Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Mestrado Integrado em Engenharia Informática

Unidade Curricular de Computação Gráfica

Relatório do Trabalho Prático

2016/2017

GRUPO

Pedro Cunha A73958, José Silva A74601, Luís Fernandes A74748, João Coelho A74859

6 de março de 2017

Índice

Introdução

Com este trabalho pretende-se desenvolver um motor gerador de cenas baseadas em gráficos 3D, complementando-o com algumas figuras exemplo que mostrem o seu potencial. O trabalho será dividido em quatro fases, com diferentes fases de entrega.

Na primeira fase, o objetivo recai na criação de um programa gerador de ficheiros com informação sobre os vértices das figuras gráficas a serem desenhadas pelo motor. As primitivas gráficas requeridas são um plano, uma caixa, uma esfera e um cone.

Fase 1

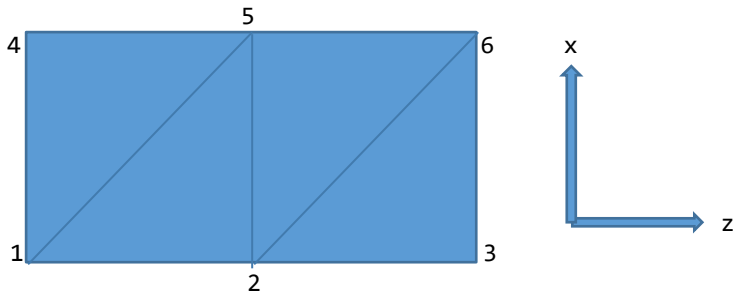
1) Primitivas gráficas

i) Plano

```
std::vector<std::string> plane(float x, float y, float z, int div)
```

- x -> comprimento em x;
- y -> posição do plano em y;
- z -> comprimento em z;
- div -> número de divisões.

```
for(int i = 0; i < div; i++) {
	for(int j = 0; j < div; j++) {
		v.push_back(vertexString(x/2-x/div*(i+1),
				y, -z/2+z/div*j));
		v.push_back(vertexString(x/2-x/div*i,
				y, -z/2+z/div*(j+1)));
		v.push_back(vertexString(x/2-x/div*i,
				y, -z/2+z/div*j));
		v.push_back(vertexString(x/2-x/div*(i+1),
				y, -z/2+z/div*j));
		v.push_back(vertexString(x/2-x/div*(i+1),
				y, -z/2+z/div*(j+1)));
		v.push_back(vertexString(x/2-x/div*i,
				y, -z/2+z/div*(j+1)));
	}
}
```



Considere-se a figura acima, onde está ilustrado o caso de um plano com duas divisões (estão representadas apenas as duas colunas, falta mais uma linha). Olhando para o algoritmo, os 6 vértices gerados representam os dois triângulos de cada divisão. O primeiro trio representa, no caso da primeira divisão, os vértices 1;5;4 e o segundo 1;2;5, por esta ordem. Os vértices são gerados na ordem necessária para poderem ser visíveis no desenho. O algoritmo é executado até gerar os vértices em todas as colunas de cada linha.

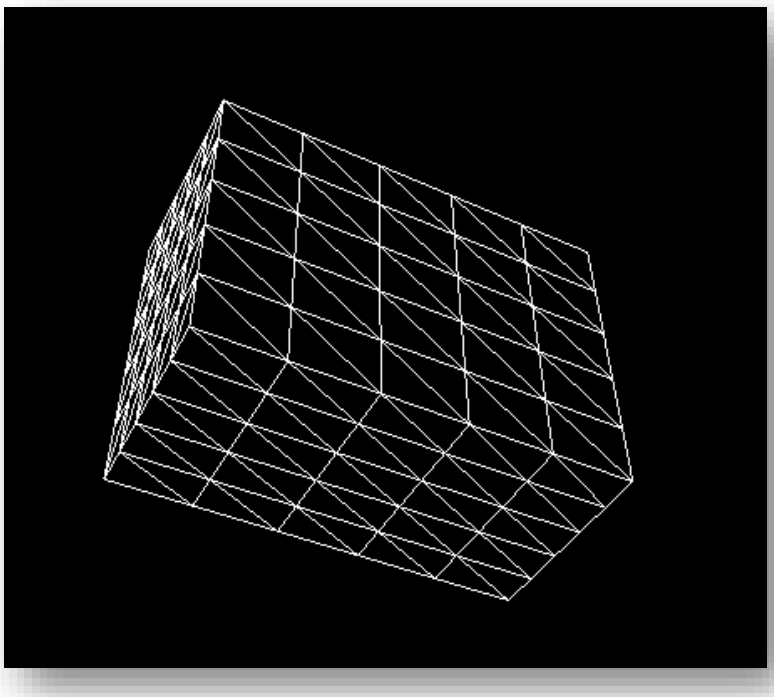
ii) Caixa

```
std::vector<std::string> box(float x, float y, float z, int div)
```

- x -> comprimento em x;
- y -> altura;
- z -> comprimento em z;
- div -> número de divisões.

```
std::vector<std::string> v;
//top
v = plane(x, y/2, z, div);

//Usa a função plane para desenhar o topo da caixa.

	for(int i = 0; i < div; i++) {
		for(int j = 0; j < div; j++) {
		//base
		v.push_back(vertexString(x/2-x/div*(i+1), -y/2, -z/2+z/div*j));
		v.push_back(vertexString(x/2-x/div*i, -y/2, -z/2+z/div*j));
		v.push_back(vertexString(x/2-x/div*i, -y/2, -z/2+z/div*(j+1)));

		v.push_back(vertexString(x/2-x/div*(i+1), -y/2, -z/2+z/div*j));
		v.push_back(vertexString(x/2-x/div*i, -y/2, -z/2+z/div*(j+1)));
		v.push_back(vertexString(x/2-x/div*(i+1), -y/2, z/2+z/div*(j+1)));

		}

	}
```

Está apenas a base representada, pois chega como exemplo de comparação com o topo desenhado usando a função plane. O que muda na base em relação ao topo é a ordem pela qual são gerados os vértices, isto porque é necessário que a base fique virada para baixo. Usando novamente a figura do plano, os vértices da primeira divisão, no caso da base, seriam na ordem 1;4;5 e 1;5;2. Relativamente a este exemplo, a única mudança nos restantes casos é que os vértices deixam de ser em XZ e passam a XY e YZ.



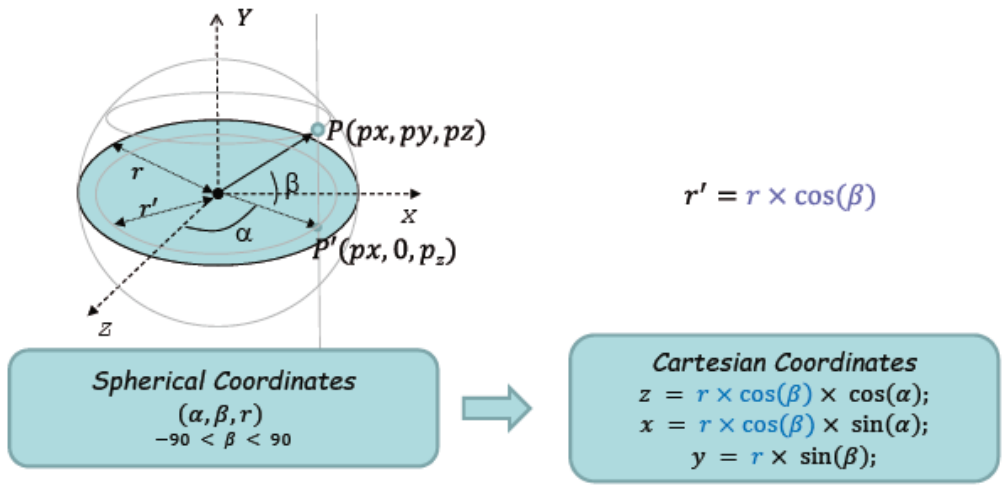
iii) Esfera

O desenho da esfera requer alguns parâmetros de input, entre eles o raio que a esfera irá tomar, o número de *slices* e o número de *stacks*.

```
std::vector<std::string> sphere(float radius, int slices, int stacks)
```

- radius -> raio da esfera;
- slices -> número de divisões verticais da figura (ao longo do eixo dos yy);
- stacks -> número de divisões horizontais da figura (ao redor do eixo dos yy).

Passando ao algoritmo usado, foi inicialmente planeado o uso da conversão de coordenadas esféricas para cartesianas, como demonstra a seguinte figura:




```
for (int i = 0; i < stacks; i++) {
```

1º Ciclo que vai incrementando o i quando passamos para a próxima *stack* a desenhar.

```
for (int j = 0; j < slices; j++) {
```

2º Ciclo que vai incrementando o j quando passamos para a próxima *slice* a desenhar.

Este ciclo encontra-se dentro do anterior, visto que vamos desenhar todas as *slices* necessárias a cada camada da *stack*.

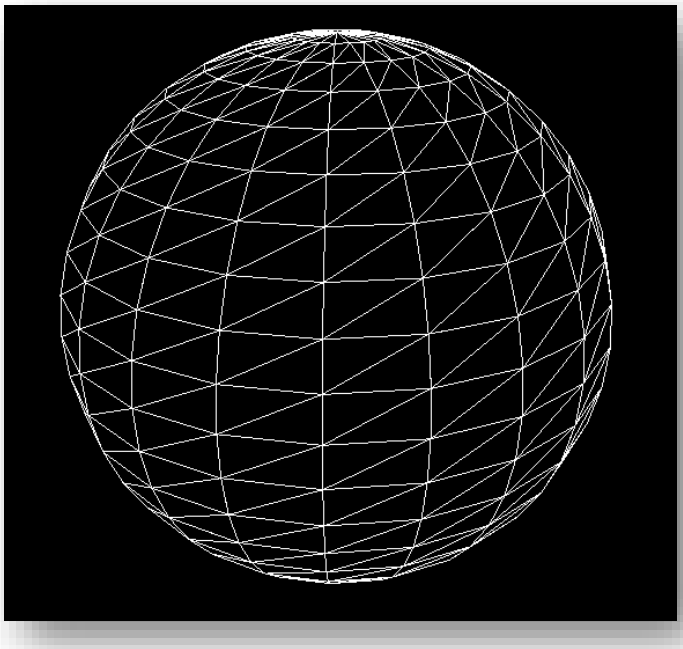
```
if (i != stacks - 1) {
  fi = (i + 1) * M_PI/stacks;
  teta = (j + 1) * 2 * M_PI/slices;
  v.push_back(vertexString(radius * cos(teta)*sin(fi),
              radius * cos(fi),
              radius * sin(teta)*sin(fi)));
  teta = j * 2 * M_PI/slices;
```

```
            v.push_back(vertexString(radius * cos(teta)*sin(fi),
                        radius * cos(fi),
                        radius * sin(teta)*sin(fi)));
            fi = i * 2 * M_PI/slices;
            v.push_back(vertexString(radius * cos(teta)*sin(fi),
                        radius * cos(fi),
                        radius * sin(teta)*sin(fi)));
        }
        if (i != 0) {
            fi = i * M_PI/stacks;
            teta = j * 2 * M_PI/slices;
            v.push_back(vertexString(radius*cos(teta)*sin(fi),
                        radius * cos(fi),
                        radius * sin(teta)*sin(fi)));
            teta = (j + 1) * 2 * M_PI/slices;
            v.push_back(vertexString(radius * cos(teta)*sin(fi),
                        radius * cos(fi),
                        radius * sin(teta) * sin(fi)));
            fi = (i + 1) * M_PI/stacks;
            v.push_back(vertexString(radius * cos(teta)*sin(fi),
                        radius * cos(fi),
                        radius * sin(teta) * sin(fi)));
          }
```

Dentro dos ciclos anteriormente referidos encontram-se 2 blocos if. Como é possível verificar, ambos são executados, a menos que a camada da *stack* a desenhar seja a primeira ou a última, isto porque na primeira e na última camada, cada *slice* vai ser constituída apenas por um triângulo e não por dois, como acontece em todas as outras camadas. Dito isto, caso estejamos a desenhar a primeira camada, apenas o primeiro bloco if é executado, colocando as variáveis **float fi** e **float teta** com os ângulos necessários para o desenho do triângulo, dando aqui uso às primitivas referidas anteriormente de conversão de coordenadas esféricas em coordenadas cartesianas.

Da mesma forma, é executado apenas o 2º bloco if caso a camada da *stack* seja a última. Quando a camada a desenhar não é a primeira nem a última, ambos os blocos são executados e, desta forma, cada um deles desenha um triângulo, os quais juntos vão dar forma ao retângulo que forma a *slice* dessa camada da *stack*.

Como nas outras formas desenhadas, é de salientar que a ordem pela qual são desenhados os vértices dos triângulos é relevante, visto que é assim que garantimos que o conseguimos visualizar do ponto de vista pretendido.



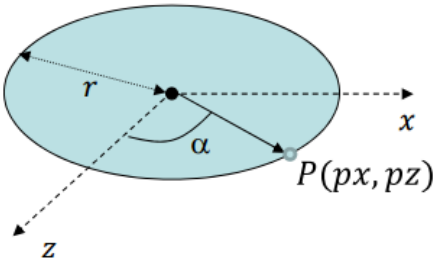
iv) Cone

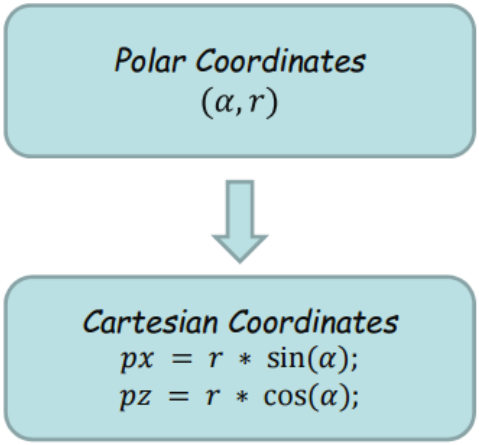
Tal como constava no enunciado, o desenho do cone requer o fornecimento do raio da base, da altura e dos números de *slices* e *stacks*. Para diversificação das figuras passíveis de serem desenhadas pelo modelo, decidiu-se fornecer também o raio do topo, permitindo assim o desenho de um cilindro ou de um "cone cortado".

```
std::vector<std::string> cylinder(float radB, float radT, float height, int slices, int stacks
```

- radB -> raio da base da figura;
- radT -> raio do topo da figura – quando é 0 temos um cone, quando é igual a radB temos um cilindro e nos demais casos temos um "cone cortado".
- height -> altura da figura;
- slices -> número de divisões verticais da figura (ao longo do eixo dos yy);
- stacks -> número de divisões horizontais da figura (ao redor do eixo dos yy).

Em relação ao algoritmo utilizado, inicialmente desenhou-se a base da primitiva gráfica. Para





isso, recorremos à conversão de coordenadas polares em coordenadas cartesianas, tal como surge na figura seguinte:

O **alpha** definido toma o valor da divisão do ângulo total de uma circunferência (2Π) pelo número de *slices*:

```
float alpha = (float)2* M_PI / slices;
```

Assim, em função do ponto que estamos a desenhar, o ângulo entre a linha do raio e o eixo dos zz (**angle** no código e alfa da imagem) varia entre 0 e *slices* * **alpha**.

```
std::vector<std::string> v;
for (j = 1; j <= slices; j++) { //ciclo 1
	v.push_back(vertexString (sin(alpha*(j-1))*radB, 0.0f, cos(alpha*(j-1))*radB));
	angle = alpha * j;
	v.push_back(vertexString (0.0f, 0.0f, 0.0f));
	v.push_back(vertexString (sin(angle)*radB, 0.0f, cos(angle)*radB));
```

Isto permite-nos desenhar a base. Note-se que a ordem com que são desenhados os vértices é relevante. Usando a estratégia da regra da mão direita, ordenou-se desta forma os vértices, conseguindo que a face da base esteja a apontar para fora e permitindo-nos ver a coloração dos triângulos.

Posteriormente, passou-se ao desenho das faces laterais da figura. Aqui há diferenças consoante a figura seja um cone, um cilindro ou um "cone cortado", porém essa diferença traduz-se na variação de uma única linha de código (assinalada em baixo por ∇). Essa linha representa o comprimento do raio à medida que se sobe nas *stacks.* Em termos da representação dos pontos, a subida na *stack* é traduzida pelo aumento de **h** unidades no valor da coordenada y dos pontos**:**

```
float h = (float) height / stacks;
```

Quando temos um cilindro, como os raios da base e do topo são iguais, trabalha-se sempre com o valor de **radB** no desenho dos triângulos das faces laterais – da base até ao topo – mas no caso de a figura ser um cone, por cada *stack* que se sobe, o raio utilizado no cálculo das coordenadas dos pontos decresce **radB/*stacks*** unidades – variável **lvl**. Assim, quando se atinge o número total de *stacks* temos o valor 0. Quando se desenha uma figura intermédia entre o cilindro e o cone, que intitulamos de "cone cortado", ao percorrer cada *stack,* a redução do valor do raio a usar nos cálculos é apenas (**radB – radT**)**/*stacks***, portanto não se atinge o valor 0 e não temos o vértice superior do cone, mas sim um círculo com raio **radT** no topo.

```
prev_lvl = lvl;
for(int i = 1; i <= stacks; i++){ //ciclo 2
    ∇ lvl = radB - (float) (radB - radT) * i/stacks;
      v.push_back(vertexString((prev_lvl*sin(alpha*(j-1)),                h*(i-1),
      prev_lvl*cos(alpha*(j-1))));
      v.push_back(vertexString(prev_lvl*sin(angle), h*(i-1), prev_lvl*cos(angle));
      v.push_back(vertexString(lvl*sin(alpha*(j-1)), h*i, lvl*cos(alpha*(j-1)));
      v.push_back(vertexString(lvl*sin(alpha*(j-1)), h*i, lvl*cos(alpha*(j-1)));
      v.push_back(vertexString(prev_lvl*sin(angle), h*(i-1), prev_lvl*cos(angle));
      v.push_back(vertexString(lvl*sin(angle), h*i, lvl*cos(angle));
      prev_lvl = lvl;
}
```

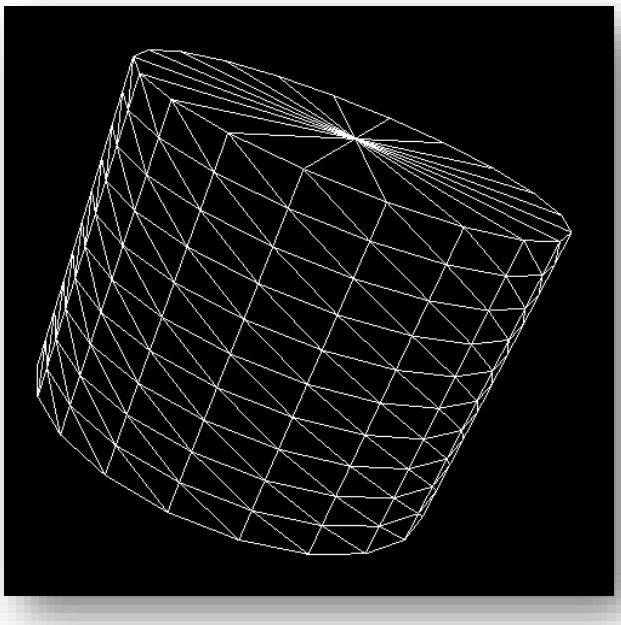
Nota para a variável **prev_lvl**, que toma o valor de **lvl** sempre que avançamos de *slice,* isto é, sempre que completamos um ciclo 2 e seguimos para a iteração seguinte do ciclo 1. Em termos de significado prático, **prev_lvl** representa o valor do raio utilizado no cálculo das coordenadas dos pontos na *stack* anterior.

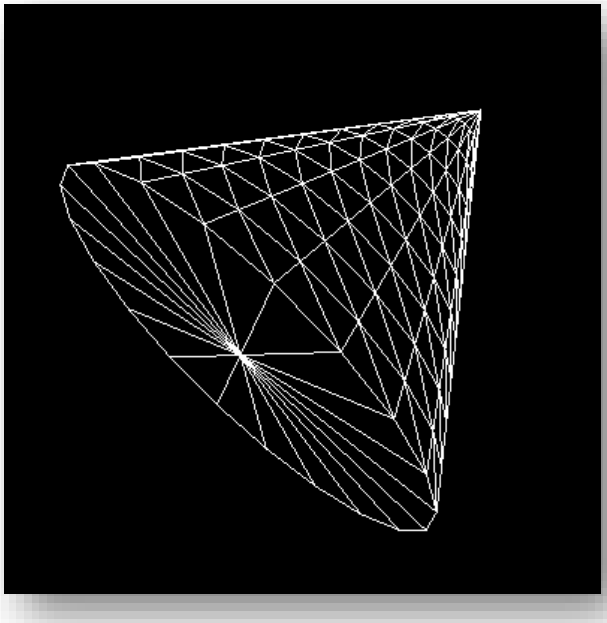
Quando a figura não é um cone, é também necessário desenhar o topo. Eis que surge assim o terceiro ciclo:

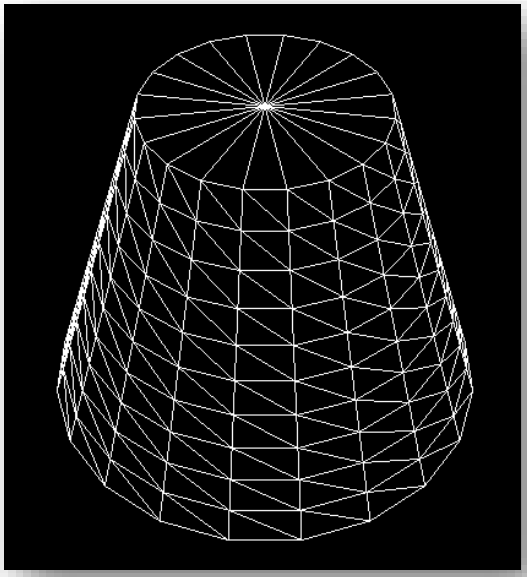
```
if (radT) { //ciclo 3
      for (j = 1; j <= slices; j++) {
            angle = alpha * j;
            v.push_back(vertexString (sin(angle)*radT, height, cos(angle)*radT);
            angle = alpha * (j - 1);
            v.push_back(vertexString (0.0f, height, 0.0f);
            v.push_back(vertexString (sin(angle)*radT, height, cos(angle)*radT);
      }
}
```

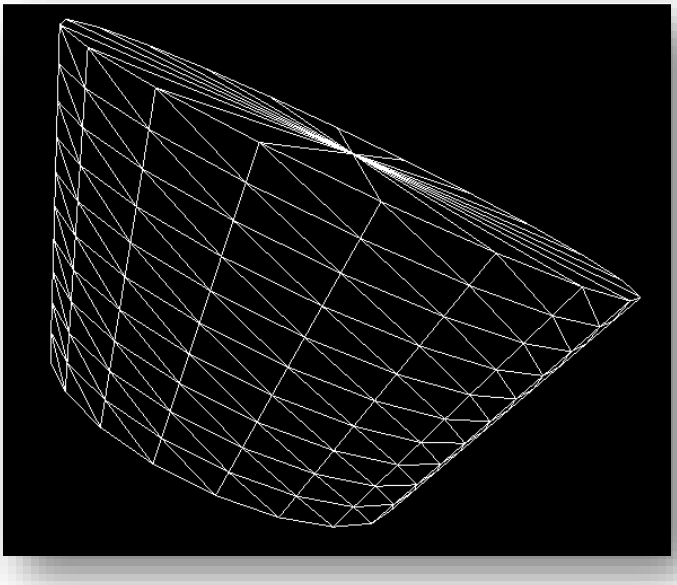
Destaca-se a ordem oposta no desenho dos vértices, quando se compara com o desenho dos triângulos da base, porque naturalmente o topo fica voltado no sentido oposto. De resto, o processo é equivalente ao utilizado no desenho da base: de *slice* em *slice,* o **alpha** vai crescendo e é utilizado para calcular as posições dos pontos dos triângulos.

Com esta função podemos desenhar qualquer uma das seguintes 4 figuras:









v) Toro

O desenho do toro requer o fornecimento da distância entre o centro e o centro do tubo, da distância entre o centro e o início do tubo e os números de *sides* e *rings*.

```
std::vector<std::string> torus(float inner, float outer, int sides, int rings)
```

- inner -> raio interior - entre o centro e o início do tubo;
- outer -> raio exterior – entre o centro e o centro do tubo;
- sides -> número de lados de cada secção radial do toro;
- rings -> número de secções radiais (“anéis”) do toro.

Relativamente ao algoritmo usado, serão percorridos todos os "anéis" do toro, calculando as coordenadas de todos os pontos respetivos a um anel aquando da passagem pelo mesmo.

Envolve o cálculo de um **alpha:**

```
float alpha = (float) 2 * M_PI / rings;
```

que representa o aumento, por cada anel que se percorre, no ângulo entre o eixo dos zz e a linha do raio que interseta a extremidade do anel.

Porém, neste caso necessita-se de um segundo ângulo, **beta**:

```
float beta = (float) 2 * M_PI / sides;
```

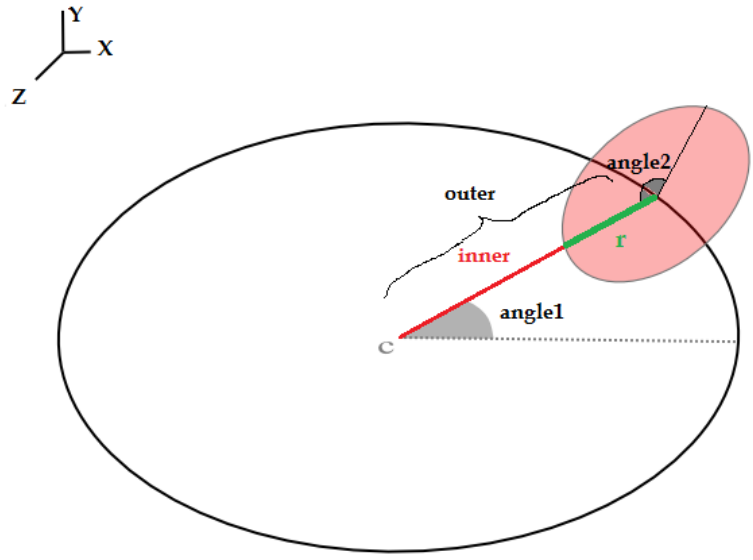
que se trata do acréscimo, por cada *side* que se avança, do ângulo entre a horizontal do tubo e a linha do raio que marca o *side* atual.

Para além destes ângulos, calculou-se também o valor do raio do tubo:

```
float r = outer - inner;
```

O conjunto destas variáveis calculadas é usado, a par das variáveis recebidas na chamada da função, na construção das várias secções tubulares. O processo é simples:

- **angle1** representará o "anel" que estamos a construir - em termos práticos representa quantos **alphas** se percorreu – e, por cada **angle1,** o **angle2** oscilará entre 0 e *sides* * **beta**, pelo que se consegue assim desenhar os pontos sobre as linhas de divisão de todos *sides.* No excerto de código abaixo, o ciclo 1 representa a variação do **angle1** e o ciclo 2 a variação do **angle2**.



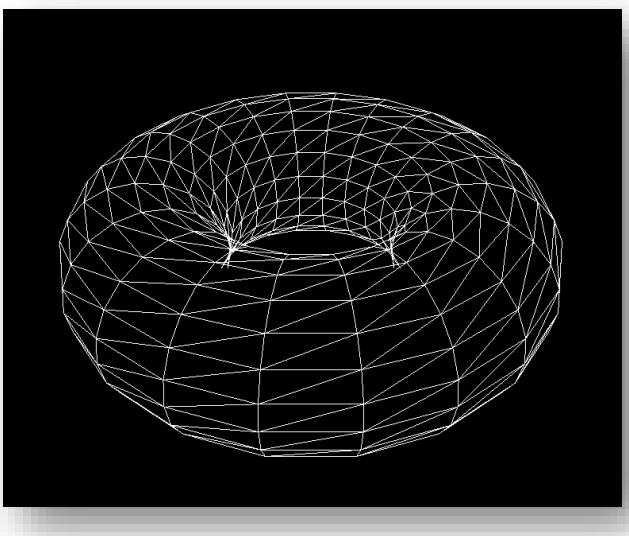
- Cada *side* é formado por 2 triângulos, logo são definidos 6 pontos. A coordenada X é definida pelo produto do seno do **angle1** pelo valor da distância entre o centro do toro e a projeção do ponto que estamos a definir no plano horizontal do centro. Analisando a imagem acima, podemos observar que essa distância variará entre **outer – r** e **outer + r**. A coordenada Z é calculada da mesma forma, porém utiliza-se o cosseno do **angle1.** Durante este processo, nota para o uso do cosseno do **angle2** para

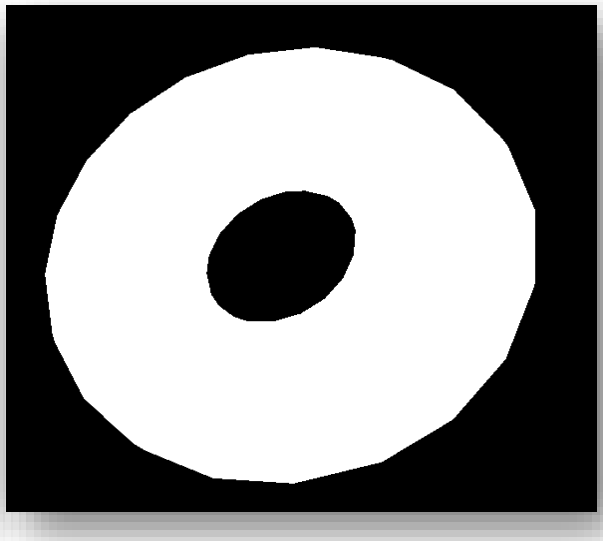
calcular o valor a somar/subtrair ao **outer** e do seno para calcular a coordenada Y dos pontos, em ambos os casos multiplicando por **r**. Passando por todos os *sides,* termina-se o desenho de todos os pontos de um *ring.*

- Mais uma vez, a ordem dos vértices é importante. Como, no toro, todos os triângulos têm de ficar voltados no mesmo sentido, mantém-se a ordem com que se desenham os triângulos, independentemente do *side* e *ring* em que se está. Isto resulta num algoritmo executado com apenas dois ciclos.

```
std::vector<std::string> v;
    for (int i = 1; i <= rings; i++) { // ciclo 1
        for (int j = 1; j <= sides; j++) { // ciclo 2
            angle1 = alpha * (i - 1);
            angle2 = beta * (j - 1);
            v.push_back(vertexString(sin(angle1)*(outer - r*cos(angle2)),
                        r * sin(angle2),
                        cos(angle1)*(outer - r*cos(angle2))));
            angle2 = beta * j;
            v.push_back(vertexString(sin(angle1)*(outer - r*cos(angle2)),
                        r * sin(angle2),
                        cos(angle1)*(outer - r*cos(angle2))));
            angle2 = beta * (j-1);
            angle1 = alpha * i;
            v.push_back(vertexString(sin(angle1)*(outer - r*cos(angle2)),
                        r * sin(angle2),
                        cos(angle1)*(outer - r*cos(angle2))));
            v.push_back(vertexString(sin(angle1)*(outer - r*cos(angle2)),
                        r * sin(angle2),
                        cos(angle1)*(outer - r*cos(angle2))));
            angle1 = alpha * (i - 1);
            angle2 = beta * j;
            v.push_back(vertexString(sin(angle1)*(outer - r*cos(angle2)),
                        r * sin(angle2),
                        cos(angle1)*(outer - r*cos(angle2))));
            angle1 = alpha * i;
            v.push_back(vertexString(sin(angle1)*(outer - r*cos(angle2)),
                        r * sin(angle2),
                        cos(angle1)*(outer - r*cos(angle2))));
        }
    }
    return v;
```

Por fim, o toro resultante:





vi) Rubi

Esta figura, que se designou como rubi, trata-se de desenhar, para a mesma base, um "cone cortado" e um cone no sentido oposto. A função receberá, portanto:

```
vector<string> drawRubi(int rb, int rt, int hb, int ht, int slices, int stacks)
```

- rb - > raio da base, comum ao cone e ao "cone cortado";
- rt -> raio do topo do rubi, isto é, do "cone cortado";
- hb -> altura do cone;
- ht -> altura do "cone cortado";
- slices -> número de divisões verticais da figura (ao longo do eixo dos yy);
- stacks -> número de divisões horizontais da figura (ao redor do eixo dos yy).

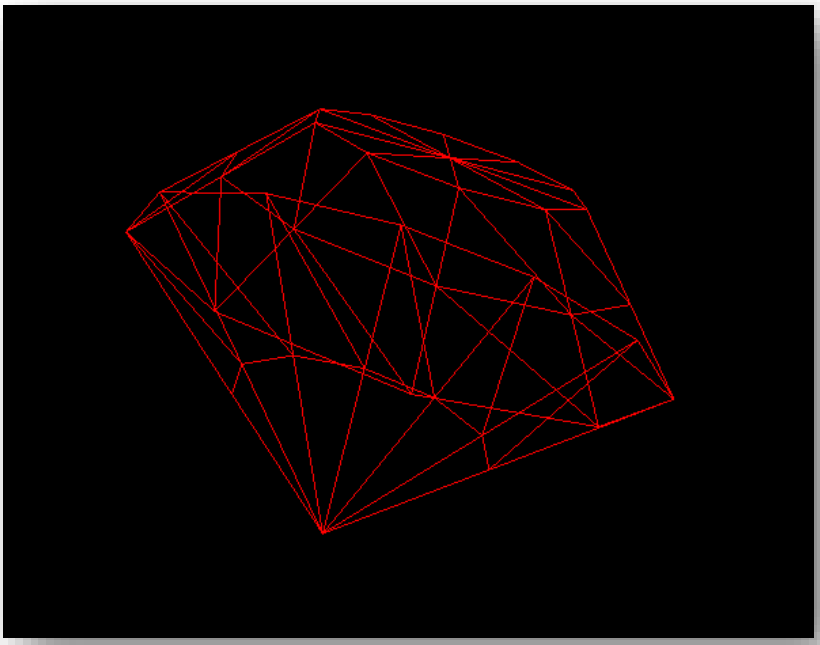
O algoritmo é muito simples, já que essencialmente reutiliza o código da função criada para gerar o cone.

```
drawCone(rb, rt, ht, slices, stacks);
```

A diferença está unicamente no sentido da coordenada Y dos pontos do cone da base, que passou a negativo para que o cone cresça no sentido negativo. As variáveis **angle**, **alpha, h, lvl** e **prev_lvl** possuem o mesmo significado comparativamente à função exposta na secção do cone.

```
std::vector<std::string> v;
for (j = 1; j <= slices; j++) {

	angle = alpha * j;
	prev_lvl = rb;

	for (i = 1; i <= stacks; i++) {
		lvl = rb - (float)rb*i / stacks;
		v.push_back(vertexString (prev_lvl * sin(angle), -h*(i - 1), prev_lvl *
		cos(angle));
		v.push_back(vertexString (prev_lvl * sin(alpha*(j - 1)), -h*(i - 1),
		prev_lvl * cos(alpha*(j - 1)));
		v.push_back(vertexString (lvl * sin(alpha*(j - 1)), -h * i, lvl *
		cos(alpha * (j - 1)));
		v.push_back(vertexString (lvl * sin(alpha*(j - 1)), -h * i, lvl *
		cos(alpha * (j - 1)));
		v.push_back(vertexString (lvl * sin(angle), -h*i, lvl * cos(angle));
		v.push_back(vertexString (prev_lvl * sin(angle), -h*(i - 1), prev_lvl *
		cos(angle));
		prev_lvl = lvl;
		}
}
```

Para que se perceba o resultado, eis a figura resultante:



2) Generator e engine

Algumas notas sobre o funcionamento dos executáveis relativos ao gerador de pontos das figuras e ao motor que lê esses pontos e desenha as figuras:

➔ Generator

```
bool verifyInput(char **input) {
```

- Verifica se o input tem a forma/argumentos devidos.

```
std::vector<std::string> getVertexes(char **input) {
```

- Cria os vértices da figura pretendida, passada no input com os argumentos, após a validação executada na função previamente explicada. Para isto chama as funções respetivas da criação dos vértices do ficheiro shapes.cpp, funções explicadas na secção das primitivas gráficas.

➔ Engine

De salientar que foi implementada a Explorer Cam (GLUT_KEY_UP, GLUT_KEY_DOWN, GLUT_KEY_LEFT e GLUT_KEY_RIGHT), bem como a possibilidade de alterar entre Fill, Line e Point nas figuras (GLUT_KEY_F1).
Por último, mas não menos importante, o parser de xml utilizado foi o tinyxml2.

Conclusão

Esta primeira fase do projeto permitiu o ganho de alguma prática e destreza na construção de primitivas gráficas e no controlo do *camera motion,* bem como no manuseamento de ferramentas como o CMake.

As aplicações criadas para o *generator* e para o *engine* foram uma mais valia no processo de aprendizagem de C++, que durará ao longo das restantes fases do projeto.

Relativamente à satisfação do grupo quanto ao trabalho realizado, pela construção de figuras adicionais pode-se subentender o grande interesse que o trabalho despertou nos membros.