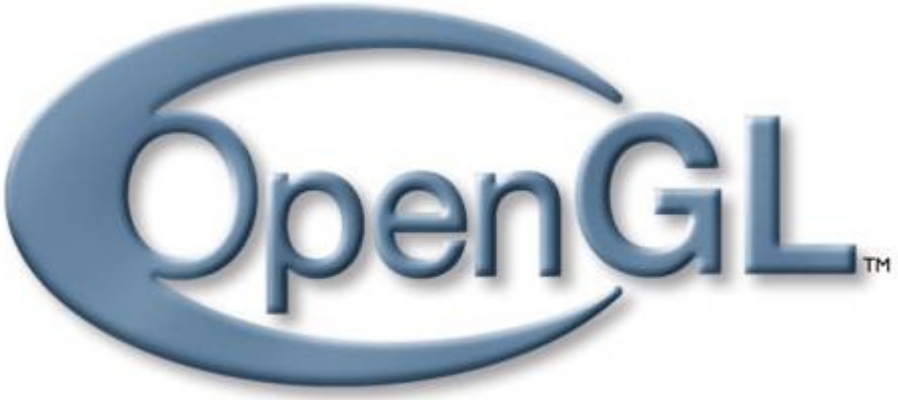
Unidade 6 - Introdução ao OpenGL

IME 04-10842
Computação Gráfica
Professor Guilherme Mota
Professor Gilson Costa

Definição



Padrão aberto de arquitetura para computação gráfica que especifica hardware e uma API de software .

Exemplos de OpenGL

http://www.rage.com/

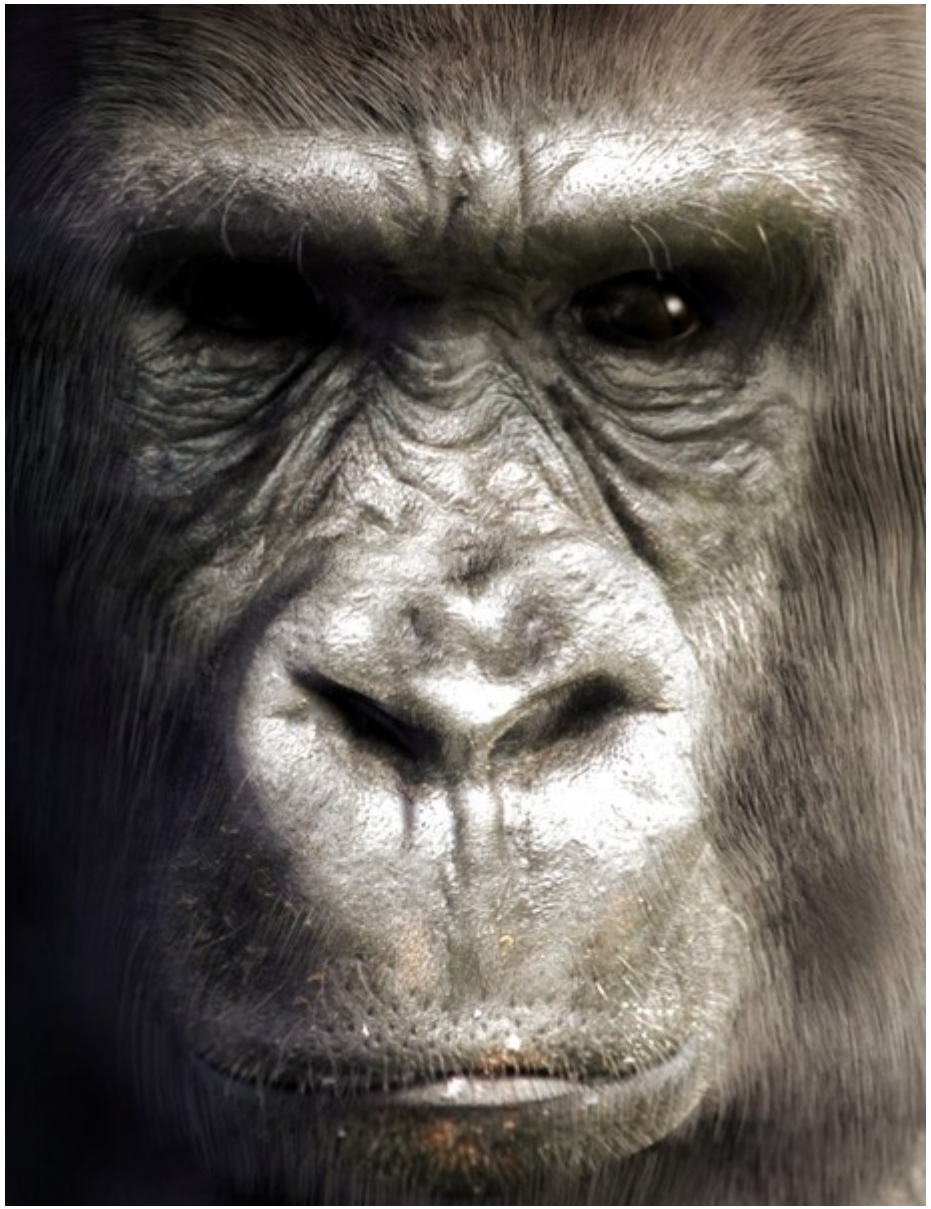
Exemplos de OpenGL

http://en.wikipedia.org/wiki/Quake_4

Exemplos de OpenGL

http://www.aerofly.de/

Exemplos de OpenGL



http://www.blender.org/

Pipeline de Software

Uso da API do OpenGL

Implementação da API do OpenGL

Comunicação com o hardware OpenGL

Executa as tarefas de desenho e transformações geométricas

Arquitetura

Arquitetura

- Possui primitivas e operações para a geração e manipulação de dados vetoriais e matriciais.
- Capaz de gerar imagens de alta qualidade.
- Comumente implementado de forma a tirar partido da aceleração gráfica (se disponível).
- Independente de plataforma.

Arquitetura

- Não gerencia janelas nem trata eventos produzidos por dispositivos de interação.
- Não possui comandos de alto nível para especificação de objetos 3D complexos.
- Objetos complexos devem ser construídos a partir de primitivas geométricas simples.

Arquitetura

- Cria descrições matemáticas de objetos a partir de primitivas geométricas (pontos, linhas e polígonos) e imagens/bitmaps.
- Organiza os objetos no espaço 3D e seleciona o ponto de vista adequado para a cena

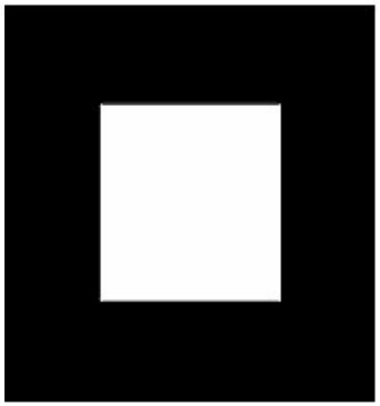
Arquitetura

- Calcula as cores dos objetos por:
  - Atribuição direta.
  - Modelos de iluminação.
  - Mapeamentos de texturas.
  - Combinações.
- Converte as descrições matemáticas + cores em pixels (rasterização).

Sintaxe OpenGL

Código OpenGL

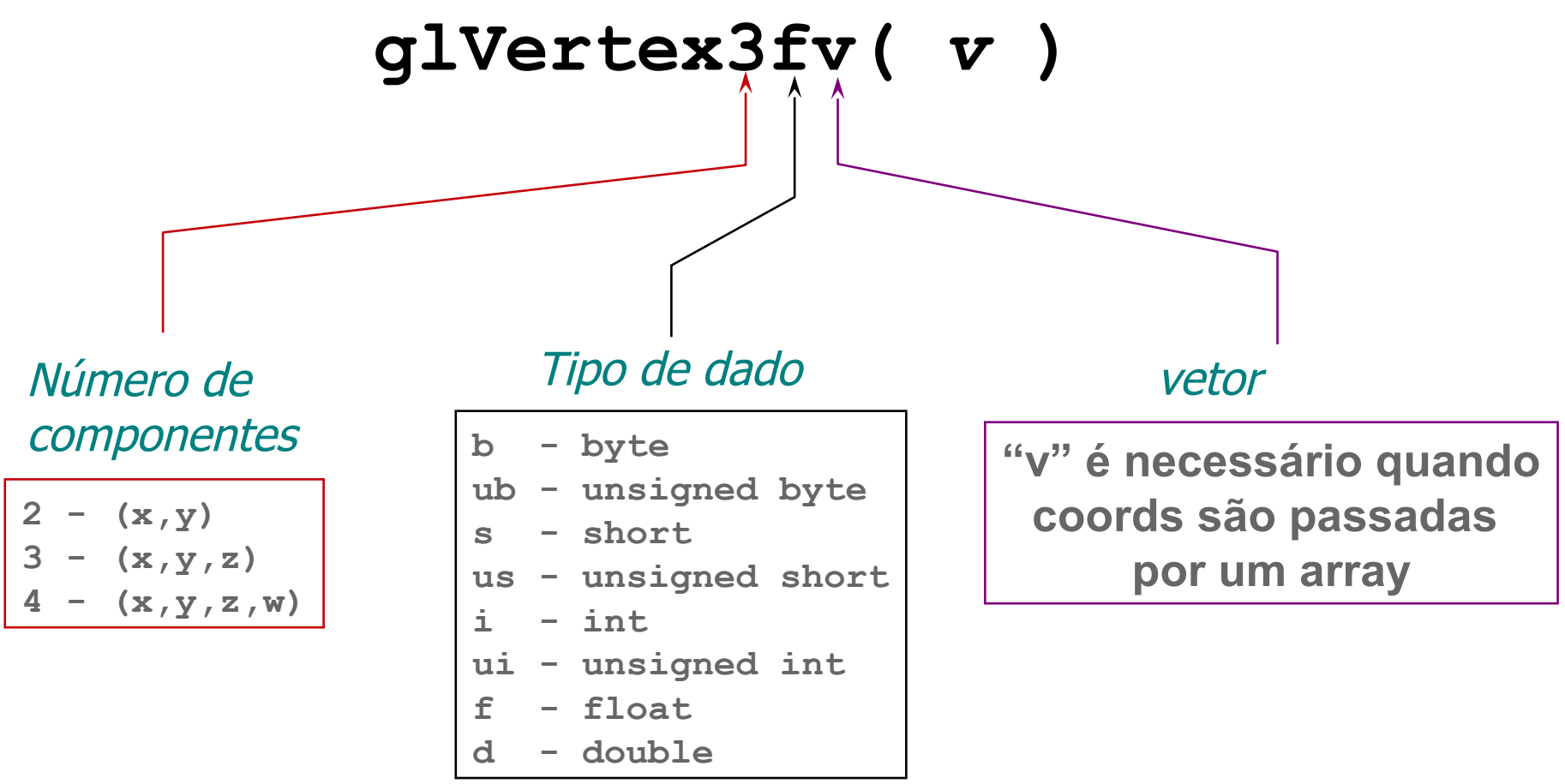
```
#include <whateverYouNeed.h>

main() {

   InitializeAWindowPlease();

   glClearColor (0.0, 0.0, 0.0, 0.0);
   glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT);
   glColor3f (1.0, 1.0, 1.0);
   glOrtho(0.0, 1.0, 0.0, 1.0, -1.0, 1.0);
   glBegin(GL_POLYGON);
      glVertex3f (0.25, 0.25, 0.0);
      glVertex3f (0.75, 0.25, 0.0);
      glVertex3f (0.75, 0.75, 0.0);
      glVertex3f (0.25, 0.75, 0.0);
   glEnd();
   glFlush();

   UpdateTheWindowAndCheckForEvents();
}
```



Sintaxe das funções da API

- Todas as funções começam com o prefixo `gl` (Ex.: `glClearColor()`).
- Padrão lower camel case (Ex.: `glColor()`).
- O sufixo indica a quantidade e o tipo dos argumentos (Ex.: `glVertex2i(1,3)`).
- Constantes: `GL_COLOR_BUFFER_BIT`.

Sintaxe das funções da API

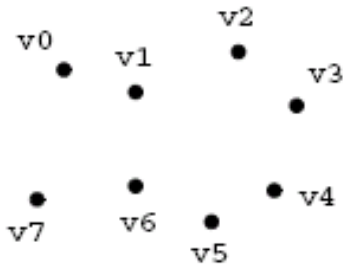


Sufixos e tipos dos argumentos

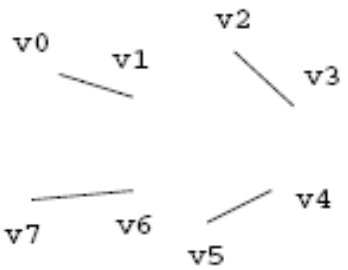
Tipo	Tipo	C	OpenGL
`b`	Inteiro 8-bits	signed char	GLbyte
`s`	Inteiro 16-bits	short	GLshort
`i`	Inteiro 32-bits	long	GLint, GLsizei
`f`	Ponto-flutuante 32-bit	float	GLfloat, GLclampf
`d`	Ponto-flutuante 64-bit	double	GLdouble, GLclampd
`ub`	Caractere s/ sinal 8-bit	unsigned char	GLubyte, GLboolean
`us`	Caractere s/ sinal 16-bit	unsigned short	GLushort
`ui`	Caractere s /sinal 32-bit	unsigned long	GLuint, GLenum, GLbitfield

Primitivas de Desenho OpenGL

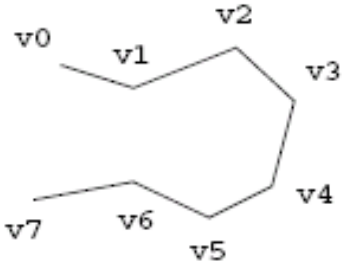
Primitivas de Desenho



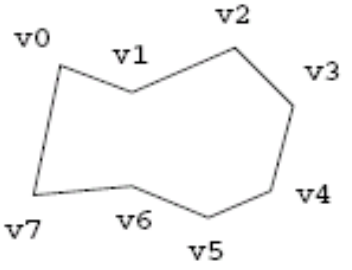
GL_POINTS



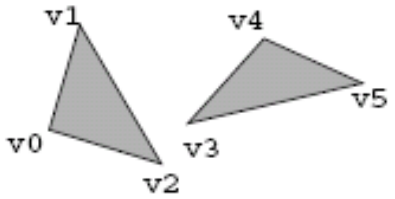
GL_LINES



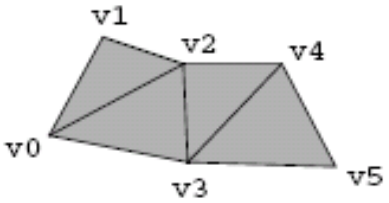
GL_LINE_STRIP



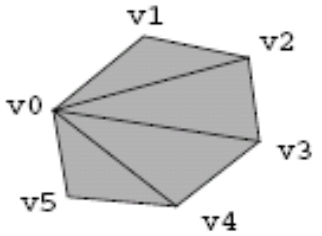
GL_LINE_LOOP



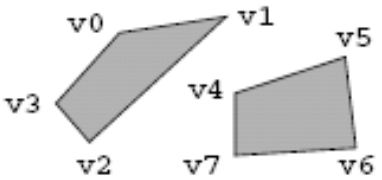
GL_TRIANGLES



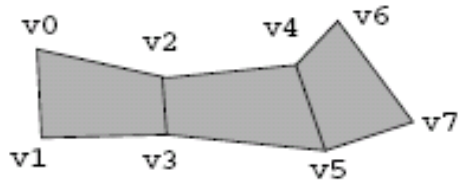
GL_TRIANGLE_STRIP



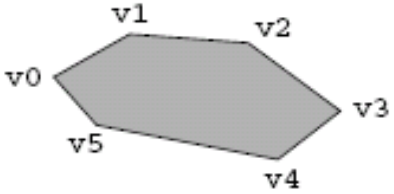
GL_TRIANGLE_FAN



GL_QUADS



GL_QUAD_STRIP



GL_POLYGON

OpenGL- Primitivas de desenho

- `glBegin(PRIMITIVA);`
  - especificação de vértices, cores, coordenadas de textura, propriedades de material
- `glEnd();`
- Entre `glBegin()` e `glEnd()` apenas alguns comandos podem ser usados. Ex.:
  - `glVertex`
  - `glMaterial`
  - `glNormal`
  - `glTexCoord`

OpenGL - Primitivas de desenho

- Uma vez emitido um vértice (`glVertex`), este é desenhado com as propriedades (cor, material, normal, coordenadas de textura etc) registradas nas variáveis de estado correspondentes.

- Atenção: Antes de emitir um vértice, assegurar-se que cor, material, normal, etc têm o valor certo.

Primitivas de Desenho

Valor	Significado
`GL_POINTS`	Pontos individuais
`GL_LINES`	Pares de vértices interpretados como segmentos de reta individuais.
`GL_LINE_STRIP`	Serie de segmentos de reta conectados.
`GL_LINE_LOOP`	Igual ao anterior. Ultimo vertice conectado a primeiro
`GL_TRIANGLES`	Triplas de vértices interpretados como triângulos.
`GL_TRIANGLE_STRIP`	Cadeia triângulos conectados.
`GL_TRIANGLE_FAN`	Leque de triângulos conectados.
`GL_QUADS`	Quadrupla de vértices interpretados como quadriláteros.
`GL_QUAD_STRIP`	Cadeia de quadriláteros conectados.
`GL_POLYGON`	Borda de um polígono convexo simples.

OpenGL como máquina de estados

OpenGL como máquina de estados

- Uma aplicação OpenGL funciona como uma máquina de estados.
- Os estados correntes permanecem ativos.
- Exemplo: a cor de desenho é aplicada a qualquer primitiva geométrica até que a cor corrente seja modificada.

OpenGL como maquina de estados

- Existem várias variáveis de estados, por exemplo:
  - cor de desenho corrente
  - transformações de visualização e projeção
  - padrões de linhas e polígonos
  - modo de desenho dos polígonos
  - atributos das fontes de luz
  - propriedades de reflexão e textura dos materiais associados aos objetos

OpenGL como maquina de estados

- Vários estados se referem a modos que estão habilitados ou desabilitados.
- Estes estados são modificados através dos comandos `glEnable()` e `glDisable()`.
- Exemplo: `glEnable(GL_LIGHTINING)`.

OpenGL como maquina de estados

- Alguns comandos para ler um estado:
  - `glGetBooleanv()`, `glGetDoublev()`, `glGetFloatv()`, `glGetIntegerv()`, `glPointerv()` ou `glIsEnabled()`.
- Comandos para salvar um estado:
  - `glPushAttrib()` e `glPushClientAttrib()`.
- Comandos para restaurar um estado:
  - `glPopAttrib()` e `glPopClientAttrib()`.

OpenGL como maquina de estados

- Exemplo: GL_LIGHTINING

```
int luz;

glEnable(GL_LIGHTING);  //Habilita iluminação

luz = glIsEnabled(GL_LIGHTING); // retorna 1
(verdadeiro)

glDisable(GL_LIGHTING); //Desabilita luz

luz = glIsEnabled(GL_LIGHTING); // retorna 0 (falso)
```

APIs complementares

API's relacionadas

- GLU (OpenGL Utility Library)
  - Parte do padrão OpenGL
  - NURBS, trianguladores, quádricas, mapeamento, mipmaps, superfícies quadráticas, transformação e posicionamento da câmera e primitivas de desenho adicionais
- AGL, GLX, WGL
  - Camadas entre o OpenGL os diversos sistemas de janelas
- GLUT (OpenGL Utility Toolkit)
  - API portátil de acesso aos sistemas de janelas
  - Encapsula e esconde as camadas proprietárias
  - Não é parte oficial do OpenGL
  - http://www.opengl.org/resources/libraries/glut/spec3/spec3.html

GLUT - *OpenGL Utility Toolkit*

- API permite a implementação de aplicativos simples com uso do OpenGL
- Independente do sistema de janelas
- Permite a implementação de aplicativos multiplataforma
- Projetada para o desenvolvimento de programas de porte pequeno e médio
- *Bindings* para diversas linguagens de programação
- É um software gratuito e não *open source*
  - ***freeglut*** (Licença MIT)
- Fornece um conjunto de primitivas para desenho de objetos mais complexos como quádricas e etc.

GLUT Callbacks

GLUT - *Callbacks*

- *Callbacks* são trechos de código (rotinas) chamadas para tratar eventos síncronos ou assíncronos
- Na linguagem C são implementadas a partir de ponteiros para funções, instrumento que permite que funções sirvam de argumento para outras. Exemplo:

```
<type> callerFunc(<type> (*argFunc)(<argList>))
{
    /* Código de callerFunc */
}
```

- Nas chamadas à `callerFunc` precisa ser fornecida a função `argFunc`
- A assinatura da função passada como parâmetro precisa ser idêntica à da função `argFunc`

GLUT - *Callbacks*

- As *callbacks* do GLUT são monitoradas e chamadas a partir do `GlutMainLoop`
- A API do GLUT possui diversas *callbacks* predefinidas
- Para uma rotina *callback* ser ativada ela precisa ser registrada através da função de registro
  - `glut<Callbackname>Func ((<type> (*callBackFunc)(<argList>)))`
    - `<Callbackname>` revela a classe do evento
    - `callBackFunc` é o nome da rotina de Callback
- Exemplo, função de registro da *callback* de desenho:

```
void glutDisplayFunc(void (*func)(void));
```

GLUT - *Callbacks*

```
glutDisplayFunc
glutOverlayDisplayFunc
glutReshapeFunc
glutKeyboardFunc
glutMouseFunc
glutMotionFunc
glutPassiveMotionFunc
glutVisibilityFunc
glutEntryFunc
glutSpecialFunc
glutSpaceballMotionFunc
glutSpaceballRotateFunc
glutSpaceballButtonFunc
glutButtonBoxFunc
glutDialsFunc
glutTabletMotionFunc
glutTabletButtonFunc
glutMenuStatusFunc
glutIdleFunc
glutTimerFunc
```

GLUT - Callback de desenho

```
glutDisplayFunc (void(*func)(void));
```

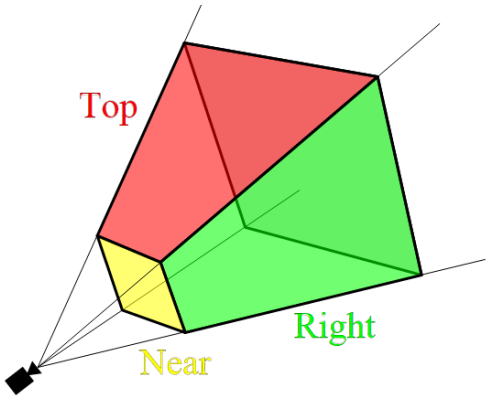
- Chamada automaticamente sempre que a janela ou parte dela precisa ser redesenhada
- Todo programa OpenGL/GLUT precisa ter uma
- Exemplo:

```
void display ( void )
{
  glClear( GL_COLOR_BUFFER_BIT );
  glBegin( GL_TRIANGLE_STRIP );
    glVertex3fv( v[0] );
    glVertex3fv( v[1] );
    glVertex3fv( v[2] );
    glVertex3fv( v[3] );
  glEnd();
  glutSwapBuffers(); /* Usamos double-buffering! */
}
```

GLUT - Callback de redimensionamento

```
glutReshapeFunc ((void (*func)(int width,
int height));
```

- Chamada sempre que a janela é redimensionada
- `width` e `height` são a nova largura/altura da janela (em pixels)
- Os valores fornecidos servem para o recálculo do *frustrum*



- Há uma rotina *default* que simplesmente ajusta o *viewport* para usar toda a área da janela gráfica

GLUT - *Callback* de Teclado

```
void glutKeyboardFunc(void (*func)
(unsigned char key, int x, int y));
```

- Chamada sempre que um caracter é emitido
- `key` indica o caracter e `x` e `y` a posição relativa do mouse no momento do envio
- `glutGetModifiers` pode ser chamado para determinar teclas pressionadas (Shift, Ctrl, Alt)

- Para desabilitar esta *callback* é preciso passar `NULL` para `glutKeyboardFunc`
- Não há *callback* de teclado *default*

GLUT - *Callback* de Temporização

```
void glutTimerFunc(unsigned int msecs, void
(*func)(int value), value);
```

- Registra uma *callback* de temporização
- Após `msecs` milissegundos, a chamada para a *callback* se dará assim que for possível
- `value` tem o mesmo valor em (*func) e `glutTimerFunc`
- Podem ser registradas múltiplas *callbacks* de temporização.
- Uma vez registrada, não é possível cancelar uma *callback* de temporização. Contudo, pode-se ignorá-la em função de `value`

GLUT - Outras Callbacks

- Eventos de mouse
  - `void glutMouseFunc(int button, int state,int x,int y)`
  - `void glutMotionFunc(int x, int y)`
  - `void glutPassiveMotionFunc(int x, int y)`
- Chamada continuamente quando nenhum outro evento ocorre
  - `void glutIdleFunc(void)`

Inicialização GLUT

Programa OpenGL/GLUT - Inicialização

- Inicialização do GLUT
  - `glutInit (int* argc, char** argv)`
- Estabelece contato com sistema de janelas.

Programa OpenGL/GLUT - Inicialização

- Inicialização da(s) janela(s):
  `glutInitDisplayMode (int modo)`
- Estabelece o tipo de recursos necessários para as janelas que serão criadas.
- Modo é um "ou" bit-a-bit de constantes:
  - `GLUT_RGB` cores dos pixels serão expressos em RGB.
  - `GLUT_DOUBLE` bufferização dupla (ao invés de simples).
  - `GLUT_DEPTH` buffer de profundidade (z-buffer).
  - `GLUT_ACCUM` buffer de acumulação.
  - `GLUT_ALPHA` buffer de cores terá componente alfa.
  - `GLUT_RGBA` cores dos pixels serão expressos em RGBA.

Programa OpenGL/GLUT - Inicialização

- `glutInitWindowPosition (int x, int y)`
  - Estabelece a posição inicial do canto superior esquerdo da janela a ser criada.
- `glutInitWindowSize (int width, height)`
  - Estabelece o tamanho (em pixels) da janela a ser criada.

Programa OpenGL/GLUT - Inicialização

- Criação da(s) janela(s):

```
int glutCreateWindow (char* nome)
```

  - Cria uma nova janela primária (top-level)
  - Nome é tipicamente usado para rotular a janela
  - O número inteiro retornado é usado pelo GLUT para identificar a janela

Programa OpenGL/GLUT - Inicialização

- Outras inicializações
- Após a criação da janela é costumeiro configurar variáveis de estado do OpenGL que não mudarão no decorrer do programa. Por exemplo:
  - Cor do fundo
  - Tipo de sombreamento de desejado

Programa OpenGL/GLUT - Laço principal

- Depois de registradas as callbacks, o controle é entregue ao sistema de janelas:

```
glutMainDisplayLoop (void)
```

- Esta rotina na verdade é o “despachante” de eventos.
- Ela nunca retorna.

Exemplo 1
Janela glut

Exemplo 1 (Janela glut)

```
// PrimeiroPrograma.c - Isabel H. Manssour
// Um programa OpenGL simples que abre uma janela GLUT
// Este código está baseado no Simple.c, exemplo
// disponível no livro "OpenGL SuperBible",
// 2nd Edition, de Richard S. e Wright Jr.

#include <gl/glut.h>

// Função callback chamada para fazer o desenho
void Desenha(void)
{
      //Limpa a janela de visualização com a cor de fundo especificada
      glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);

      //Executa os comandos OpenGL
      glFlush();
}
```

Exemplo 1 (Janela glut)

```
// Inicializa parâmetros de rendering
void Inicializa(void)
{
      // Define a cor de fundo da janela de visualização como preta
      glClearColor(0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f);
}

// Programa Principal
int main(int argc, char ** argv)
{
      glutInit(&argc, argv);
      glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGB);
      glutCreateWindow("Primeiro Programa");
      glutDisplayFunc(Desenha);
      Inicializa();
      glutMainLoop();
}
```

Exemplo 2
Desenho 2D

Exemplo 2 (Desenho 2D)

```
#include <gl/glut.h>

// Função callback chamada para fazer o desenho
void Desenha(void)
{
      //Limpa a janela de visualização com a cor branca
      glClearColor(1, 1, 1, 0);
      glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
      //Define a cor de desenho: vermelho
      glColor3f(1, 0, 0);
      //Desenha um triângulo no centro da janela
      glBegin(GL_TRIANGLES);
          glVertex2f(-0.5, -0.5);
          glVertex2f(0.0, 0.5);
          glVertex2f(0.5, -0.5);
      glEnd();
      //Executa os comandos OpenGL
      glFlush();
}
```

Exemplo 2 (Desenho 2D)

```
//Função callback chamada para gerenciar eventos de teclas
void Teclado(unsigned char key, int x, int y)
{
      if (key == 27)
          exit(0);
}


// Inicializa parâmetros e variáveis
void Inicializa(void)
{
      // Define a janela de visualização 2D
      glMatrixMode(GL_PROJECTION);
      gluOrtho2D(-1.0, 1.0, -1.0, 1.0);
      glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
}
```

Exemplo 2 (Desenho 2D)

```
// Programa Principal
int main(int argc, char ** argv)
{
      glutInit(&argc, argv);
      glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGB);
      glutInitWindowSize(400, 400);
      glutCreateWindow("Segundo Programa");
      glutDisplayFunc(Desenha);
      glutKeyboardFunc(Teclado);
      Inicializa();
      glutMainLoop();
      return 0;
}
```

Exemplo 2 (Desenho 2D)

Experimente:

- Altere no código a cor de cada um dos vértices do triângulo: coloque cores diferente para cada um.
- Em tempo de execução, altere o tamanho da janela criada pelo programa.

Exemplo 3
Window-Viewport

Exemplo 3 (Window-Viewport)

```
#include <windows.h>
#include <gl/glut.h>

// Função callback chamada para fazer o desenho
void Desenha(void)
{
     glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
     glLoadIdentity();
     // Limpa a janela de visualização com a cor de fundo especificada
     glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
     // Especifica que a cor corrente é verde
     glColor3f(0.0f, 1.0f, 0.0f);
     // Desenha um quadrado preenchido com a cor corrente
     glBegin(GL_QUADS);
               glVertex2i(100,150);
               glVertex2i(100,100);
               glVertex2i(150,100);
               glVertex2i(150,150);
     glEnd();
     // Executa os comandos OpenGL
     glFlush();
}
```

Exemplo 3 (Window-Viewport)

```
// Inicializa parâmetros de rendering
void Inicializa (void)
{
    // Define a cor de fundo da janela de visualização como preta
    glClearColor(0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f);
}
// Função callback chamada quando o tamanho da janela é alterado
void AlteraTamanhoJanela(GLsizei w, GLsizei h)
{
    // Evita a divisao por zero
    if(h == 0) h = 1;
    // Especifica as dimensões da Viewport
    glViewport(0, 0, w, h);
    // Inicializa a matriz de projeção
    glMatrixMode(GL_PROJECTION);
    GlLoadIdentity();
    // Estabelece World Window (left, right, bottom, top)
    if (w <= h)
         gluOrtho2D (0.0f, 250.0f, 0.0f, 250.0f*h/w);
    else
         gluOrtho2D (0.0f, 250.0f*w/h, 0.0f, 250.0f);
}
```

Exemplo 3 (Window-Viewport)

```
// Programa Principal
int main(int argc, char ** argv)
{
     glutInit(&argc, argv);
     glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGB);
     glutInitWindowSize(400,350);
     glutInitWindowPosition(10,10);
     glutCreateWindow("Quadrado");
     glutDisplayFunc(Desenha);
     glutReshapeFunc(AlteraTamanhoJanela);
     Inicializa();
     glutMainLoop();
}
```

Exemplo 3 (Window-Viewport)

Experimente:

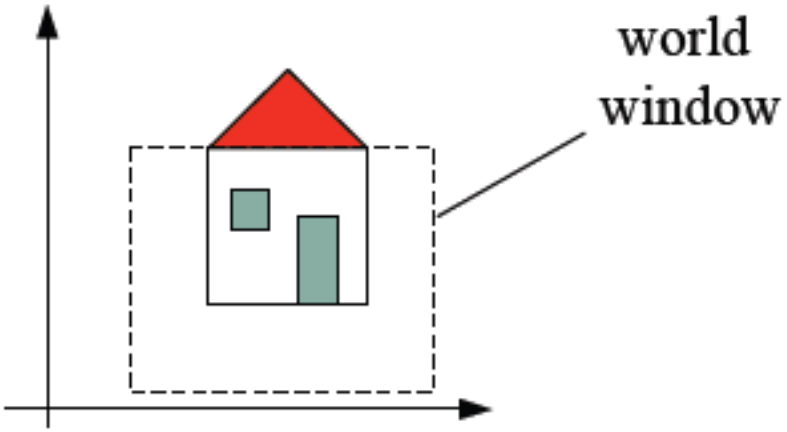
- Altere no código a cor de cada um dos vértices do quadrado.
- Em tempo de execução, altere o tamanho da janela criada pelo programa.
- Por que o redimensionamento da janela provoca um efeito diferente em relação ao Exemplo 2?

Window ViewPort

Mapeamento Window-Viewport

Sistema de Coordenadas Globais (**World Coordinate System**)

- Domínio da Cena: espaço dos objetos.
- Espaço em que se encontram os objetos geométricos.
- Espaço onde a geometria do objeto e o modelo de aplicação é definido, e.g., R^2.



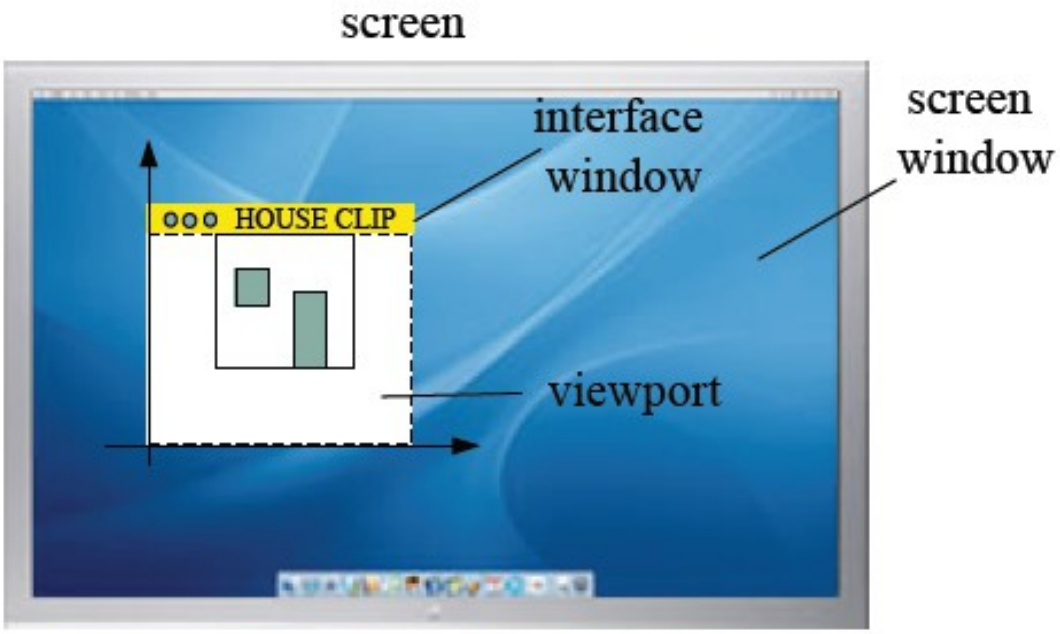
Subdomínio da Cena (**World Window**)

- Retângulo que define a parte da cena (world) que se pretende visualizar.

Mapeamento Window-Viewport

Sistema de Coordenadas da Imagem (**Screen Coordinate System**)

- Domínio de Imagem
- Espaço no qual a imagem é mostrada; e.g., 800x600 pixels.
- Espaço no qual a imagem rasterizada do objeto é definida.



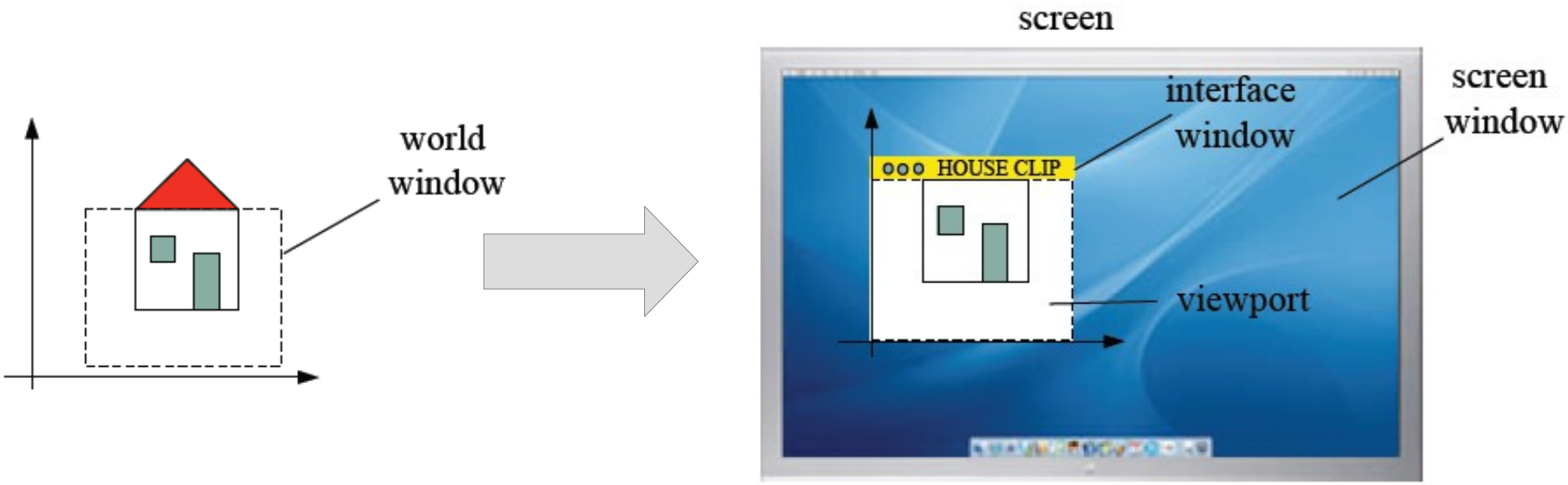
Subdomínio de Imagem (**Viewport**)

- Sistema de coordenadas da tela (janela do sistema de janelas).
- Sistema de coordenadas se move com a janela.

Mapeamento Window-Viewport

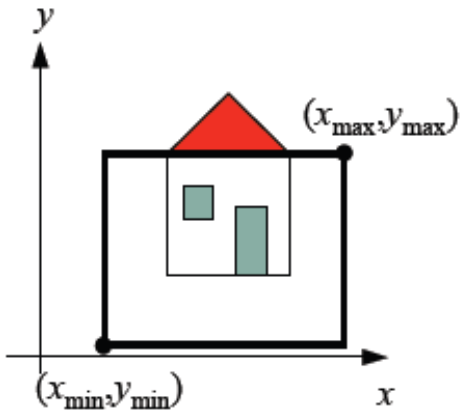
Transformação de Visualizaçao: Window-Viewport

- Mapeamento de uma janela no domínio da cena (World Coordinates) para o viweport (Screen Coordinates).

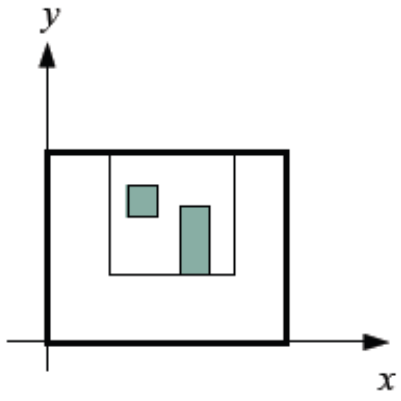


Mapeamento Window-Viewport

Transformação de Visualizaçao: Window-Viewport

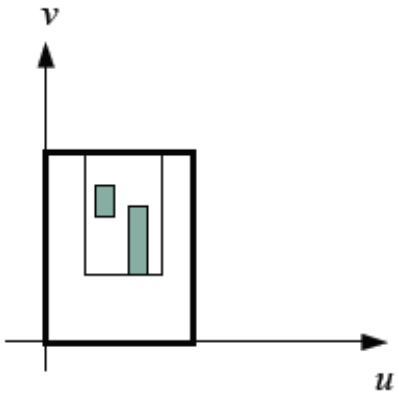


Window
em coordenadas
do mundo



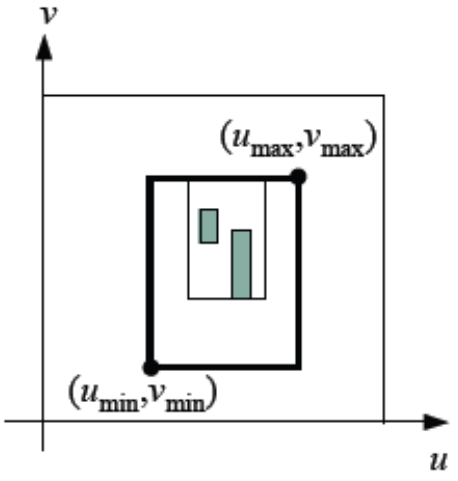
Window
transladada
para a origem

$$T(-x_{min},-y_{min})$$



Window
escalada para o
tamanho do
Viewport

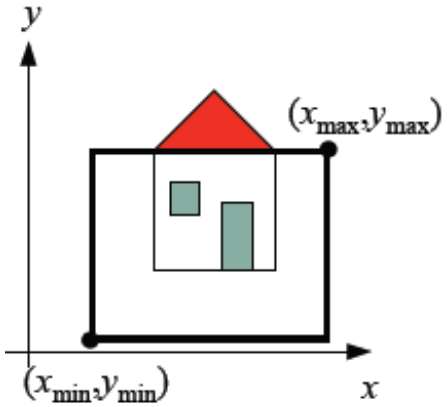
$$S(\frac{u_{max}-u_{min}}{x_{max}-x_{min}},\frac{v_{max}-v_{min}}{y_{max}-y_{min}})$$

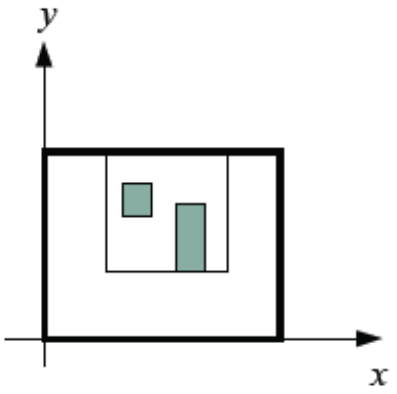


Viewport
transladado para
a posição final

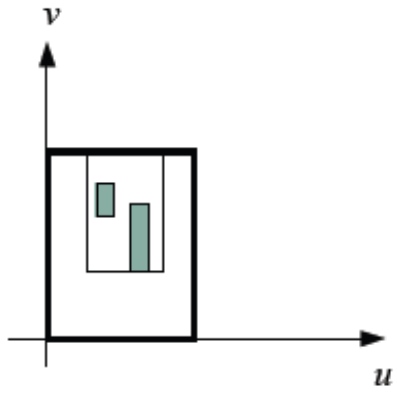
$$T(u_{min},v_{min})$$

Mapeamento Window-Viewport

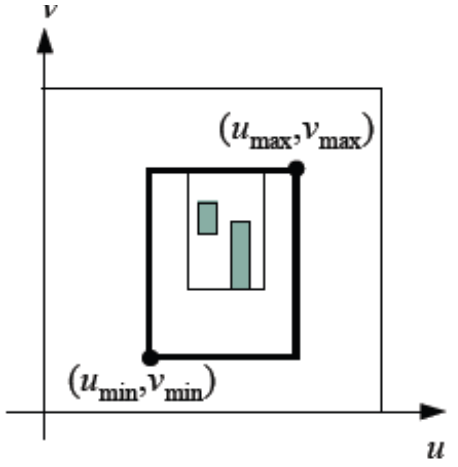




$T(-x_{min}, -y_{min})$



$S(\frac{u_{max}-u_{min}}{x_{max}-x_{min}}, \frac{v_{max}-v_{min}}{y_{max}-y_{min}})$



$T(u_{min}, v_{min})$

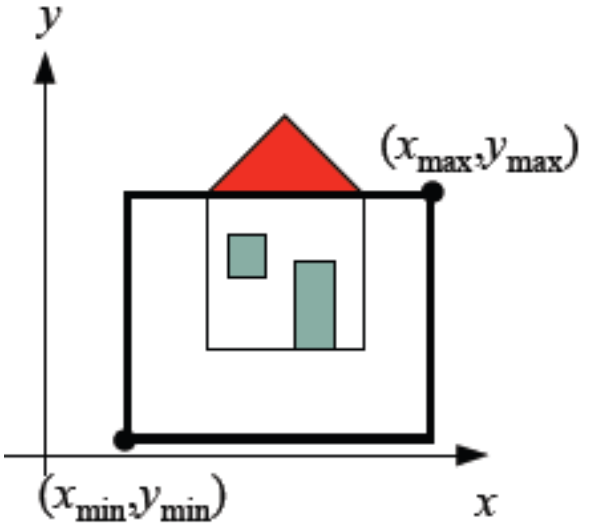
$$M_{wv} = T(u_{min}, v_{min}).S(\frac{u_{max}-u_{min}}{x_{max}-x_{min}}, \frac{v_{max}-v_{min}}{y_{max}-y_{min}}).T(-x_{min}, -y_{min})$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & u_{min} \\ 0 & 1 & v_{min} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} \frac{u_{max}-u_{min}}{x_{max}-x_{min}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{v_{max}-v_{min}}{y_{max}-y_{min}} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_{min} \\ 0 & 1 & -y_{min} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Mapeamento Window-Viewport

`gluOrtho2D(left, right, bottom, top)`

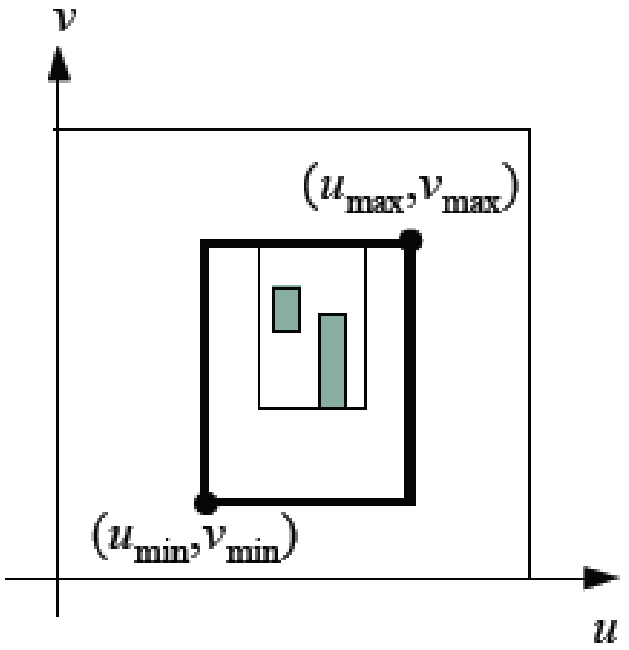
- Define um retângulo de visualização ortogonal 2D (**Window**): parte visível da cena.
- Define dois planos verticais (left, right) e dois planos horizontais (bottom, up).
- Os valores (left, right, bottom, top) são (-1, 1, -1, 1) por default.
- Define uma matriz de projeção ortogonal 2D.
- Define ainda a tranformação Wondow-Viewport, em combinação com a função `glViewport`.



Mapeamento Window-Viewport

```
glViewport (x, y, width, height)
```

- Define as dimensões do **Viewport** numa janela do sistema de janelas.
- Onde x,y indicam o canto inferior esquerdo e widht,height a extensão do Viewport.
- Por default o Viewport ocupa toda a janela.
- Podem existir vários Viewports dentro de uma janela.



Mapeamento Window-Viewport

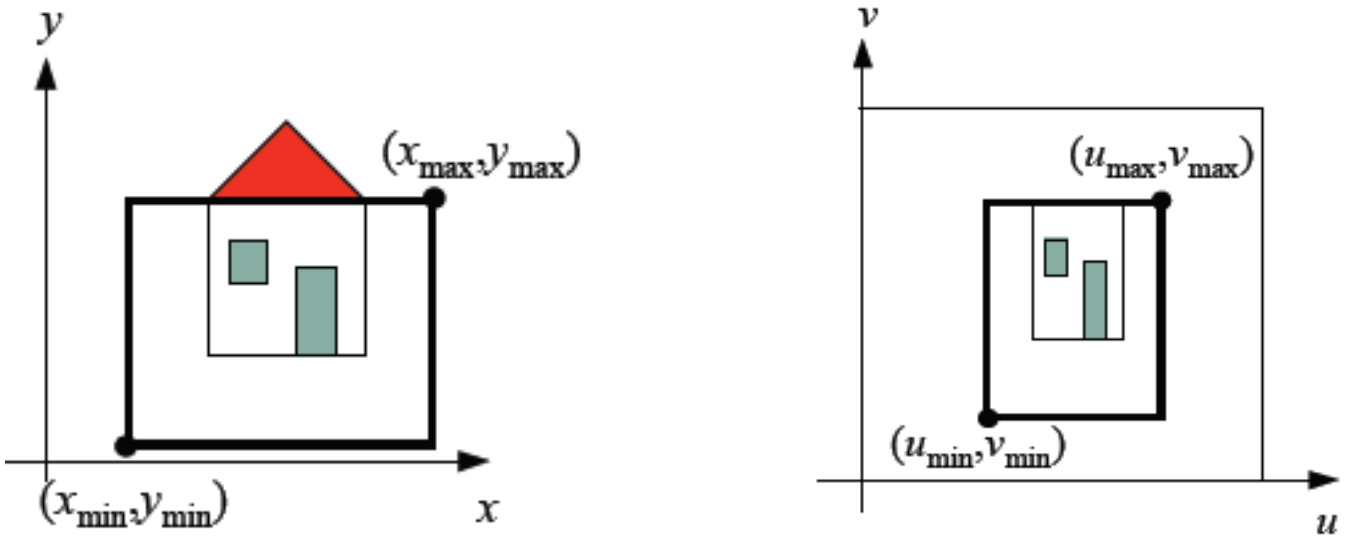
Manutenção automática das proporções na tranformação de visualização:

- Para evitar distorção quando a janela na tela é redimensionada.
- Inserir na função callback de redimensionamento de janela, e.g., `AlteraTamanho`, (registrada através de `glutReshapeFunc`):

```
void AlteraTamanho(GLsizei w, GLsizei h)
    ...
    glViewport(0, 0, w, h);
    // recalcula a matriz de projeção
    glMatrixMode(GL_PROJECTION);
    glLoadIdentity();
    if (w <= h)
         gluOrtho2D (xmin, xmax, ymin, ymax*h/w);
    else
         gluOrtho2D (xmin, xmax*w/h, ymin, ymax);
    ...
```

- `xmin`, `xmax`, `ymin`, `ymax` definem os planos que delimitam a Window.

Mapeamento Window-Viewport




```
void AlteraTamanho(GLsizei w, GLsizei h)
    ...
    glViewport(0, 0, w, h);
    // recalcula a matriz de projeção
    glMatrixMode(GL_PROJECTION);
    glLoadIdentity();
    if (w <= h)
         gluOrtho2D (xmin, xmax, ymin, ymax*h/w);
    else
         gluOrtho2D (xmin, xmax*w/h, ymin, ymax);
    ...
```

Exemplo 4
Interface-Movimento

Exemplo 4 (Interface-Movimento)

```
#include <GL/glut.h>

// Funções callback
void desenha(void);
void movimento(int x, int y);
void botao(int button, int state, int x, int y);
void alteraTamanhoJanela(GLsizei w, GLsizei h);

// Variáveis globais
float largura, altura; // tamanho da world window e do viewport
float rx, ry; // posição inicial do retângulo vermelho

int main(int argc, char *argv[])
{
      largura = 600;
      altura = 600;

      glutInit(&argc, argv);
      glutInitDisplayMode(GLUT_RGBA | GLUT_DOUBLE);
      glClearColor(0, 0, 0, 1);
```

Exemplo 4 (Interface-Movimento)

```
        glutPositionWindow(200, 100);
        glutReshapeWindow(largura, altura);

        glMatrixMode(GL_PROJECTION);
        glLoadIdentity();
        gluOrtho2D(0, largura, 0, altura);

        glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
        glLoadIdentity();

        glutDisplayFunc(desenha);
        glutIdleFunc(desenha);
        glutMotionFunc(movimento);
        glutMouseFunc(botao);
        glutReshapeFunc(alteraTamanhoJanela);

        glutMainLoop();

        return 0;
}
```

Exemplo 4 (Interface-Movimento)

```
// Função callback chamada para fazer o desenho
void desenha(void)
{
      glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
      glColor3f(1, 1, 0); // desenha em amarelo
      glRectf(100, 100, 300, 200); // desenha retângulo amarelo
      glColor3f(1, 0, 0); // desenha em vermelho
      glRectf(rx, ry, 100 + rx, 20 + ry); // desenha retângulo vermelho

      GlutSwapBuffers(); // buffer de cor duplo
}
// Função callback para o mouse se movimentando com botão pressionado
void movimento(int x, int y)
{
      rx = x; ry = altura - y;
}
// Função callback chamada quando o botão do mouse é pressionado
void botao(int button, int state, int x, int y)
{
      if (button == GLUT_LEFT_BUTTON && state == GLUT_DOWN)
          rx = x; ry = altura - y;
}
```

Exemplo 4 (Interface-Movimento)

```
// Função callback chamada quando o tamanho da janela é alterado
void alteraTamanhoJanela(GLsizei w, GLsizei h)
{
      largura = w;
      altura = h;

      // Especifica as dimensões da Viewport
      glViewport(0, 0, largura, altura); // comando não necessário:
                                         //comportamento default
      // Inicializa o sistema de coordenadas do mundo
      glMatrixMode(GL_PROJECTION);
      glLoadIdentity();

      // Dimensões da World Window (left, right, bottom, top)
      gluOrtho2D(0, largura, 0, altura);
}
```

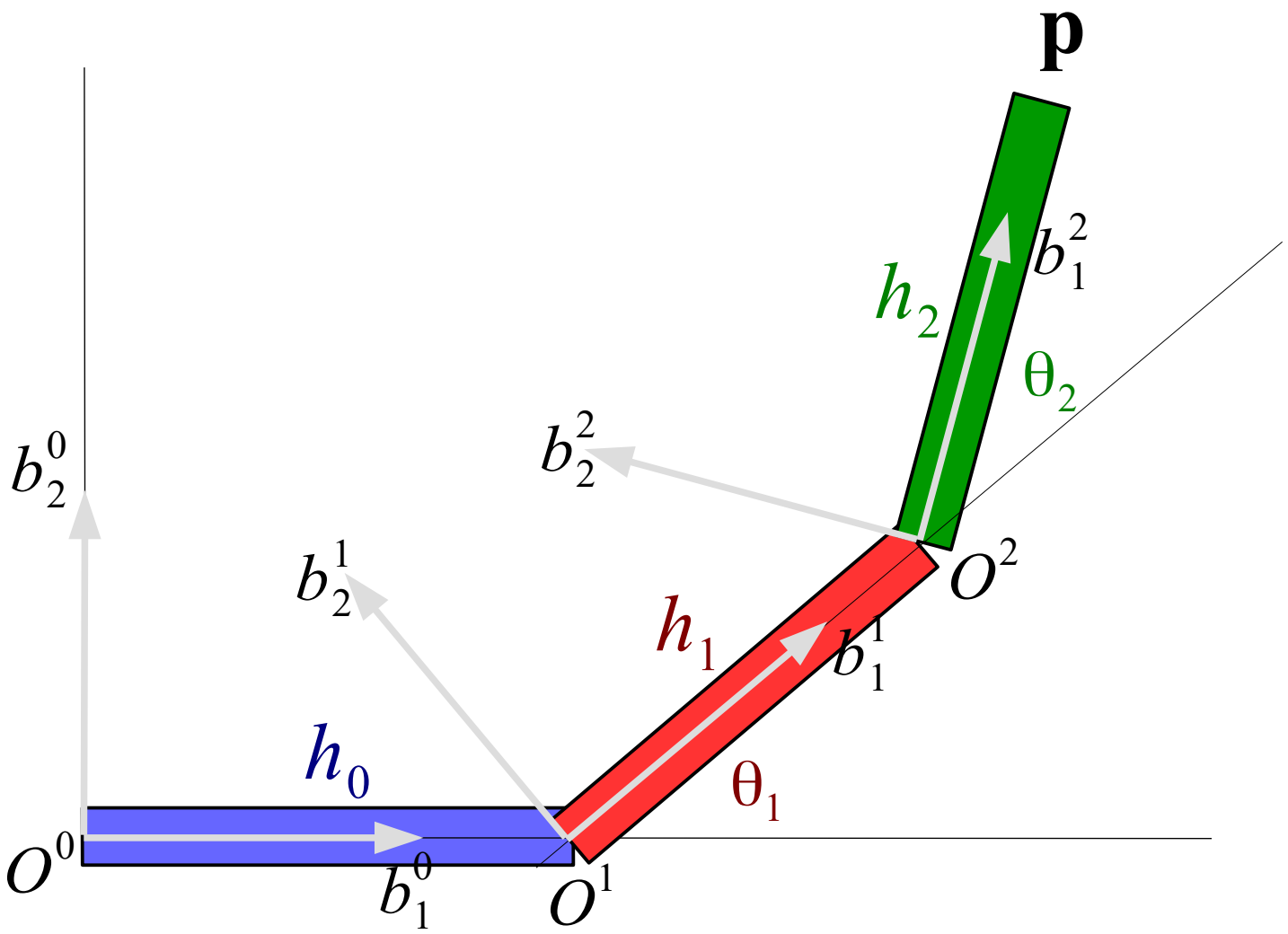
Exemplo 4 (Interface-Movimento)

Experimente:

- Dê um clique do mouse para movimentar o retângulo vermelho.
- Clique e arraste (com o botão esquerdo pressionado).
- Em tempo de execução, altere o tamanho da janela criada pelo programa.
- Por que o redimensionamento da janela provoca um efeito diferente em relação aos exemplos 2 e 3?

Exemplo 5
Animação-Timer

Exemplo 5 (Animação-Timer)



Exemplo 5 (Animação-Timer)

```
// Exemplo Braço Mecânico 2D

#include <GL/freeglut.h>

#define PI 3.141592654
#define tAnima 5.0
#define deltaT 33

float theta1, theta2, thetaMax, thetaMin, hMax, h0, h1, h2,incremento;

void draw(void);
void keyboard(unsigned char key, int x, int y);
void setTimer(int value);
void reshapeWindow(GLsizei w, GLsizei h);
```

Exemplo 5 (Animação-Timer)

```
int main(int argc, char ** argv)
{
      h0 = 6; h1 = 4; h2 = 2;
      hMax = h0 + h1 + h2;
      theta1 = theta2 = 0;
      thetaMax = PI/2;
      thetaMin = -PI/2;
      incremento = 0.1;

      glutInit(&argc, argv);
      glutInitDisplayMode(GLUT_RGB | GLUT_DOUBLE);
      glutCreateWindow("Braço Mecânico 2D");
      glutPositionWindow(200, 100);
      glutReshapeWindow(200, 400);

      glMatrixMode(GL_PROJECTION);
      glLoadIdentity();
      gluOrtho2D(0, hMax, -hMax, hMax);
```

Exemplo 5 (Animação-Timer)

```
        glutDisplayFunc(draw);
        glutKeyboardFunc(keyboard);
        glutTimerFunc(deltaT, setTimer, 1);
        glutReshapeFunc(reshapeWindow);

        glutMainLoop();
        return 0;
}
void draw(void)
{
        glClearColor(1, 1, 1, 1);
        glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
        glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
        glLoadIdentity();
        glLineWidth(20);
        /* haste 0 */
        glBegin(GL_LINES);
            glColor3f(0, 0, 1);
            glVertex2f(0.0, 0.0);
            glVertex2f(h0, 0.0);
        glEnd();
```

Exemplo 5 (Animação-Timer)

```
        /* haste 1 */
        glTranslatef(h0, 0, 0);
        glRotatef(180.0*theta1 / PI, 0.0, 0.0, 1.0);
        glBegin(GL_LINES);
            glColor3f(1, 0, 0);
            glVertex2f(0.0, 0.0);
            glVertex2f(h1, 0.0);
        glEnd();
        /* haste 2 */
        glTranslatef(h1, 0, 0);
        glRotatef(180.0*theta2 / PI, 0.0, 0.0, 1.0);
        glBegin(GL_LINES);
            glColor3f(0, 1, 0);
            glVertex2f(0.0, 0.0);
            glVertex2f(h2, 0.0);
        glEnd();
        glutSwapBuffers();
}
```

Exemplo 5 (Animação-Timer)

```
void keyboard(unsigned char key, int x, int y)
{
      if (key == 27) exit(0);
}
void setTimer(int value)
{
      theta1 = theta1 + incremento;
      if ((theta1>=thetaMax)||(theta1<=thetaMin)) incremento *= -1;
      theta2 = theta1 * 2;
      glutPostRedisplay();
      glutTimerFunc(deltaT, setTimer, 1);
}
void reshapeWindow(GLsizei w, GLsizei h)
{
      if (h == 0) h = 1;
      glViewport(0, 0, h/2, h);
}
```

Exemplo 5 (Animação-Timer)

Experimente:

- Em tempo de execução, altere o tamanho da janela criada pelo programa.
- Modifique o código para fazer com que os ângulos θ_1 e θ_2 sejam alterados pelo teclado.

Fim