Universidade do Minho

Departamento de Informática

Computação Gráfica

Fase I – Primitivas Gráficas

João Neves (a81366) Luís Manuel Pereira (a77667)
Rui Fernandes (a89138) Tiago Ribeiro (a76420)

Março 2021

Resumo

O presente relatório descreve o trabalho prático realizado no âmbito da disciplina de *Computação Gráfica*, ao longo do segundo semestre do terceiro ano do Mestrado Integrado em Engenharia Informática da Universidade do Minho.

O objetivo da primeira fase do trabalho prático foi criar um gerador de vértices de quatro primitivas gráficas: plano, paralelepípedo, esfera e cone, tendo em consideração diferentes parâmetros, nomeadamente a altura, a largura, a profundidade e o número de divisões. Também foi necessário criar um motor capaz de ler um ficheiro XML e exibir a respetiva primitiva gráfica.

Neste documento descrevemos sucintamente a aplicação desenvolvida discutimos as decisões tomadas durante a realização do trabalho prático.

Conteúdo

Lista de Figuras

1 Introdução

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular de *Computação Gráfica* e tem como objetivo desenvolver um motor gráfico genérico para representar objetos a 3 dimensões.

O projeto está dividido em várias fases, sendo que nesta primeira fase pretende-se a realização de dois sistemas – um primeiro que guarde num ficheiro informações relativas a uma primitiva gráfica que se pretende desenhar futuramente, usando o GLUT, e um segundo mecanismo, que, lendo de um ficheiro XML, desenhará o modelo segundo as indicações contidas no ficheiro e os modelos gerados anteriormente, obtendo-se assim uma figura.

2 Arquitetura

Após analisar o problema, foi decidido que o projeto estaria dividido em dois executáveis, o `generator` e o `engine`. Para além destes, foi tambem desenvolvido um módulo `vertex` comum aos dois, que representa um ponto no espaço tridimensional.

O *generator* destina-se a gerar os pontos que permitem, posteriormente, desenhar um conjunto de primitivas gráficas. Desta forma, interpreta os argumentos da linha de comandos, invocando as funções adequadas de modo a produzir um ficheiro com a representação destes pontos.

O *engine*, por sua vez, destina-se a representar as primitivas produzidas anteriormente. Para a leitura dos ficheiros XML, foi utilizada a biblioteca `tinyxml2`, que disponibiliza um vasto conjunto de funções para o tratamento deste tipo de ficheiros.

Adicionou-se, também, às funcionalidades um comando *help*, que poderá ser utilizado invocando o executável com a extensão `-h`. Este comando apresenta um manual que permite aos utilizadores visualizar quais os comandos disponíveis e os seus argumentos. Este comando está disponível tanto para o *generator* como para o *engine*, como se pode verificar nas seguintes figuras.

Por fim, com o propósito de melhorar a perspetiva sobre a própria figura, é possível mudar a posição da câmara, mudar o formato de desenho da figura para ponto, linha ou até mesmo sólido e ver o interior do modelo.

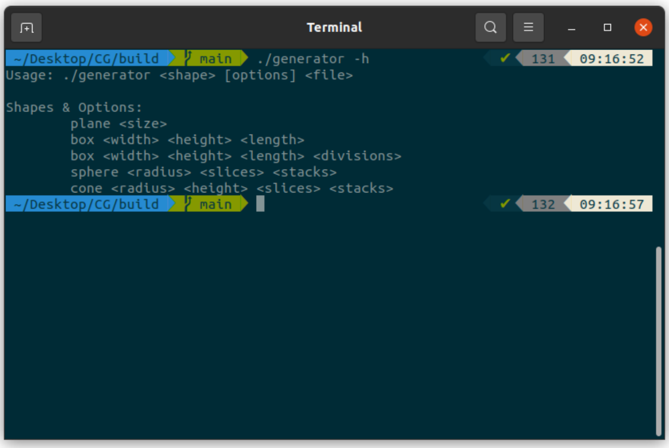


Figura 1: Comando *help* do *generator*

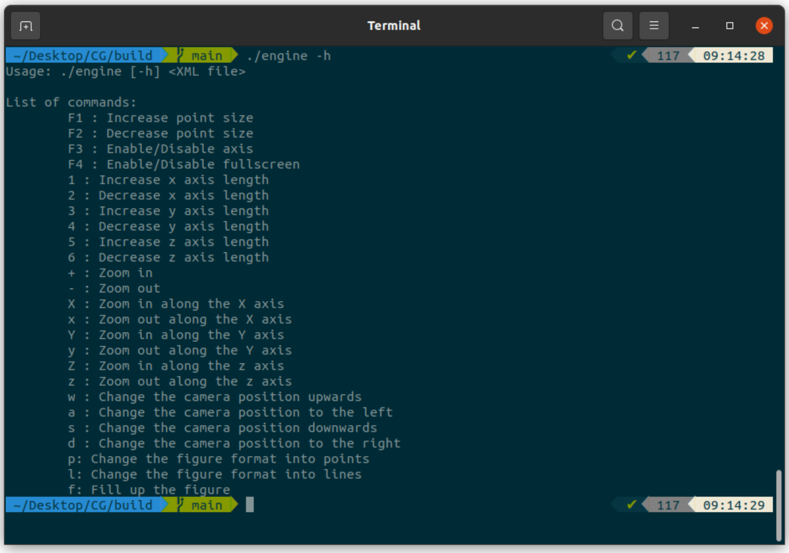


Figura 2: Comando *help* do *engine*

2.1 *Generator*

Tal como dito anteriormente, o *generator* é responsável pelo cálculo das coordenadas dos pontos necessários para o desenho dos dos triângulos que compõem as diversas primitivas gráficas.

Neste módulo foram definidas 4 primitivas gráficas: plano, paralelepípedo, esfera e cone. Como tal, existiu a necessidade adotar algoritmos distintos em função da primitiva em questão, algoritmos esses que serão discutidos a seguir.

O formato escolhido para representar cada um dos pontos gerados consiste de colocar um ponto por linha com as coordenadas x, y e z, por esta ordem e separadas por um espaço. Assim, o conjunto de pontos $(1, 0, 0)$, $(0, 1, 0)$ e $(0, 0, 1)$ seria representado como:

$$\begin{matrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{matrix}$$

2.2 *Engine*

O *engine* é a aplicação responsável por receber o ficheiro de configuração de uma *scene* em XML com todos os ficheiros que contém os modelos a serem carregados para serem posteriomente gerados através do OpenGL. Cada ficheiro com modelos presentes no ficheiro de configuração é analisado pelo programa para dele serem extraídos os vários pontos que são depois adicionados a uma estrutura de dados adequada.

Assim, é necessário percorrer todas as linhas destes ficheiros e guardar cada entrada como um ponto (x, y, z) no espaço 3D. Para isso, foi criada uma classe `Vertex` que representa cada um destes pontos. Deste modo, cada entrada do ficheiro é instanciada como um objeto desta classe, sendo esta posteriormente adicionada à lista de pontos a desenhar, `std::vector<Vertex> vertices`.

Uma vez tendo os pontos necessários para o desenho dos triângulos que compõem diferentes primitivas, é, então, possível desenhar as figuras. Para tal, é necessário percorrer a estrutura supracitada e desenhar cada um dos pontos invocando, para isso, funções do OpenGL.

De seguida, cada modelo é renderizado no ecrã, chamando a função `glVertex3f` para cada um dos seus pontos previamente carregados para memória e, por fim, inicia-se o *main loop* do GLUT. Desta forma, os modelos são carregados para memória apenas uma vez.

```
class Vertex {
        private:
        float _x, _y, _z;
        // (...)
};
```

A título de exemplo, considerando os ficheiros `sphere.3d`, `coneup.3d` e `conedown.3d` gerados utilizando os comandos `./generator sphere 4 50 50`, `./generator cone 4 4 50 50`, e `./generator cone 4 -4 50 50`, respetivamente, e considerado o ficheiro XML `scene.xml` apresentado a seguir, o *output* gerado pelo *engine* é o seguinte:

```
<scene>
    <model file="sphere.3d" />
    <model file="coneup.3d" />
    <model file="conedown.3d" />
</scene>
```

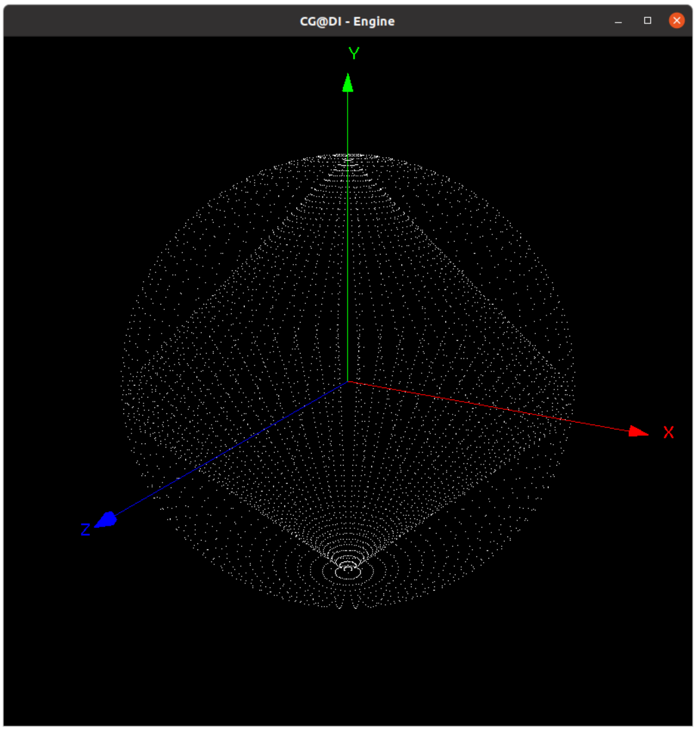


Figura 3: *Output* gerado pelo *engine*

3 Primitivas Gráficas

Para esta fase do trabalho prático foram desenhadas quatro primitivas gráficas, nomeadamente um plano, um cubo, uma esfera e um cone. Serão, em seguida, apresentados os algoritmos para o cálculo dos vértices necessários para o desenho de cada uma destas primitivas.

3.1 Plano

Para a construção do plano, que pode ser interpretado como 2 triângulos, é necessário um argumento: a sua dimensão (`size`).

Sendo que, um triangulo é definido por 3 vértices, verifica-se que 2 dos 4 vértices necessários à definição do um plano irão ser partilhados por ambos os triângulos. Sabendo também que o plano está a ser centrado na origem e como este é desenhado sobre o plano XZ, o valor de y para todos os pontos é constante e igual 0. Por fim, uma vez que se pretende que este fique centrado na origem, é necessário dividir o comprimento passado como argumento (`size`) por dois de modo a obter as coordenadas em X e Z necessárias para formar ambos os triângulos.

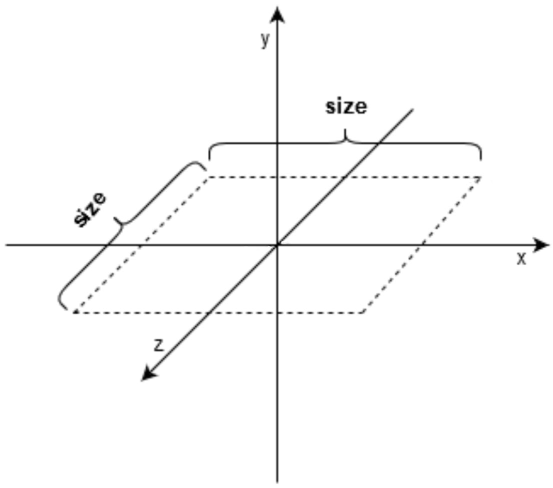


Figura 4: Representação de um plano centrado na origem

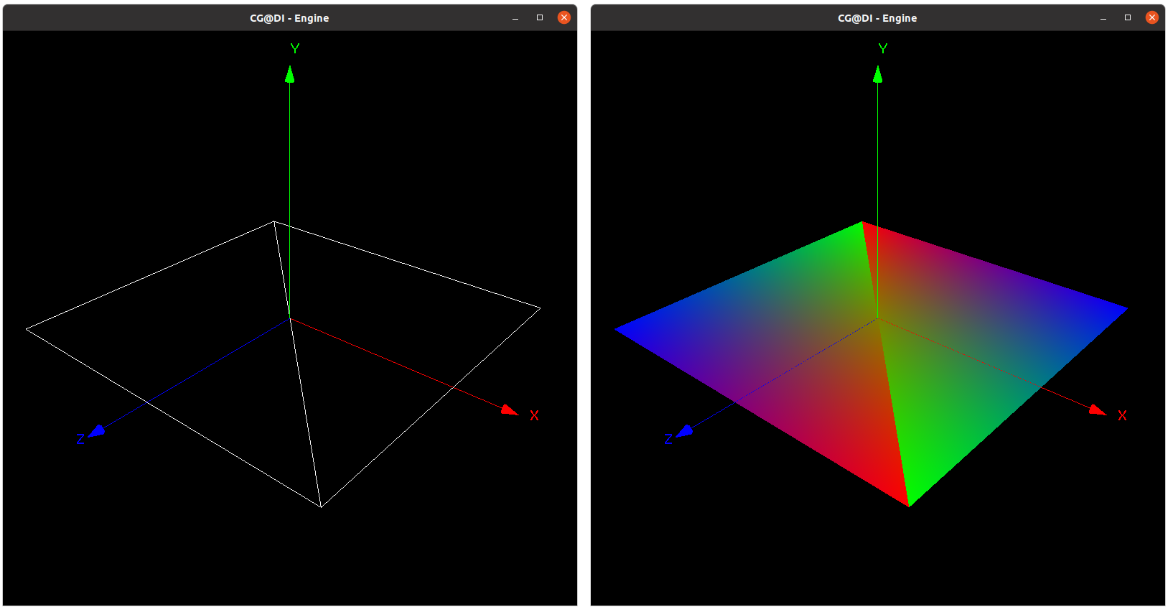
Assim, tal como ilustrado na figura anterior, os vértices dos triângulos terão as seguintes coordenadas:

$$\left(\frac{size}{2}, 0, \frac{size}{2}\right), \left(-\frac{size}{2}, 0, -\frac{size}{2}\right), \left(-\frac{size}{2}, 0, \frac{size}{2}\right)$$

e

$$\left(-\frac{size}{2}, 0, -\frac{size}{2}\right), \left(\frac{size}{2}, 0, \frac{size}{2}\right), \left(\frac{size}{2}, 0, -\frac{size}{2}\right)$$

O resultado da renderização pode ser visto na figura seguinte:



(a) Plano renderizado no modo `GL_LINE` (b) Plano renderizado no modo `GL_FILL`

Figura 5: Plano com comprimento 8

3.2 Paralelepípedo

Um paralelepípedo é composto por 6 faces. Sendo assim, para a sua construção são necessários vários argumentos: o comprimento (`width`), a altura (`height`) e o comprimento (`length`). Pode, opcionalmente, ser também passado como argumento o número de divisões em cada face[1] (`divisions`).

Tendo o paralelepípedo centrado na origem de forma a facilitar os cálculos, e sabendo que cada uma das faces é constituída por $divisions^2$ quadriláteros, e sendo cada um deles formado por dois triângulos, é possível determinar o espaçamento entre cada um destes quadriláteros, espaçamento esse que será utilizado para iterar sobre todo o sólido:

$$d_x = \frac{width}{divisions}$$
$$d_y = \frac{height}{divisions}$$
$$d_z = \frac{length}{divisions}$$

Desta forma, torna-se, então, possível calcular as coordenadas de todos os vértices necessários à construção do sólido. Tal como ilustrado na figura seguinte, e usando como exemplo um triângulo da face frontal de um paralelepípedo, teríamos as seguintes coordenadas, onde i e j serão variáveis que permitem iterar ao longo das faces:

[1] Um paralelepípedo sem divisões nas faces pode ser visto como um paralelepípedo com divisões tal que `divisions = 1`.

Vértice A:

$$\left(d_x \times i - \frac{width}{2}, d_y \times j - \frac{height}{2}, \frac{length}{2}\right)$$

Vértice P:

$$\left(d_x \times i - \frac{width}{2} + d_x, d_y \times j - \frac{height}{2}, \frac{length}{2}\right)$$

Vértice R:

$$\left(d_x \times i - \frac{width}{2}, d_y \times j - \frac{height}{2} + d_y, \frac{length}{2}\right)$$

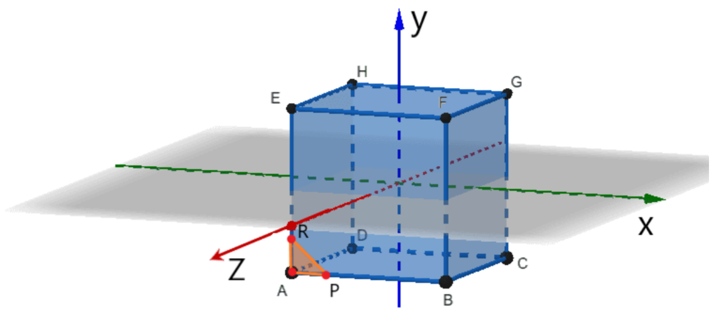
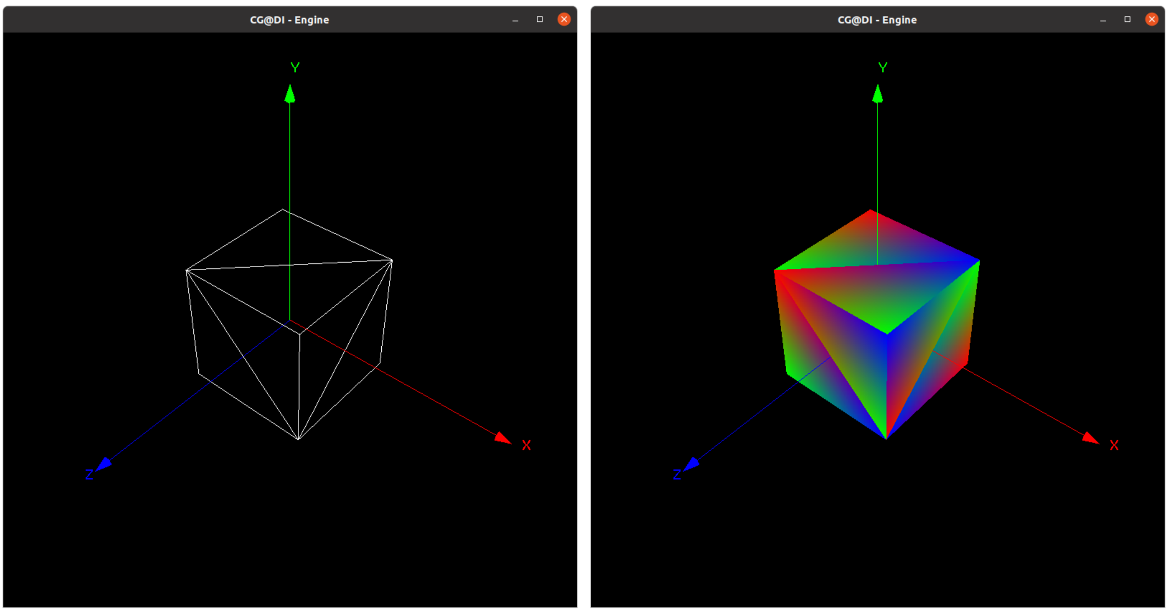


Figura 6: Representação de um paralelepípedo centrado na origem

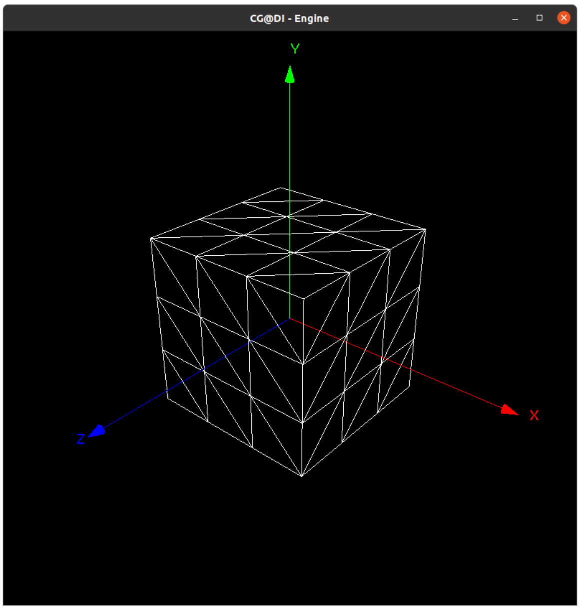
O resultado da renderização pode ser visto na figura seguinte:



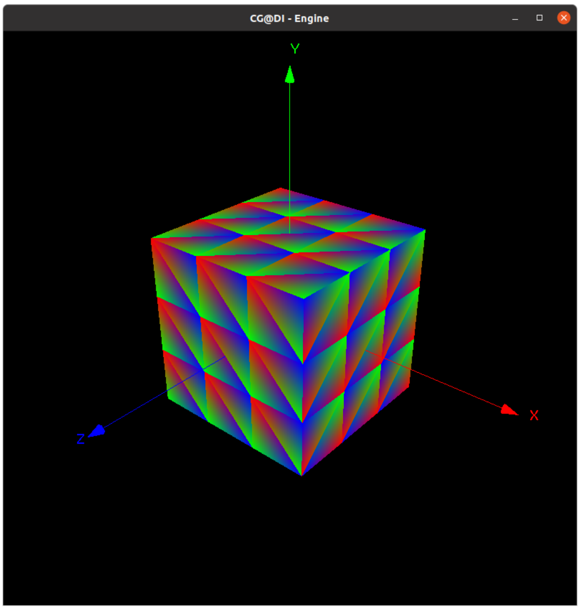
(a) Paralelepípedo sem divisões renderizado no modo `GL_LINE`

(b) Paralelepípedo sem divisões renderizado no modo `GL_FILL`

Figura 7: Paralelepípedo sem divisões, com dimensões $3 \times 3 \times 3$



(a) Paralelepípedo com divisões nas faces renderizado no modo `GL_LINE`



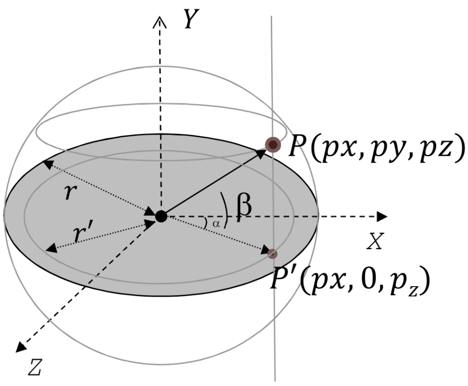
(b) Paralelepípedo com divisões nas faces renderizado no modo `GL_FILL`

Figura 8: Paralelepípedo de dimensões $4 \times 4 \times 4$, e 3 divisões por face

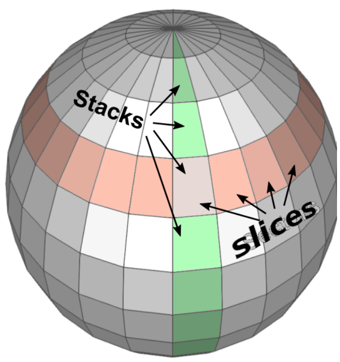
3.3 Esfera

Para a criação da esfera são utilizadas coordenadas esféricas de modo a facilitar o cálculo das coordenadas de cada um dos pontos. Deste modo, são necessárias duas variáveis para representar os dois ângulos α e β, representados na figura que se segue, em função dos quais serão expressas as coordenadas de cada ponto, e que serão atualizadas em cada iteração.

Uma esfera pode ser dividida em *stacks* e *slices*, que serão usadas para iterar à volta da mesma. A interseção entre uma *slice* e uma *stack* forma um retângulo, composto por dois triângulos.



(a) Sistema de coordenadas esféricas



(b) *Stacks* e *Slices*

Figura 9: Geometria de uma esfera

Usando coordenadas esféricas, podemos facilmente obter as coordenadas cartesianas para guardar posteriormente nas respetivas estruturas de dados. Analisado a figura 9a, e considerando os ângulos α e β, podemos obter coordenadas de qualquer ponto sobre a esfera, sendo que para determinar as coordenadas do ponto P para o eixo dos X basta fazer o produto do cosseno do ângulo α com o cosseno do ângulo β e multiplicar estes dois fatores pelo o raio da circunferência, neste caso da esfera. Para o eixo dos Z o raciocínio é semelhante, sendo que agora basta fazer o produto do seno do ângulo α com o cosseno do ângulo β e novamente multiplicando pelo o raio da esfera. Por fim, para obter o eixo dos Y, basta multiplicar o seno do ângulo β com o raio da esfera e obtemos diretamente a coordenada Y.

Como forma de exemplo podemos observar que para calcular o ponto P' bastava usar o cosseno de α para a coordenada em X, o seno de β para a coordenada em Z e simplesmente igualar a coordenada em Y a zero visto que estamos no plano XZ, no qual a coordenada y toma sempre o valor zero. Usando agora o primeiro cálculo para calcular este ponto P':

$$\begin{cases} x = \cos\alpha \times \cos\beta \times r \\ y = \sin\beta \times r \\ z = \sin\alpha \times \cos\beta \times r \end{cases}$$

Como o ângulo β é igual a 0, anulando os senos e cossenos da fórmula, temos como resultado a previsão inicial:

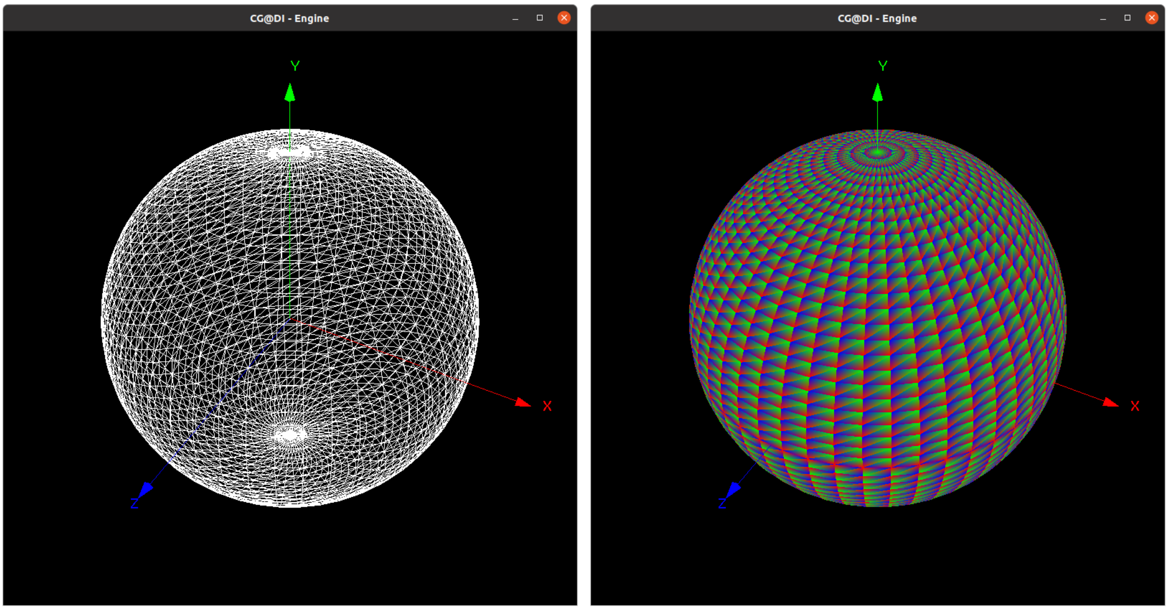
$$\begin{cases} x = \cos\alpha \times 1 \times r = \cos\alpha \times r \\ y = 0 \times r = 0 \\ z = \sin\alpha \times 1 \times r = \sin\alpha \times r \end{cases}$$

Atendendo ao número de *stacks* e *slices*, é possível calcular dois deslocamentos: o deslocamento horizontal, d_α, entre $0\,\text{rad}$ e $2\pi\,\text{rad}$, e o deslocamento vertical, d_β, entre $0\,\text{rad}$ e $\pi\,\text{rad}$.

$$d_\alpha = \frac{2\pi}{slices}$$
$$d_\beta = \frac{\pi}{stacks}$$

Assim, e com estes deslocamentos, podemos proceder ao cálculo dos vertices, tendo em consideração que o ângulo α é incrementado a cada iteração no valor de d_α e, quando este atingir o valor de $2\pi\,\text{rad}$ (*i.e.* quando der uma volta completa em torno da esfera), é, então, incrementado o angulo β, recorrendo ao valor d_β, e α é inicializado a partir do 0, novamente, e é mais uma vez percorrida a esfera horizontalmente, até que ângulo β atinja o valor de $\pi\,\text{rad}$.

O resultado da renderização pode ser visto na figura seguinte:



(a) Esfera renderizada no modo `GL_LINE` (b) Esfera renderizada no modo `GL_FILL`

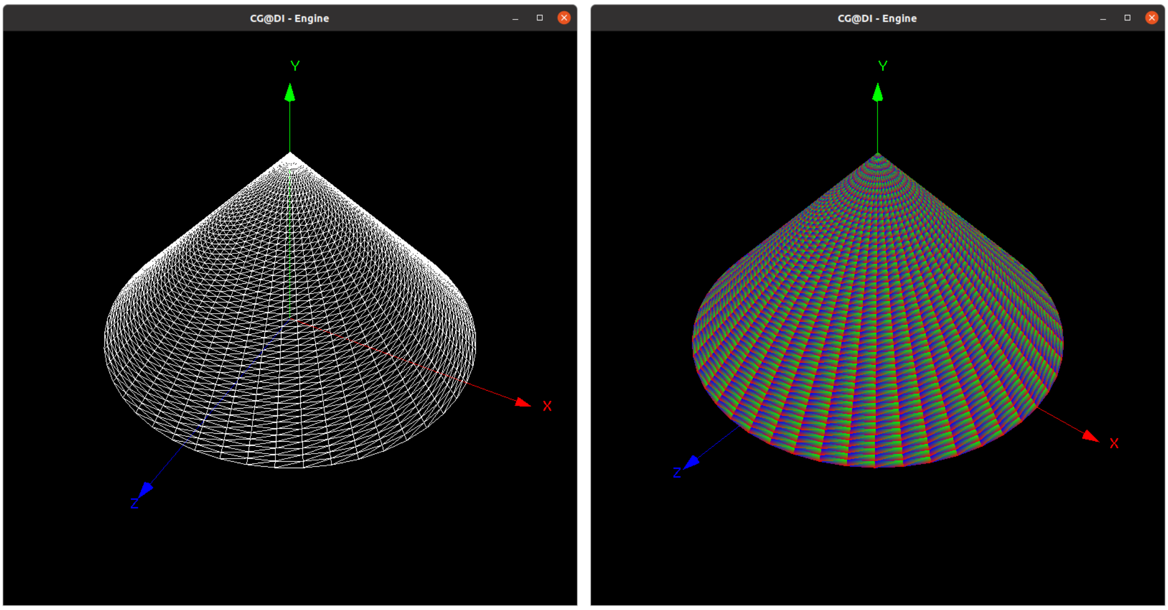
Figura 10: Esfera de raio 8, construída com 50 *slices* e 50 *stacks*

3.4 Cone

Para desenhar um cone é necessário saber o seu raio (`radius`), a sua altura (`height`), o número de *slices* (`slices`) e o número de *stacks* (`stacks`).

O algoritmo para o desenho de um cone introduz cálculos trigonométricos para o cálculo das coordenadas dos vértices, em função dos mesmos ângulos α e β referidos anteriormente. A diferença do cone para a esfera reside no facto de o ângulo α estar continuamente a decrescer à medida que percorremos o eixo Y, isto sabendo que o vetor da origem O ao vértice do cone está paralelo e com o mesmo sentido do eixo positivo Y. Dividindo então este ângulo inicial α pelo número de *slices*, obtemos o nosso deslocamento radial $\Delta\alpha$ que nos irá permitir a decrementar a cada camada do cone o ângulo α. Ao decrementar este ângulo, podemos facilmente obter os pontos facilmente utilizando um raciocínio análogo ao da construção da esfera.

O resultado da renderização pode ser visto na figura seguinte:



(a) Cone sem divisões renderizado no modo `GL_LINE`

(b) Paralelepípedo sem divisões renderizado no modo `GL_FILL`

Figura 11: Cone de raio 4 e altura 4, construído com 50 *slices* e 50 *stacks*

4 Conclusão

A elaboração desta primeira fase do trabalho prático permitiu a consolidação de conhecimentos relativos ao OpenGL e GLUT e, ao mesmo tempo, a linguagem de programação de C++, e até mesmo relembrar certos aspetos no âmbito da geometria.

Fazendo uma análise geral ao trabalho desenvolvido ao longo desta primeira fase, conclui-se que foram cumpridos todos os objetivos que foram propostos.

Como trabalho futuro gostaríamos de implementar outras primitivas no *generator*, como por exemplo o *torus*, assim como a implementação de uma câmara *FPS* – *First-Person Shooter* no *engine*.