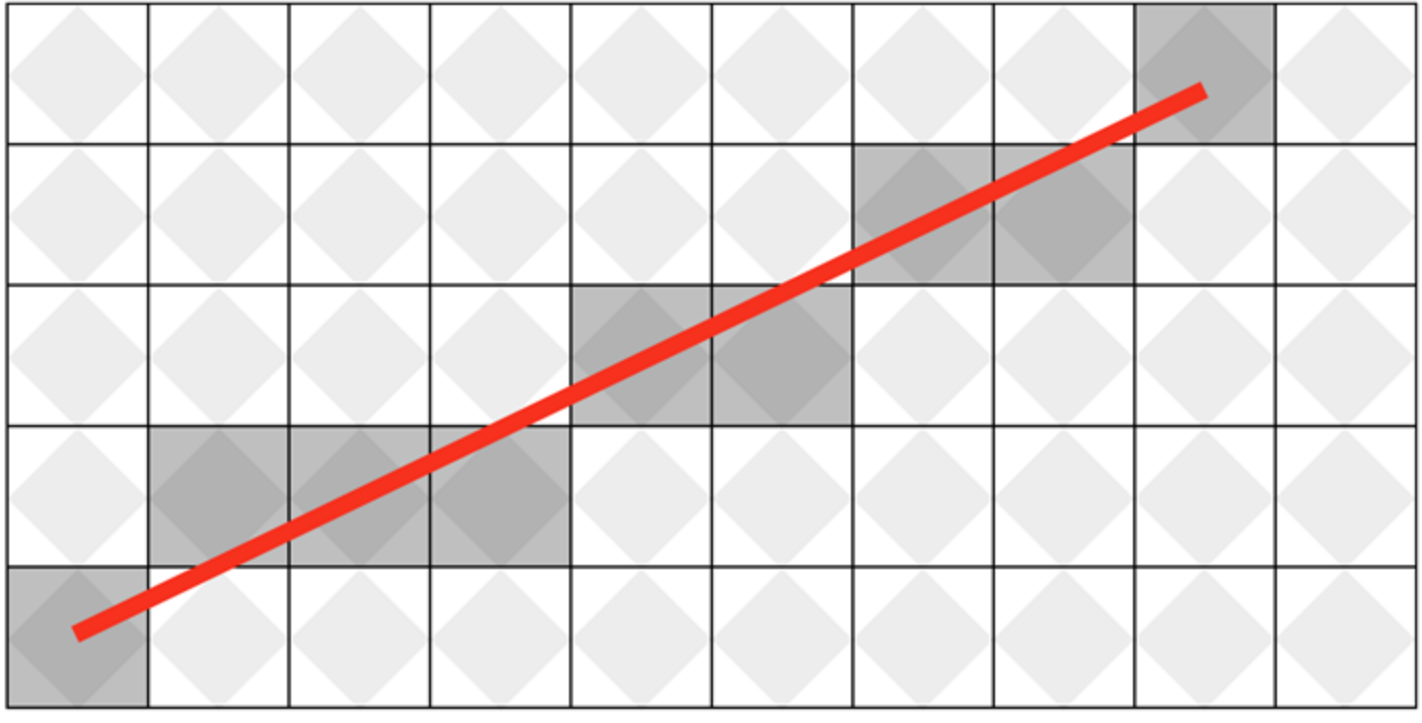
Quais pixels eu devo colorir para ver a linha?

"Rasterização": processo de converter um objeto contínuo (linha, polígono, etc) em uma representação discreta em um display "raster" (um grid de pixels)



Quais pixels eu devo colorir para ver a linha?

***Diamond rule* (usada em GPUs modernas): selecione o pixel se a linha passar pelo diamante associado.**

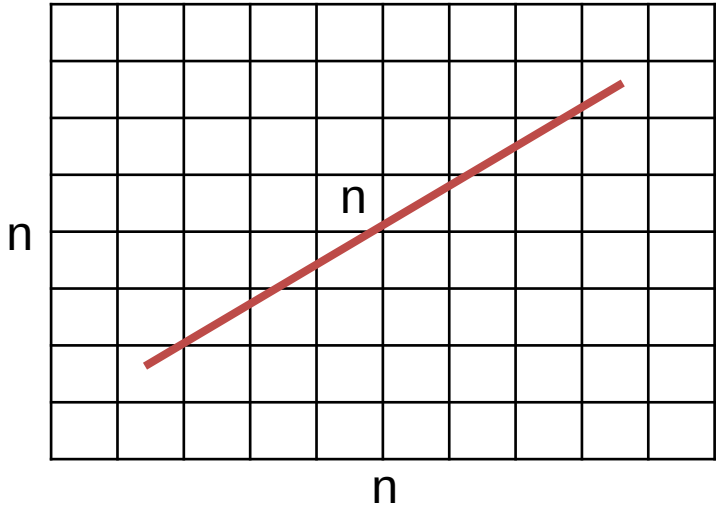


Mas qual o algoritmo para selecionar os pixels?

Uma solução seria ver pixel a pixel se a linha está interseccionando o pixel.

$O(n^2)$: para busca de pixels na imagens

enquanto temos O(n) pixels realmente necessários



Insper

Rasterização Incremental de Linhas

Vamos assumir que a linha é representada por (u_1,v_1) e (u_2,v_2)

Coeficiente angular da reta: $s = (v_2-v_1)/(u_2-u_1)$

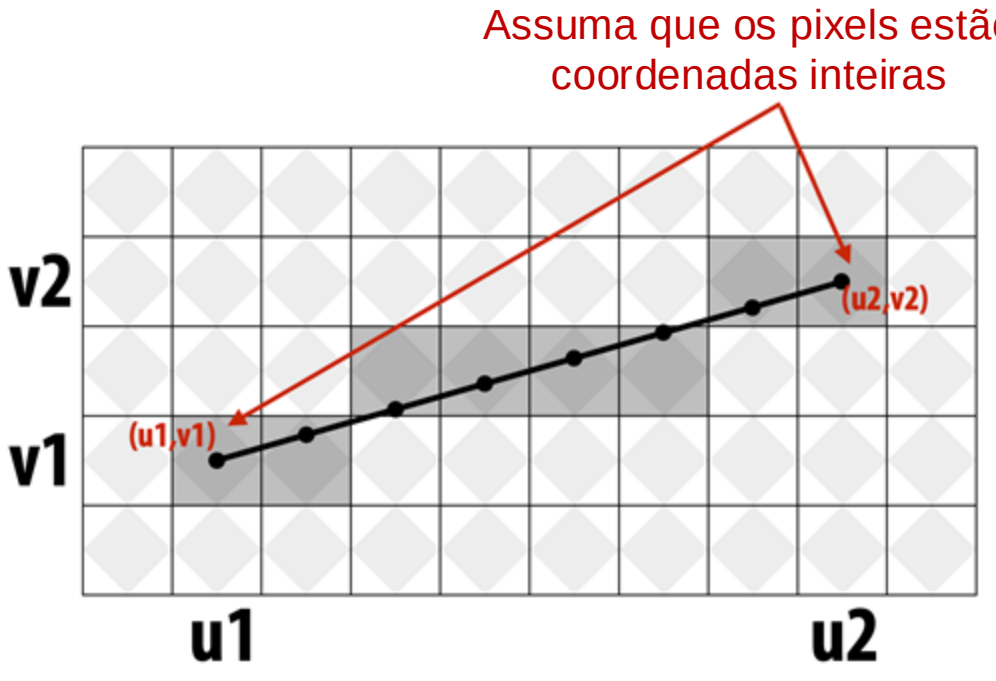
Considere o caso especial onde:

$u_1 < u_2$ e $v_1 < v_2$

$0 < s < 1$

```
v = v1;
for( u=u1; u<=u2; u++ )
{
        draw( u, round(v) )
        v += s;
}
```

Essa é a base para o **Algoritmo de Bresenham**



Algoritmo de Bresenham

Bitmap/Bresenham's line algorithm

< Bitmap

Task

Using the data storage type defined on the Bitmap page for raster graphics images, draw a line given two points with Bresenham's line algorithm.

Contents [hide]

1 360 Assembly
2 Ada
3 ALGOL 68
4 Assembly
5 AutoHotkey
6 AutoIt
7 bash
8 BASIC
9 Batch File
10 BBC BASIC
11 C
12 C#
13 C++
14 Clojure
15 CoffeeScript
16 Commodore Basic
17 Common Lisp
18 D
19 Delphi
20 E
21 Elm
22 Erlang
23 ERRE
24 Euphoria
25 F#
26 Factor

http://rosettacode.org/wiki/Bitmap/Bresenham%27s_line_algorithm

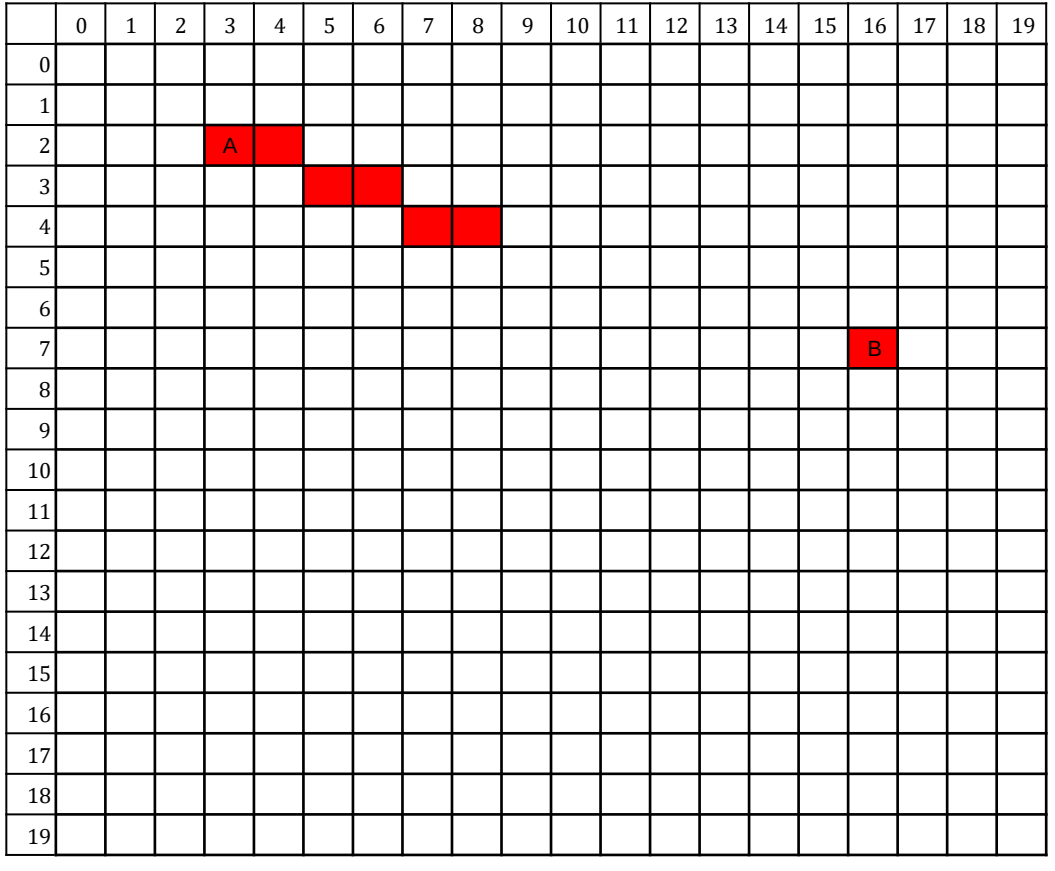
Atividade - Exercício

Desenhe uma linha usando o algoritmo de Bresenham, ligando os pontos A(3, 2) e B(16, 7).

Base para o
Algoritmo de Bresenham

```
v = v1;
for( u=u1; u<=u2; u++ )
{
        draw( u, round(v) )
        v += s;
}
```

ca = 5/13 ~= 0.4
v = 2.5, 2.9, 3.3, 3.7
u = 3.5, 4.5, 5.5, 6.5



Insper

Atividade - Resolva o Python Notebook

01 - Introdução

Na atividade a seguir você deverá desenha uma linha preenchendo os pixels entre dois pontos. Para essa atividade vamos usar o Numpy e Matplotlib. Assim vamos carregar as bibliotecas e vamos definir valores de resolução (altura e largura) da nossa janela.

```
[ ]
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

height = 8
width = 8
```

Python

Agora vamos desenhar uma tela vazia. Verifique que criamos uma variável *frame_buffer* que irá armazenar os valores dos pixels.

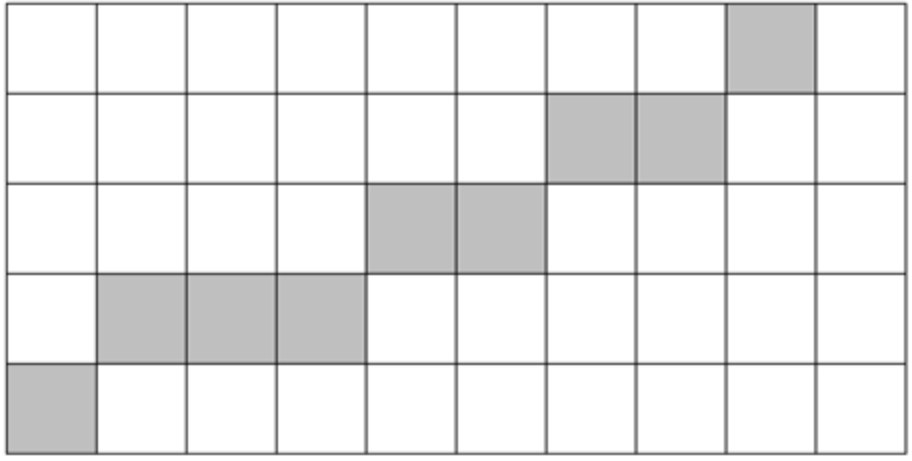
```
# Cria o espaço para a figura
fig, axes = plt.subplots()

# Cria um buffer de imagem inicialmente completamente preto (limpo)
frame_buffer = np.zeros((height, width))

# Define o tamanho da imagem e que a origem é no canto superior esquerdo
extent = (0, width, height, 0)
```

Próxima Aula

Na próxima aula, vamos falar sobre desenhar um triângulo no frame buffer de um computador.

E é muito mais interessante do que pode parecer ...

Além disso, o que há com essas linhas "irregulares"?



Insper

Computação Gráfica

Luciano Soares
<lpsoares@insper.edu.br>

Fabio Orfali
<fabioO1@insper.edu.br>