

Modelação Geométrica e Generativa



20241206

JOANA OLIVEIRA ALPIARÇA

Índice

Aula 1	.....	4
Aula 2	.....	8
Aula 3	.....	18
Aula 4	.....	30
Aula 5	.....	36
Ex. 1		
Aula 6	.....	42
Aula 7	.....	54
Aula 8	.....	64
Aula 9	.....	72
Aula 10	.....	78
Ex. 2		
Aula 11	.....	83
Aula 12	.....	88
Aula 13	.....	97
Ex. 3		
Aula 14	.....	101

Apresentação da disciplina

Apresentação da disciplina

Instalar o Rhino versão 8.

Os ficheiros vão ter nomes que acabam em **.3dm**.

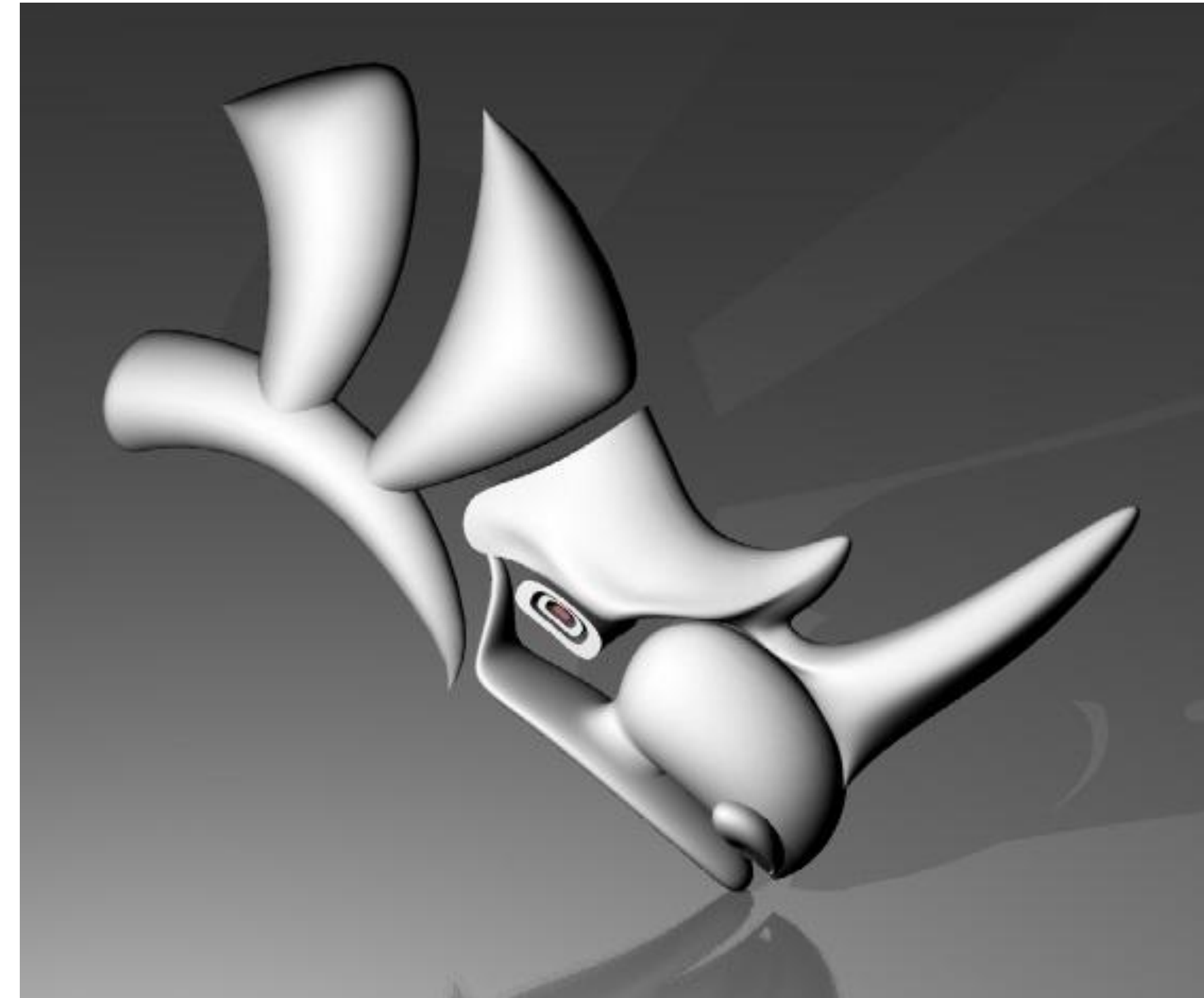
O Wirecut secciona como se fosse um corte (“break”) de uma figura tridimensional.

O Grasshopper funciona como uma folha onde se fazem ligações entre os ícones.

A avaliação é feita através de trabalhos e de um caderno diário idêntico ao do ano passado.

A data de entrega é sempre à sexta-feira, à meia-noite.

Publicar o trabalho na página do aluno.



A página HTML tem de ter uma ligação à página do ano passado de RD.

Existem 4 vistas, como no 3ds Max.

Clicar duas vezes para maximizar as vistas.

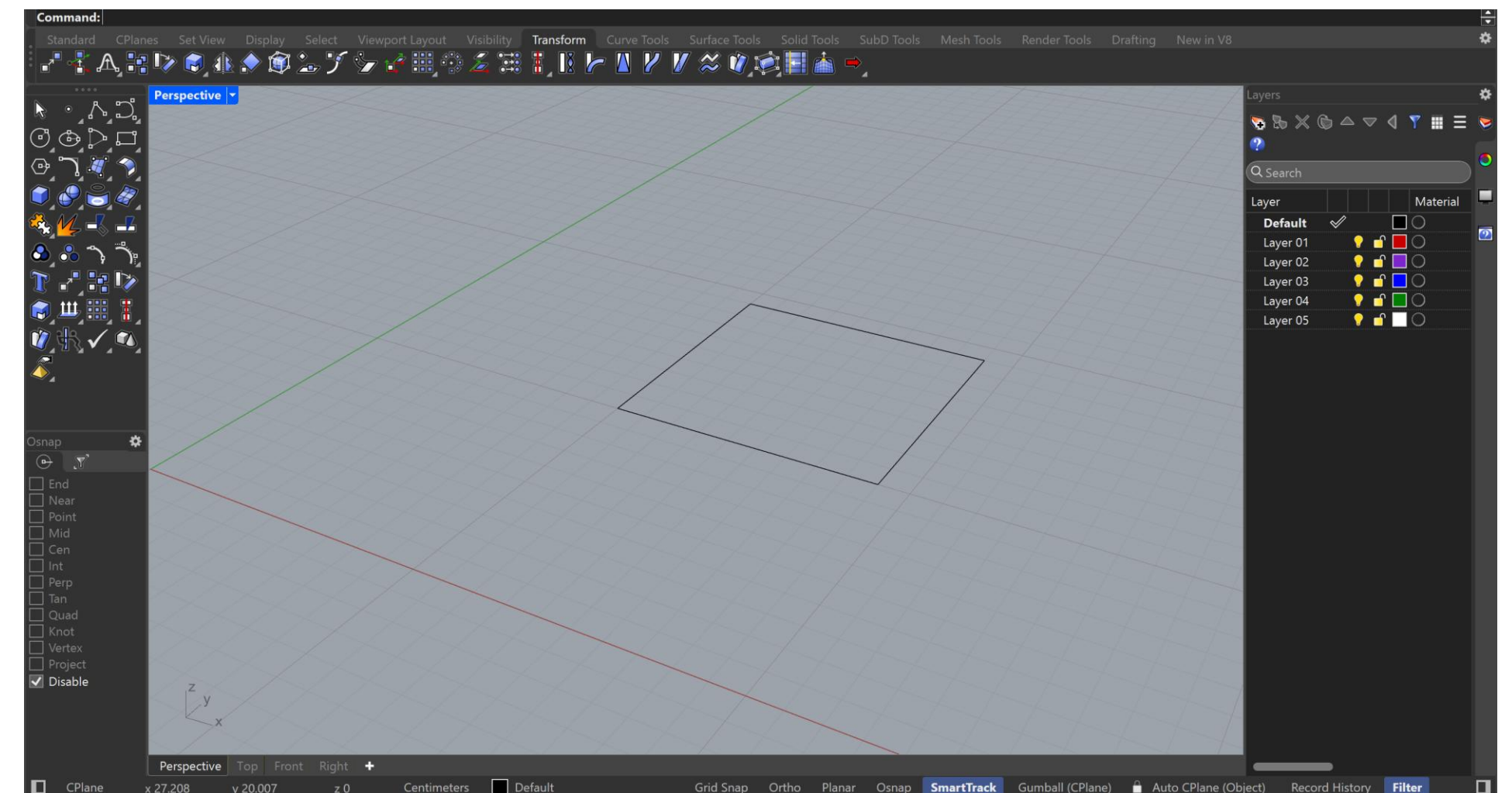
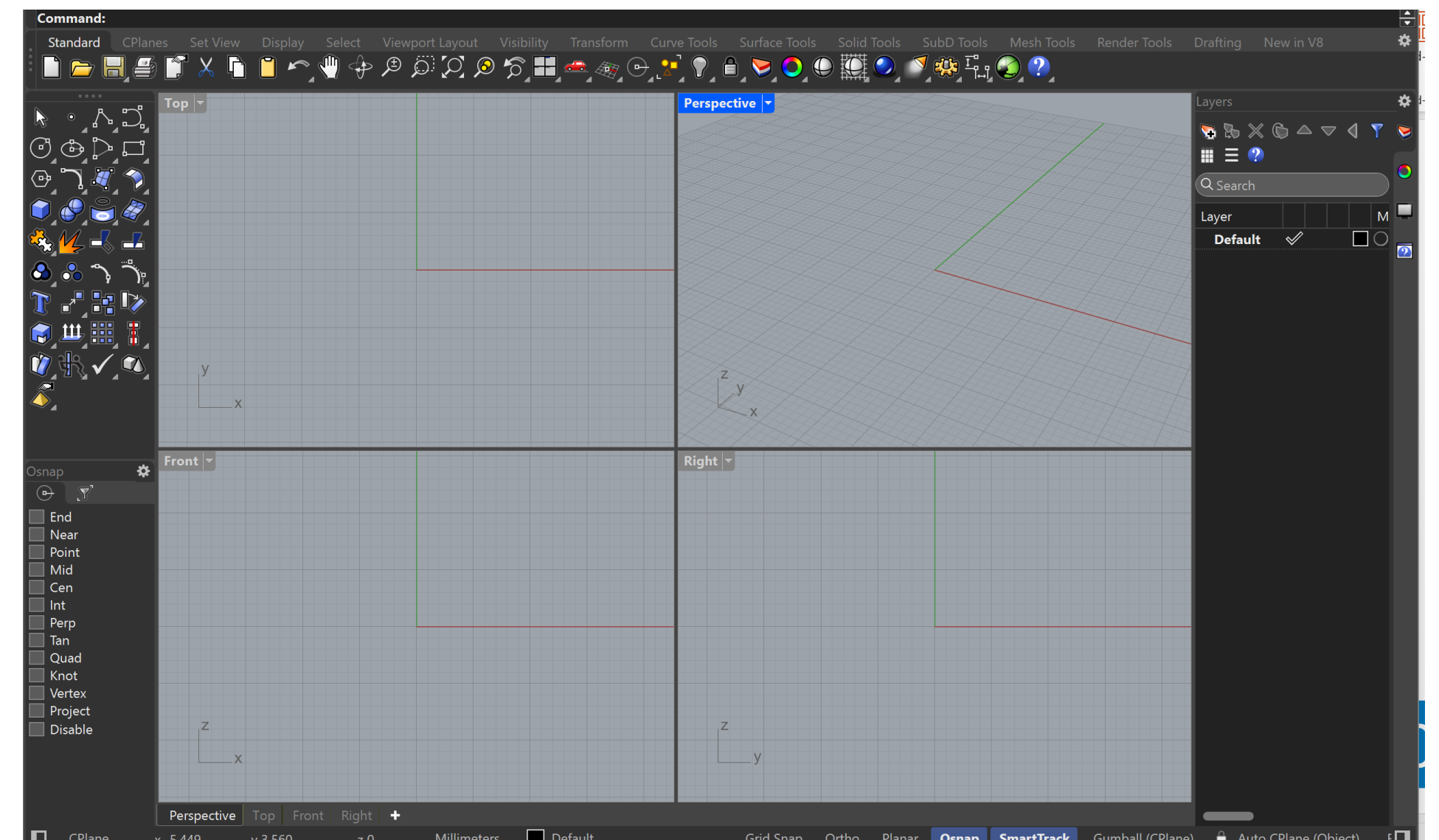
Cada quadrado vale 1 unidade, dependendo da interpretação.

Para usar **Polyline**, tem de se escrever *poly* e não apenas *pl*.

Existem pontos no Rhino, ao contrário do 3ds Max.

Pode-se escrever *point* para colocar um ponto.

A maior parte dos comandos do AutoCAD são válidos no Rhino.



Operações geométricas (operações de movimento):

Translação
Rotação
Rebatimento
Reflexão
Homotetia

	// paralelismo	Dimensoes	Type equation here.Sentido de leitura
translação	//	=	=
Rotação	x	=	=
Rebatimento			
Reflexão	x	=	x
Homotetia	//	≠	=

Alteram as coordenadas dos pontos, mantendo a identidade da figura.

Translação

- Deslocação numa direção e distância.

Rotação

- Girar em torno de um ponto.

Rebatimento

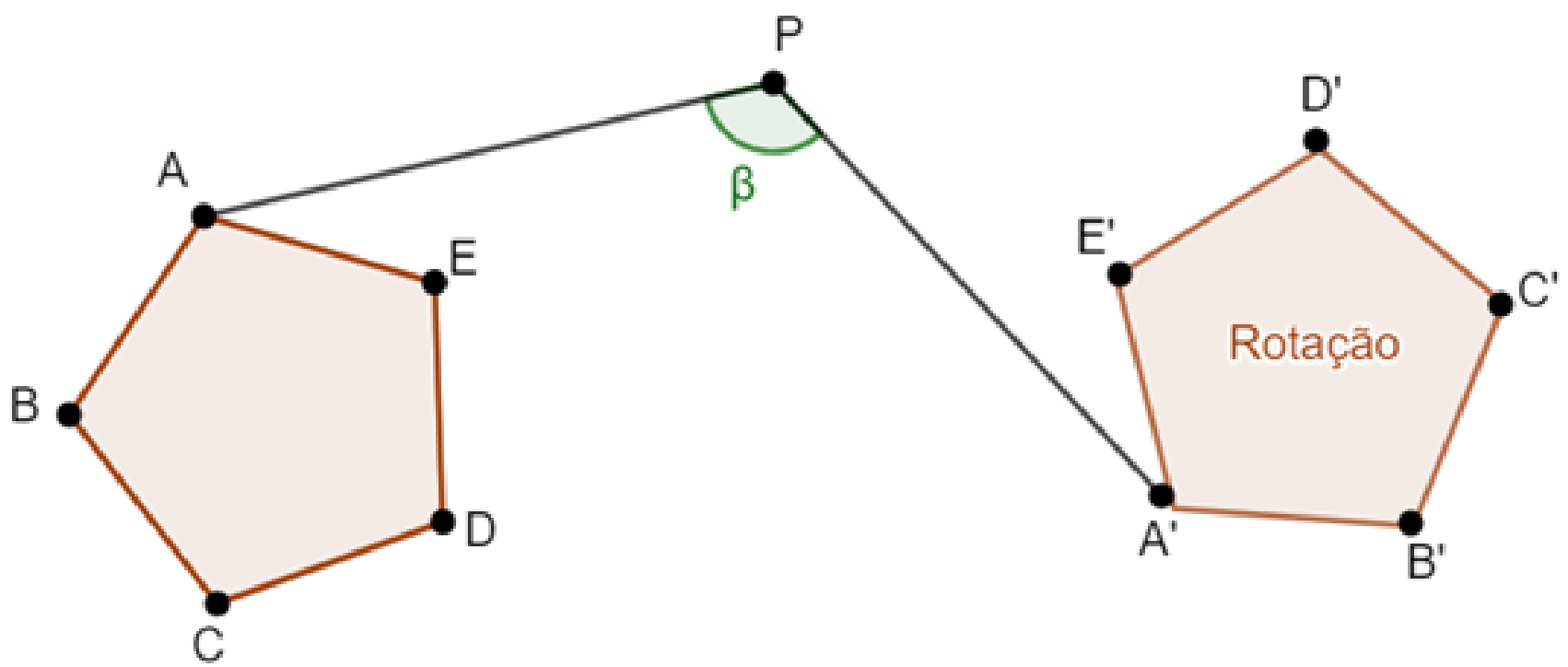
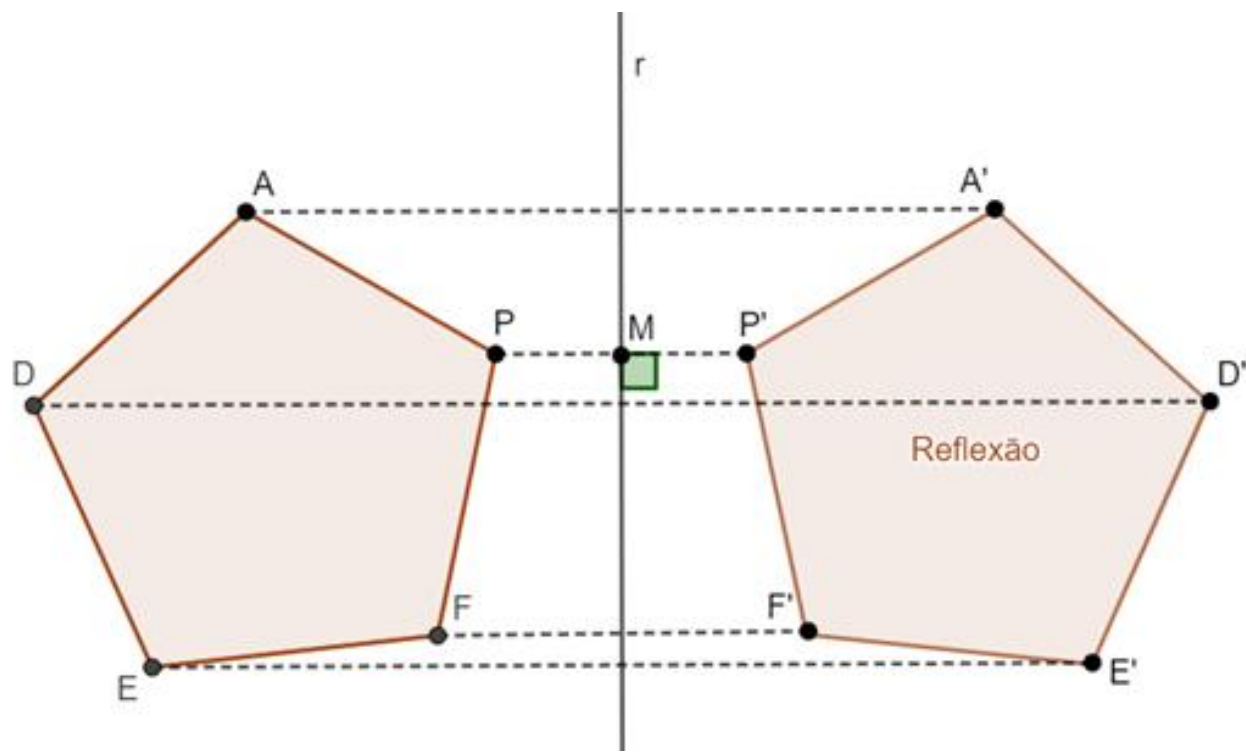
- Roda a figura em torno de um eixo.

Reflexão

- Espelhamento em relação a um eixo.

Homotetia

- Ampliação ou redução por fator de escala.



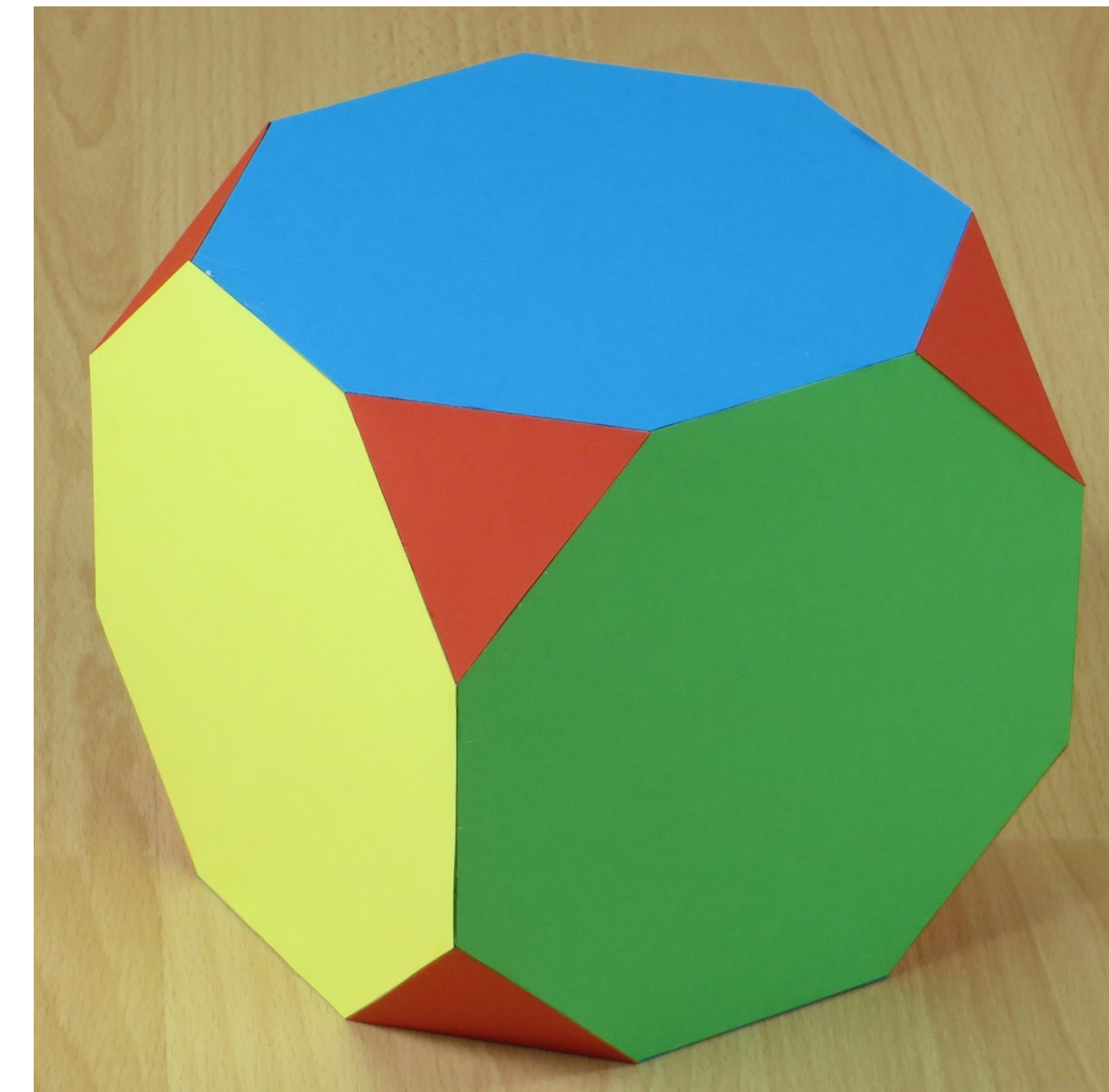
Introdução de Rhino3D Cubo Truncado e Dual

Definições

Cubo Truncado

Um cubo truncado é um cubo ao qual são cortadas as pontas.

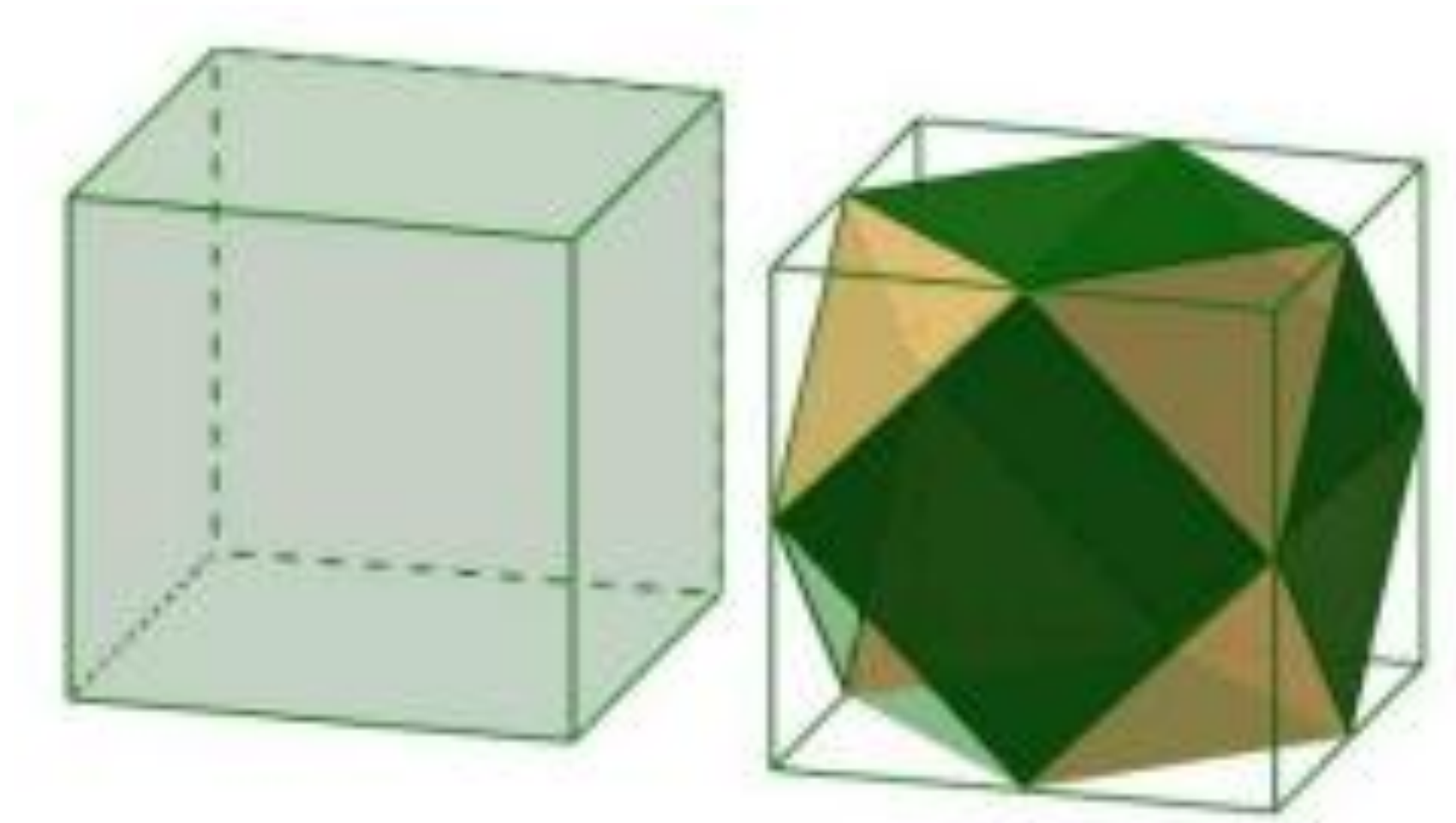
Ao fazer esses cortes as faces quadradas transformam-se e surgem novas faces.



Dual de um sólido

O Dual de um sólido constrói-se criando pontos no centro de cada face e ligando os centros das faces adjacentes.

O resultado é um novo sólido relacionado geometricamente com o original.



Cada quadrado vale uma unidade.

Vamos considerar centímetros para este exercício.

O cubo vai ter 9 cm de largura.

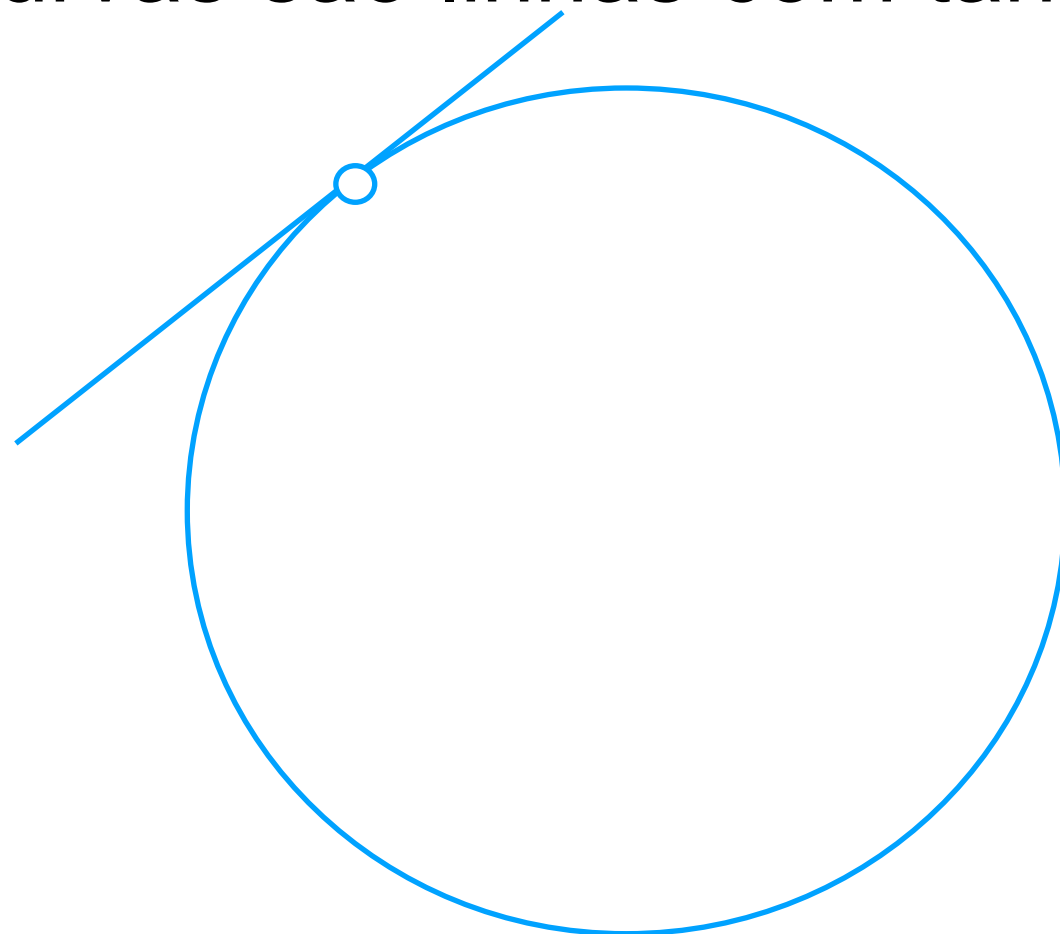
Podemos abrir ficheiros do AutoCAD no Rhino:

File → Open → escolher ficheiro

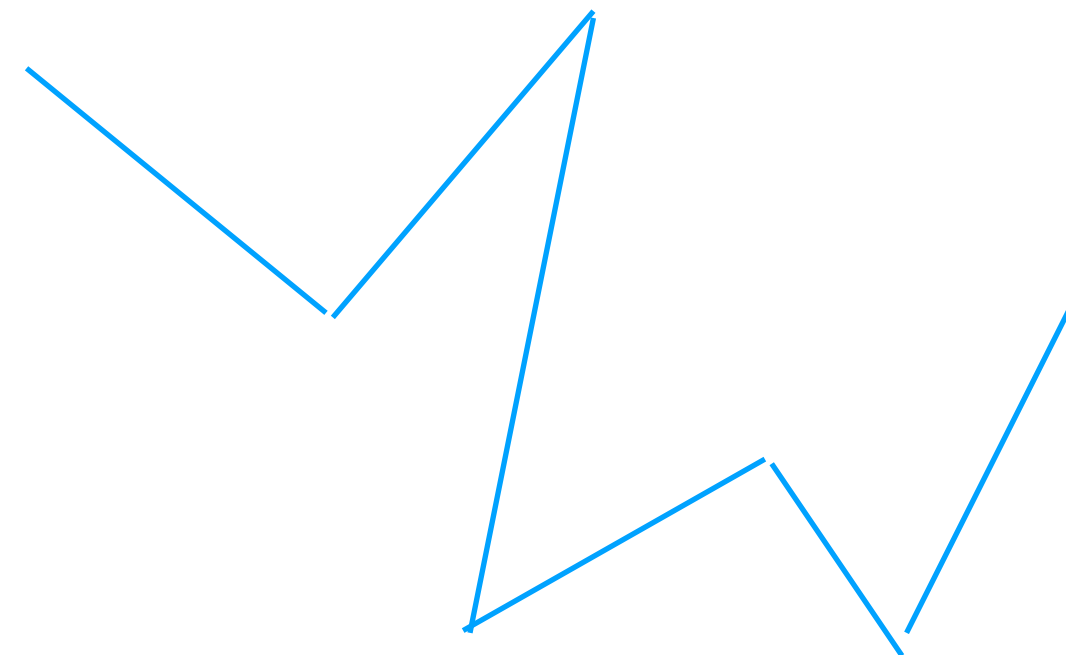
Quando gravar, o ficheiro será guardado em .3dm e não em .dwg.

Curve = linhas

As curvas são linhas com tangente, porque admitem ser tocadas por uma linha reta num só ponto.



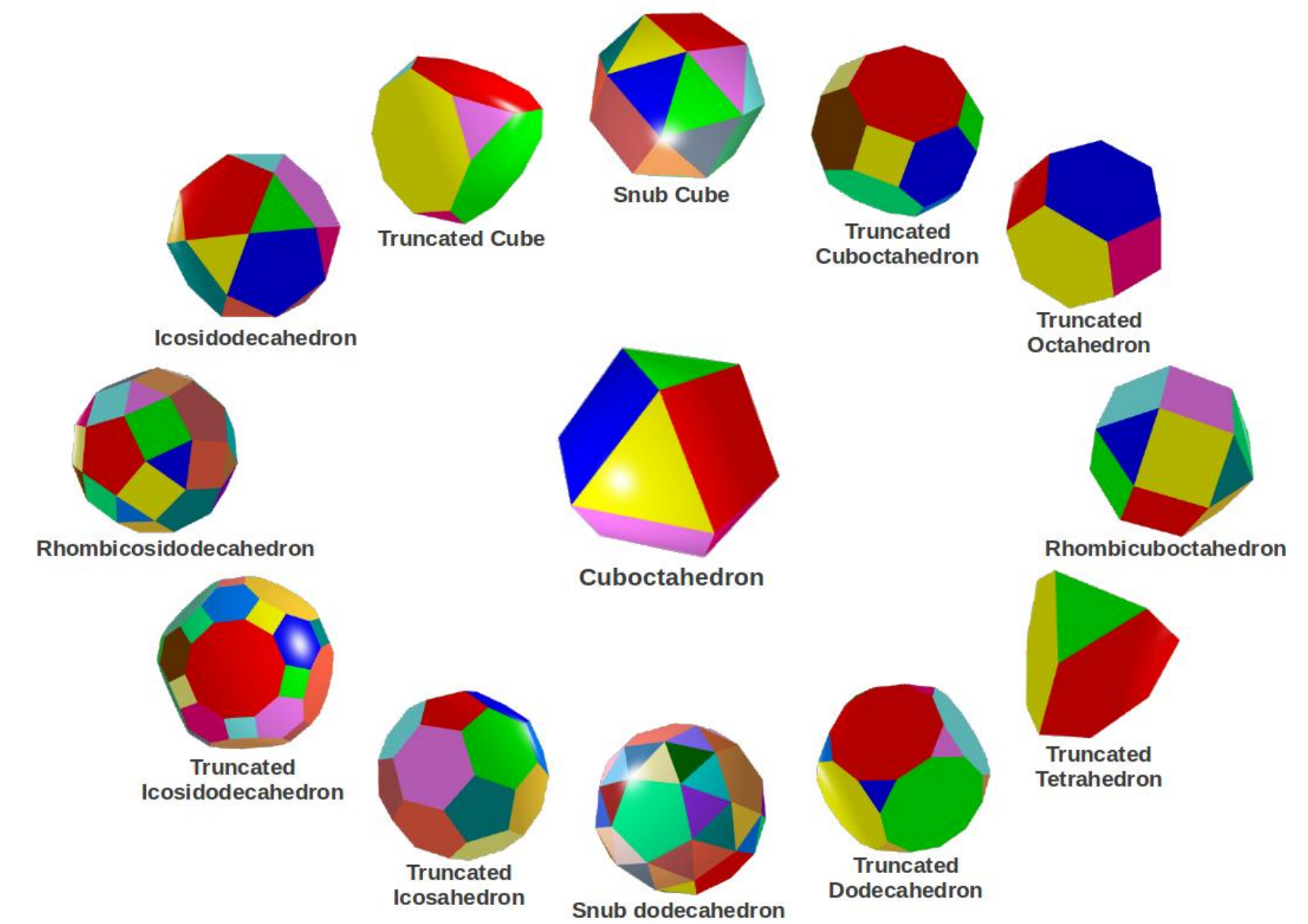
Curva com tangente



Curva sem tangente



Linha reta



O OSNAP está sempre ligado.

A janela do OSNAP deve estar sempre aberta para escolher um ponto específico; para isso, temos de desligar todas as outras opções desnecessárias.

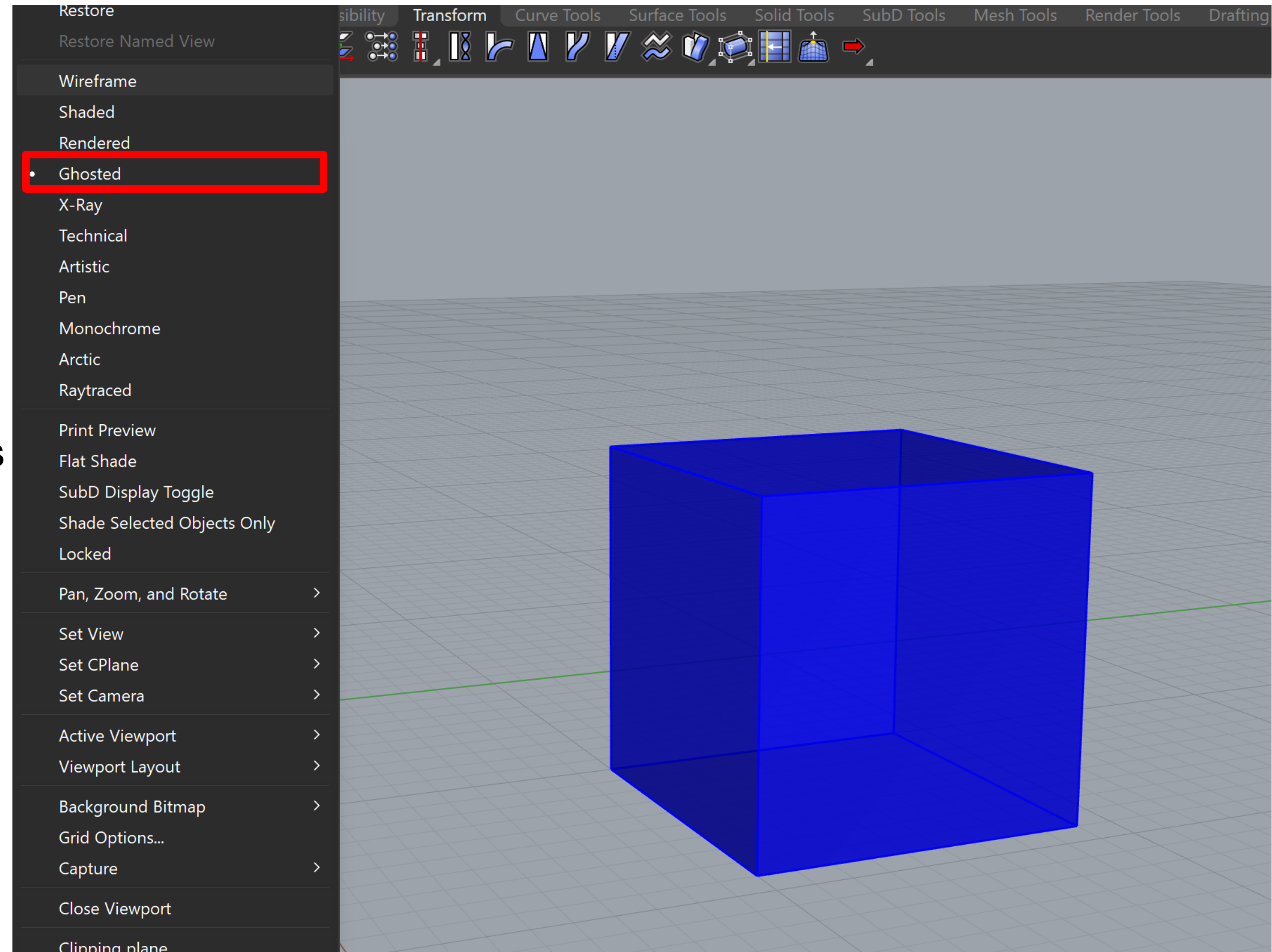
No AutoCAD e no 3ds Max não existem pontos como objetos independentes.

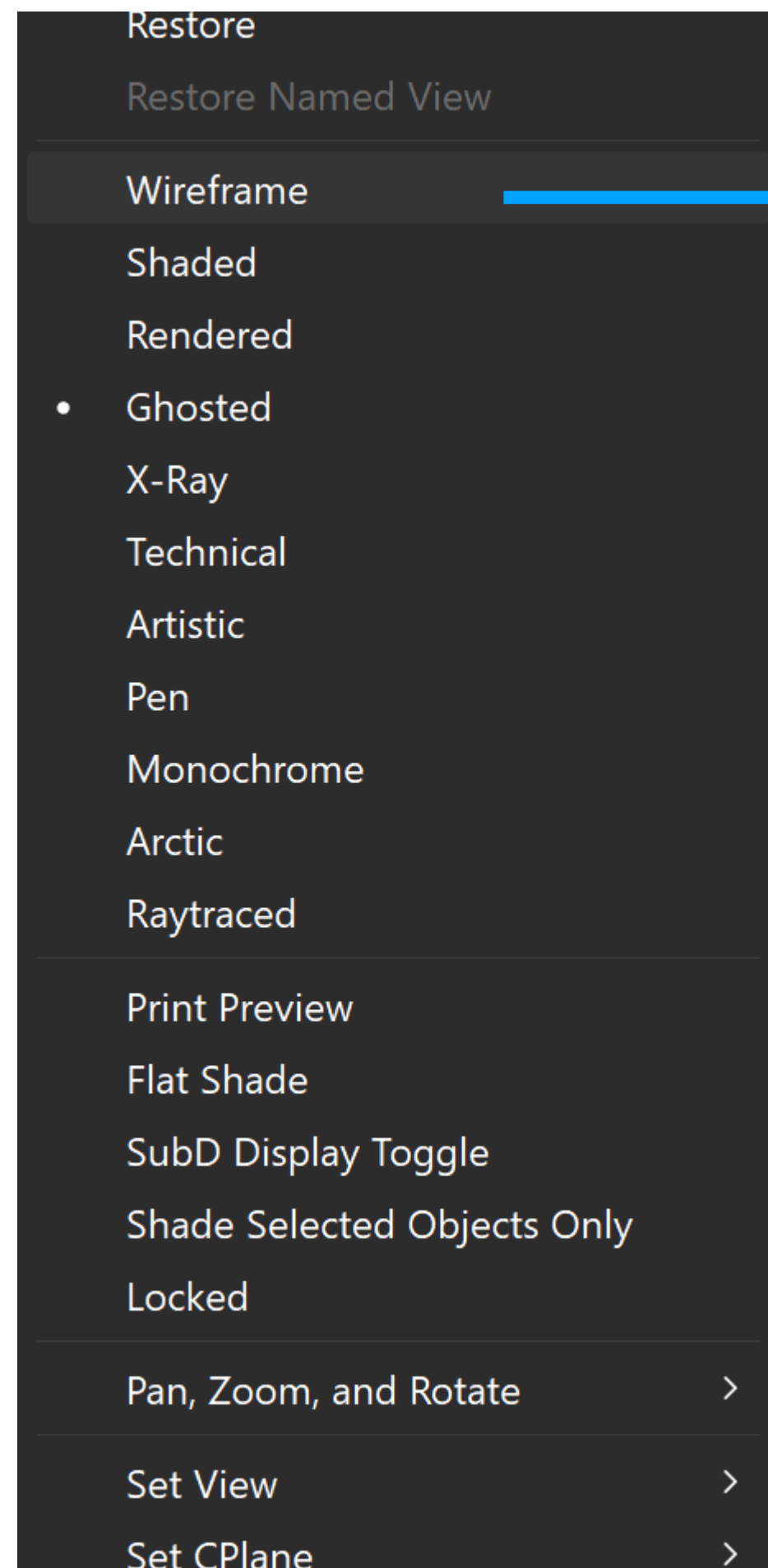
No Rhino, temos a opção de escolher e colocar pontos.

Vamos criar um cubo, passar um plano e cortar os vértices.

Definir um terço da aresta para realizar o corte do cubo.

Comandos que vão ser utilizados: array polar e wirecut.



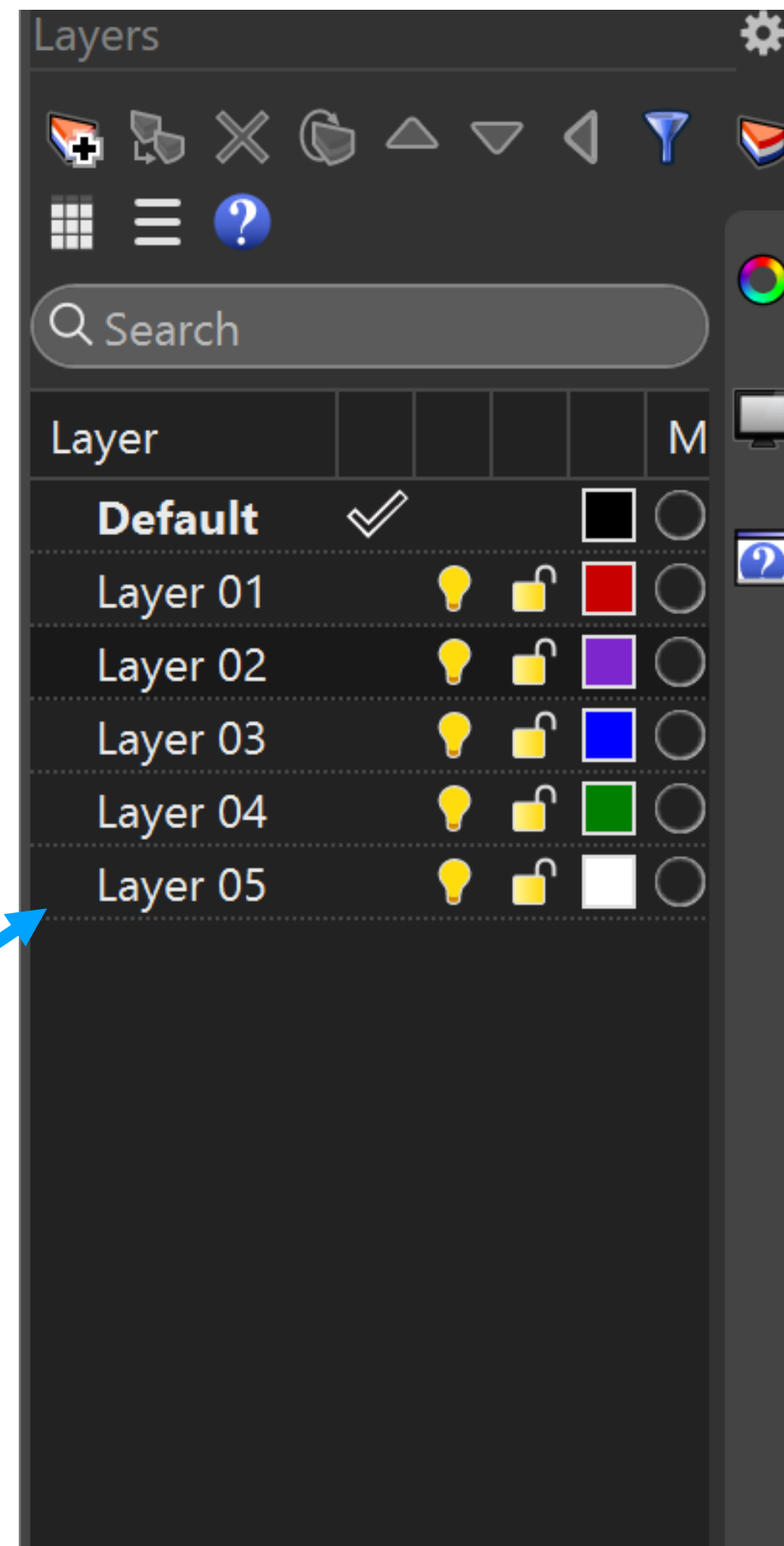


Wireframe

Mostra só
a estrutura
do objeto

Layers

camadas
para
organizar, tal
como no
AutoCAD

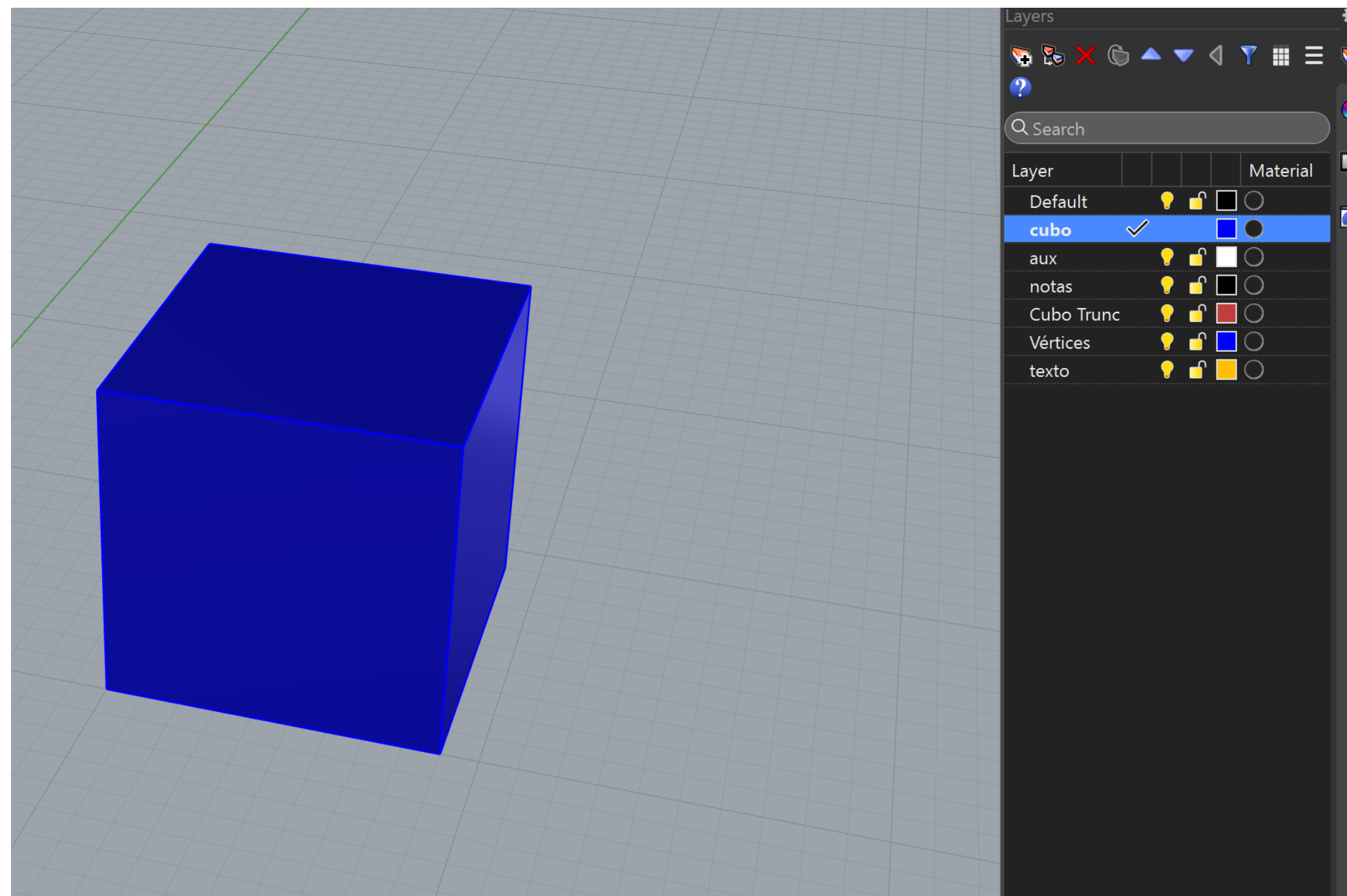


União

serve para
juntar dois
ou mais
objetos num
único
objeto.



Criação do Cubo



Usar o comando Box para criar o cubo.

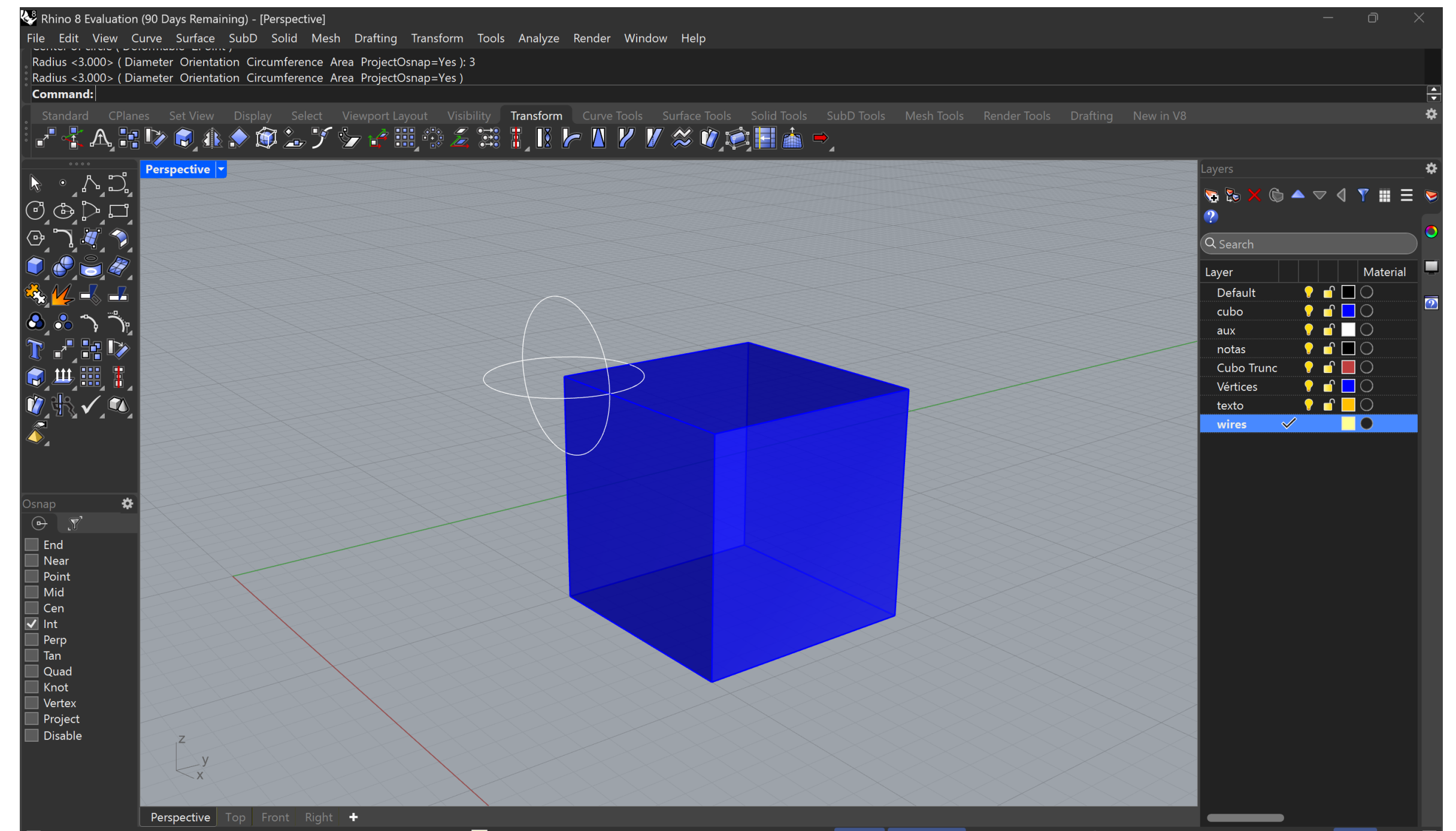
As coordenadas são @10,10

@9<0

@9<90

@9<180

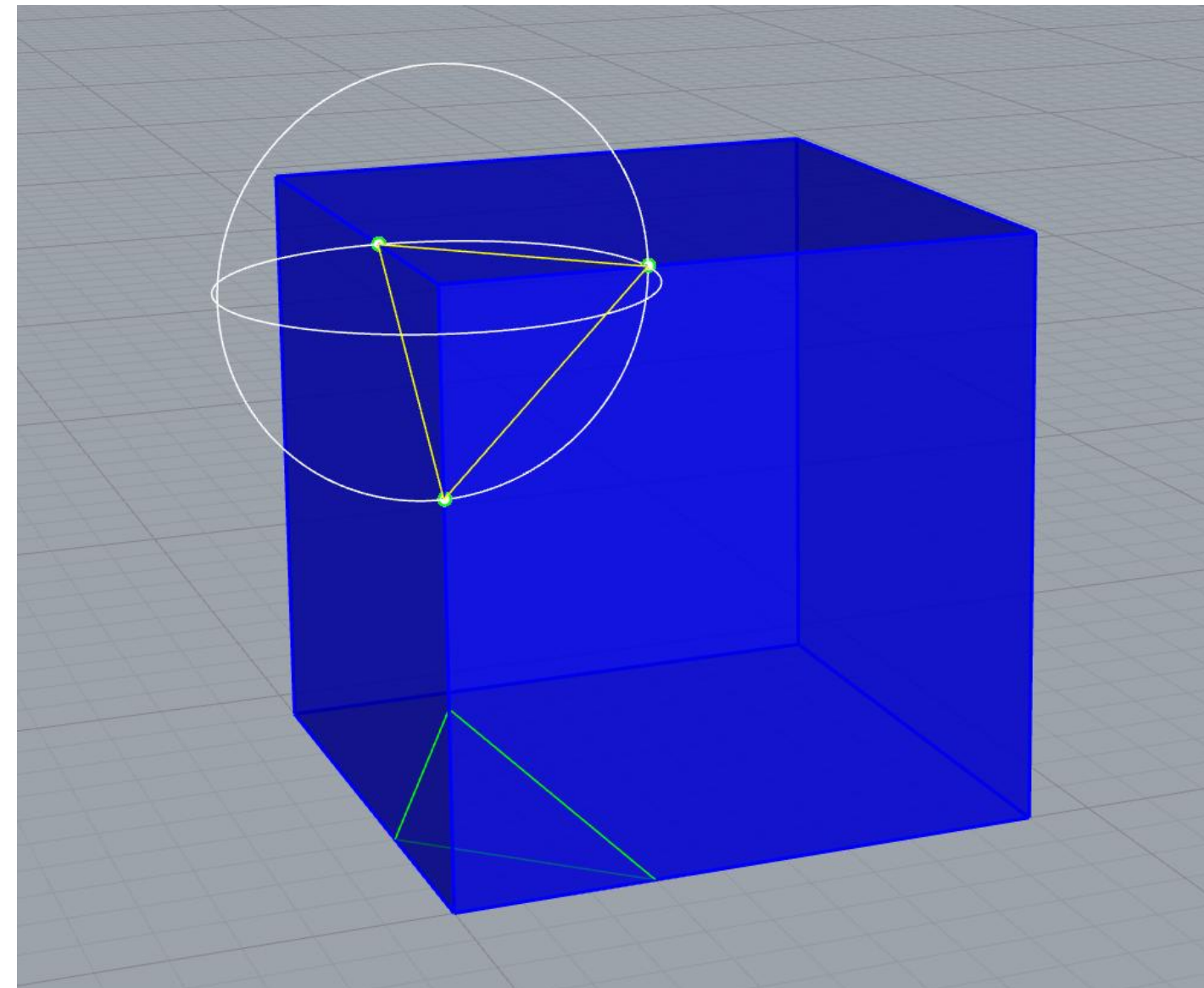
c



Criar circunferências com base num vértice do cubo e com 3 cm de raio para ser um terço de 9

Mirror 3 Point

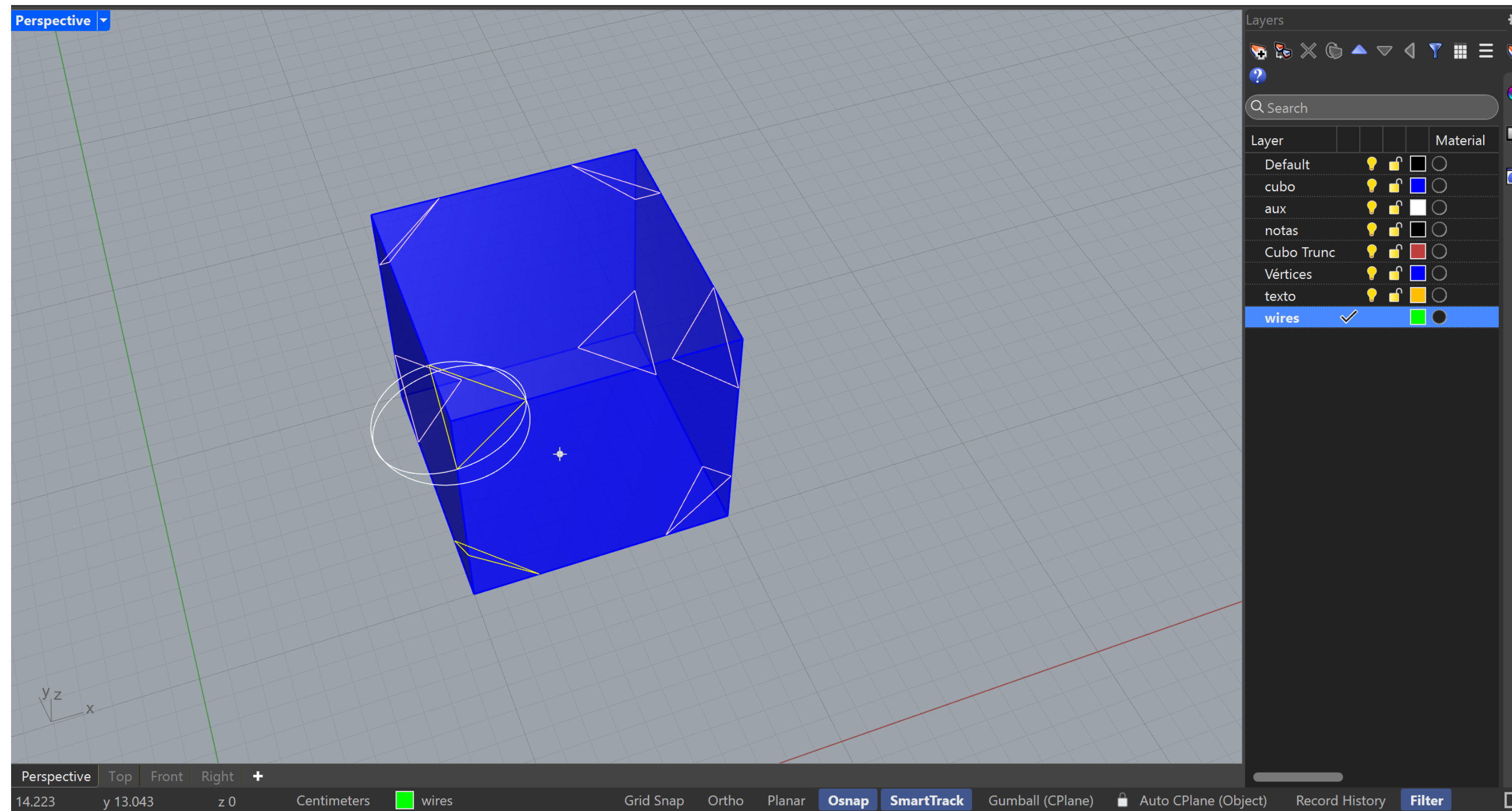
A partir das interseções criadas entre as circunferências e o cubo, ligam-se esses pontos de encontro com uma polyline. Esses pontos formam um triângulo. Para transferir a figura para o outro canto do cubo, utiliza-se o comando Mirror. É preciso clicar na opção 3 Point nas opções, e depois escolher três midpoints das arestas verticais.



Resumo:

1. Selecionar a forma
2. Escolher o comando Mirror 3 Point
3. Indicar 3 pontos no espaço
4. Esses pontos criam um plano
5. A forma é espelhada em relação a esse plano

Array Polar



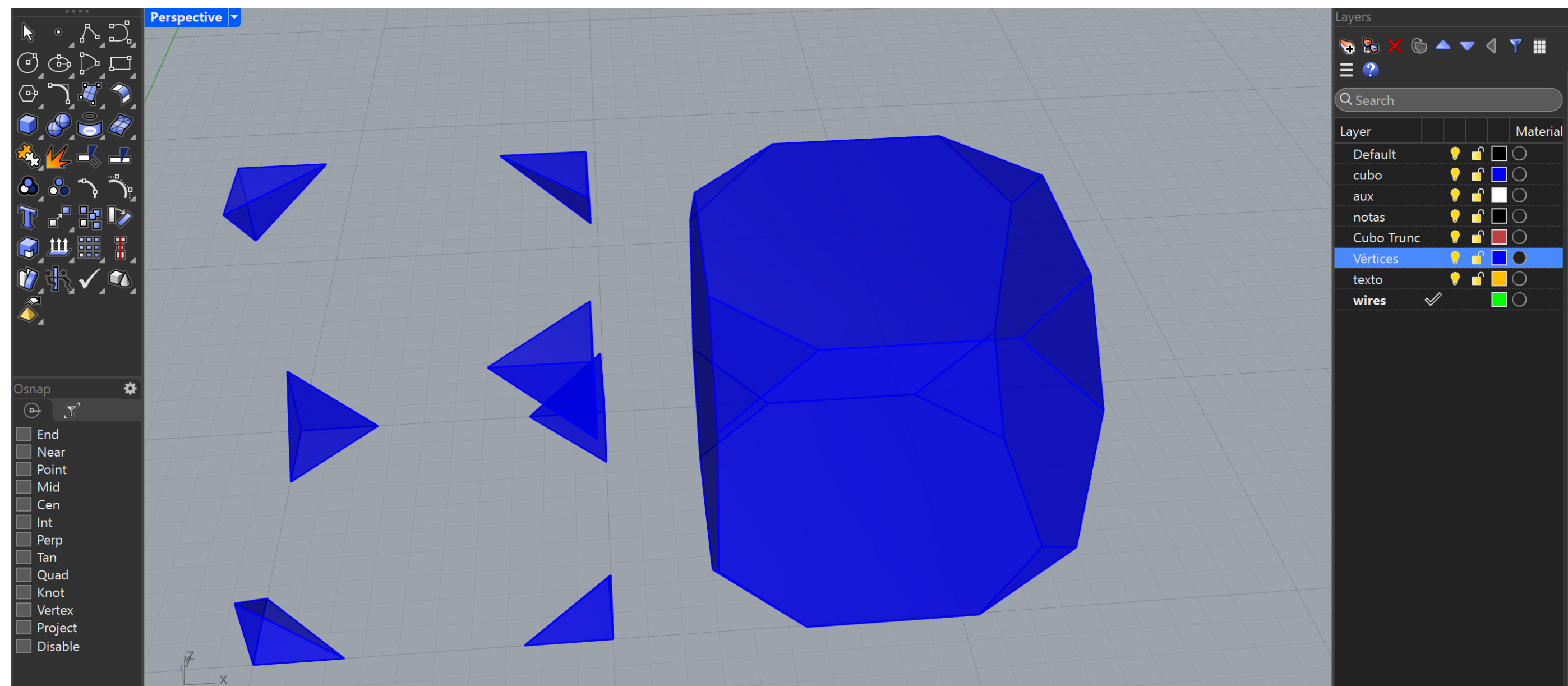
Resumo:

1. Seleccionas
2. Clicar no Array Polar
3. Definir o ponto central.
4. Indicar o número de cópias.
5. Definir o ângulo do círculo (360°)

Utilizar o Array Polar para fazer cópias múltiplas e aplicar o corte a todas as outras faces/vértices.

Usar o comando WireCut.

WireCut



Wire cut= cubo seccionado

O wire cut vai cortar as zonas triangulares criadas pelos triangulos do passo anterior para criar o cubo truncado

Resumo:

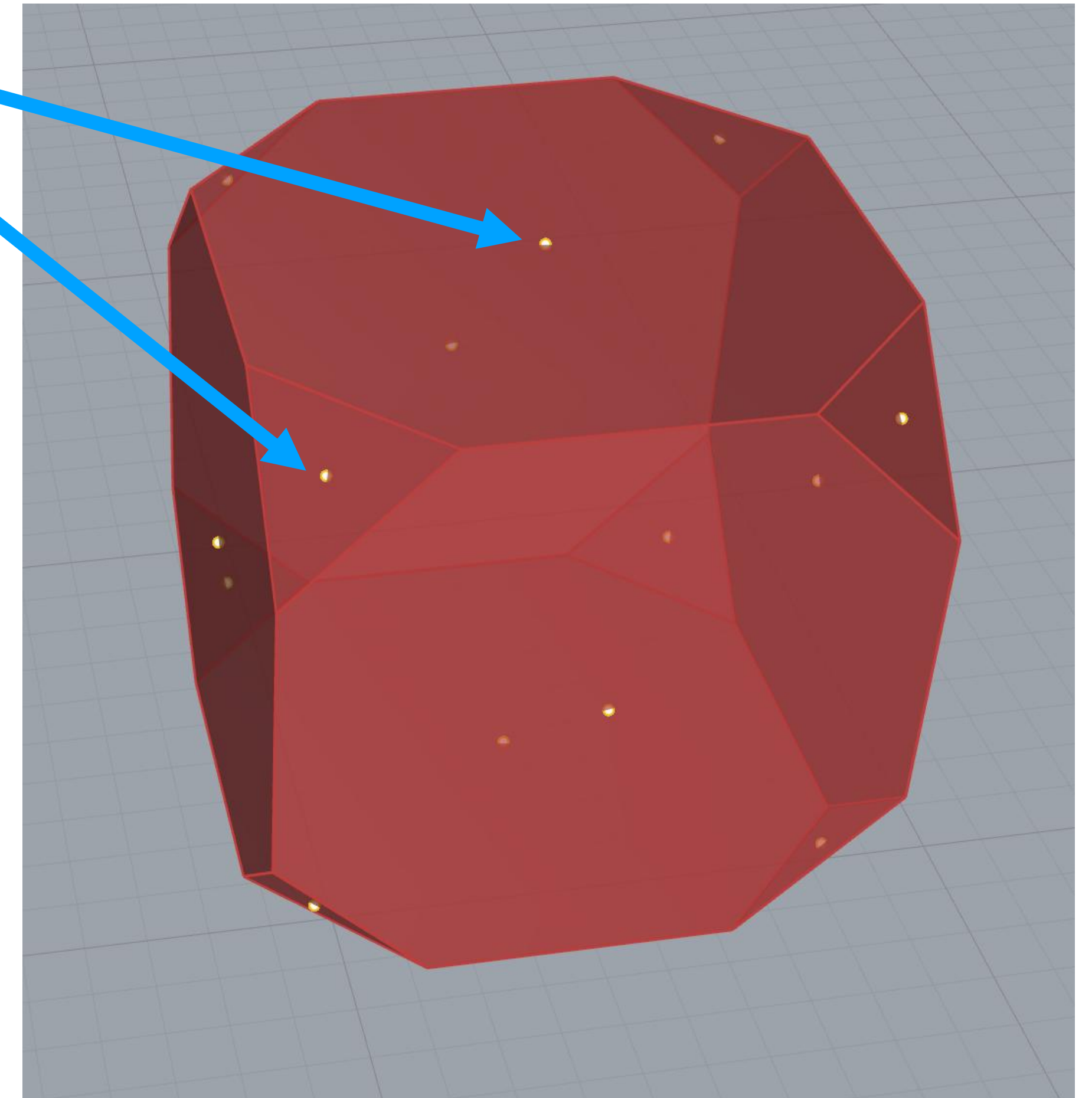
- Selecionar o cubo.
- Selecionar a curva/linha que vai servir de guia.
- Vai projetar essa curva através do sólido.
- O cubo fica cortado com a forma da curva. (fica sem as pontas)

Dual

- Colocar pontos no centro de cada face do cubo truncado.
- Identificar as faces que são adjacentes (partilham uma aresta).
- Unir os centros das faces adjacentes com linhas.

Essas linhas formam as arestas do sólido dual.

- Repetir este processo para todas as faces do cubo truncado até que todos os centros estejam ligados corretamente.
- O conjunto dessas ligações forma o novo sólido, chamado dual do cubo truncado, onde cada face do sólido original vai corresponder a um vértice do dual.



Cubo Truncado e Dual
(continuação)

Cubocaedro Truncado e Dual

Dodecaedro Truncado e Dual

Resumo do Cubo Truncado

Criar um cubo de base com 10 unidades (cm)

Criar as layers

Começar com a criação de linhas auxiliares: duas circunferências uma horizontal e uma vertical.

Usá las para identificar as interseções necessárias para o corte.

Definir raio das circunferências de acordo com a truncagem que vamos fazer (No primeiro exercício utilizámos $\frac{1}{4}$ da medida da aresta como raio)

Marcar as interseções resultantes, Unir os pontos de interseção e construir o triângulo de corte.

Depois de completar este passo, aproveitar a simetria do cubo e usar Mirror para replicar o triângulo.

Para o mirror funcionar corretamente temos de meter a opção 3 Point para inverter para a parte inferior do cubo.

Como o sólido é simétrico é só preciso fazer esta parte num dos lados.

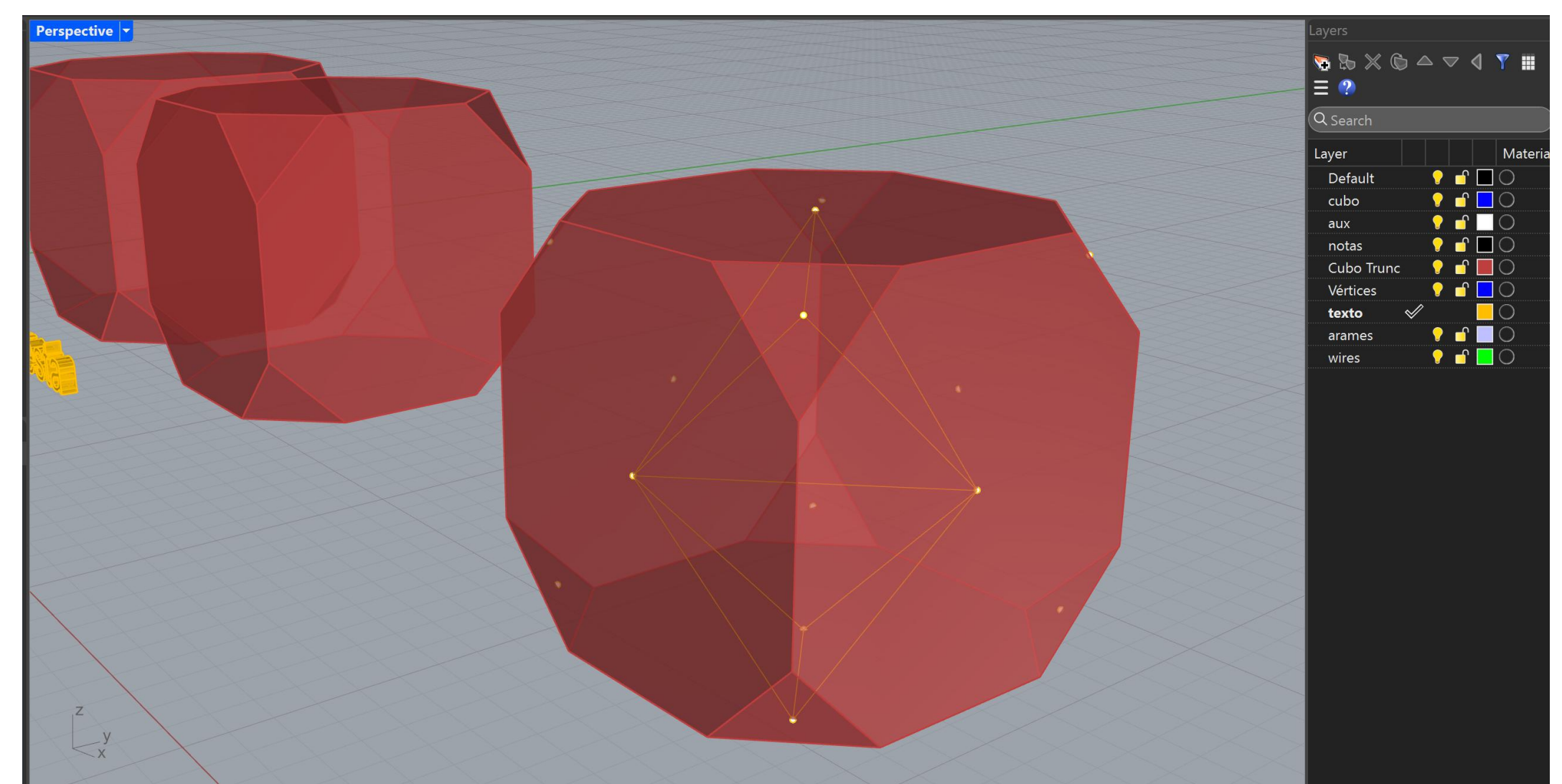
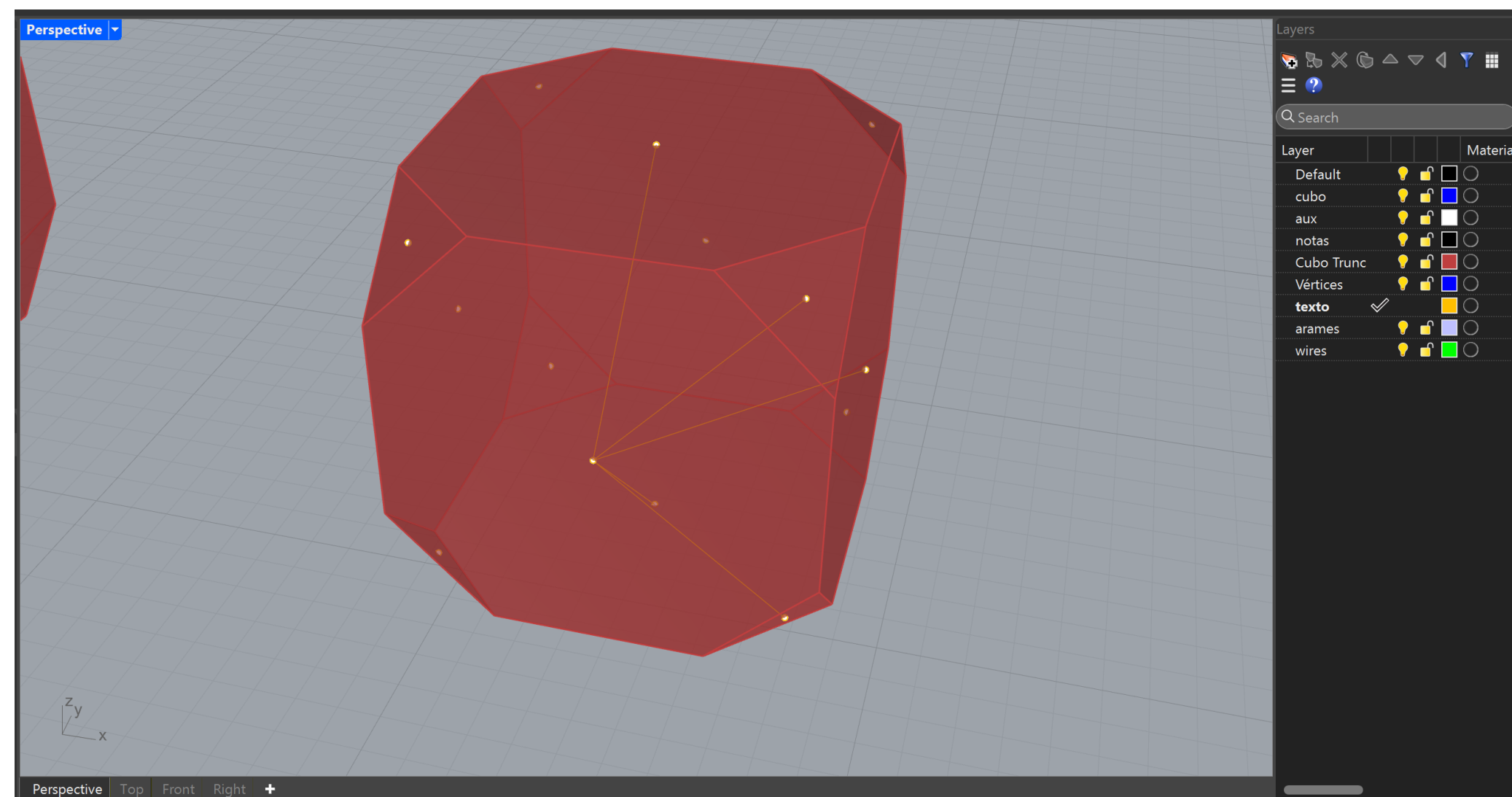
Usar ArrayPolar para distribuir os triângulos por todas as faces que faltam.

Usar o comando WireCut para cortar as pontas do cubo e temos o Cubo Truncado.

Surgem faces octogonais.

Mantêm-se faces triangulares.

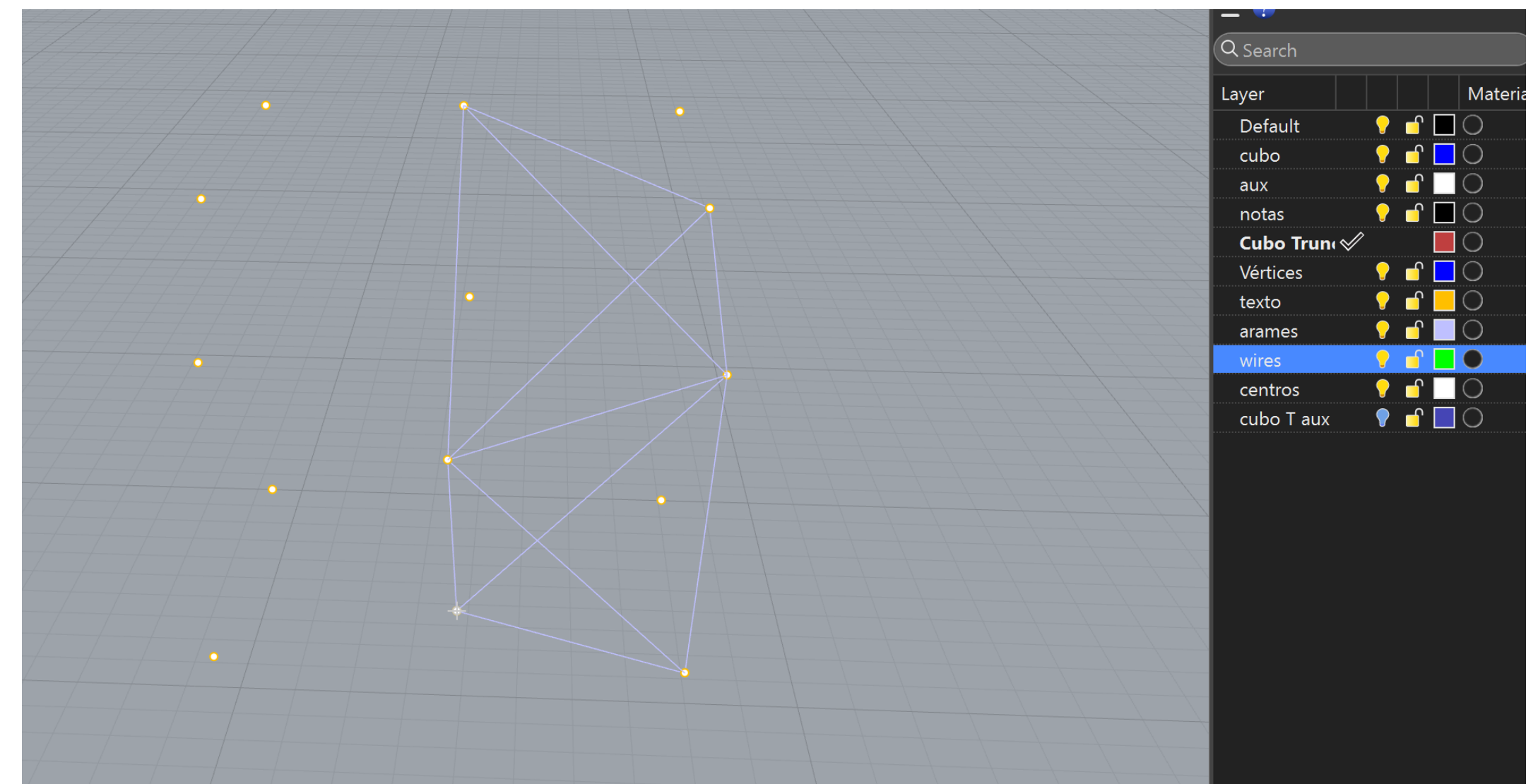
Aula. 3 - 26/2/2026



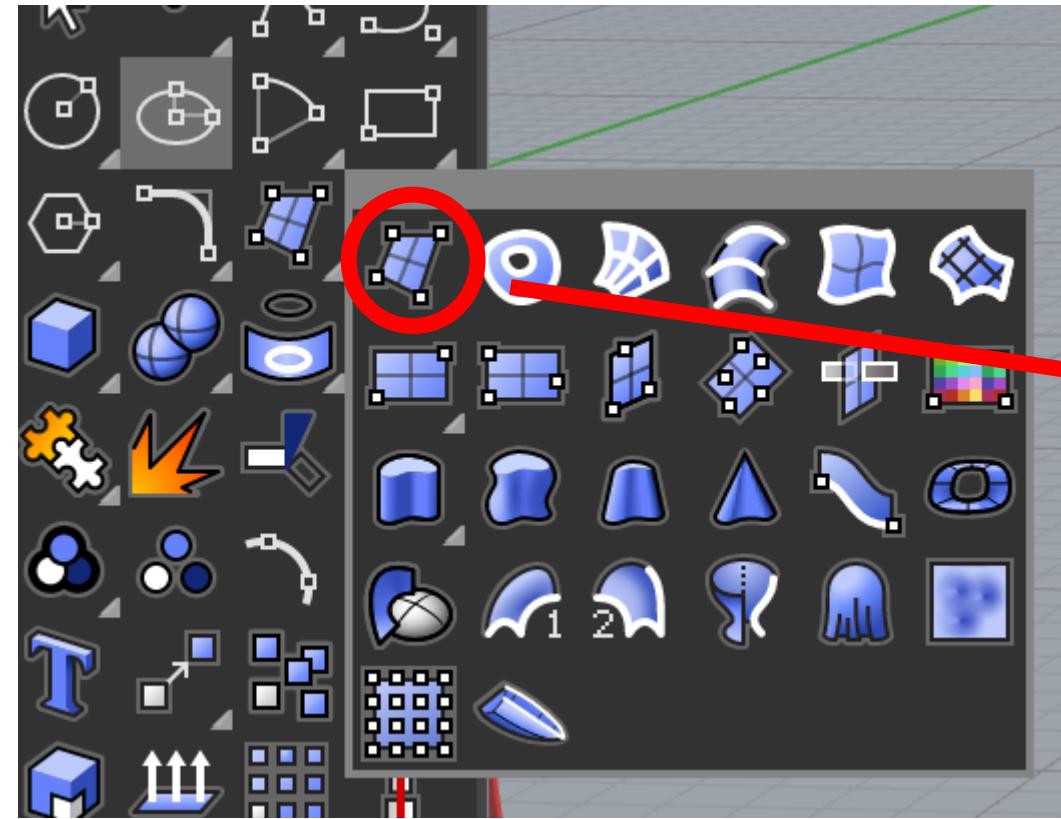
Finalização do exercício da aula anterior.

Ligar centros das faces adjacentes para fazer as arestas do Dual.

Desligar a layer do cubo truncado para se poder observar as conexões.

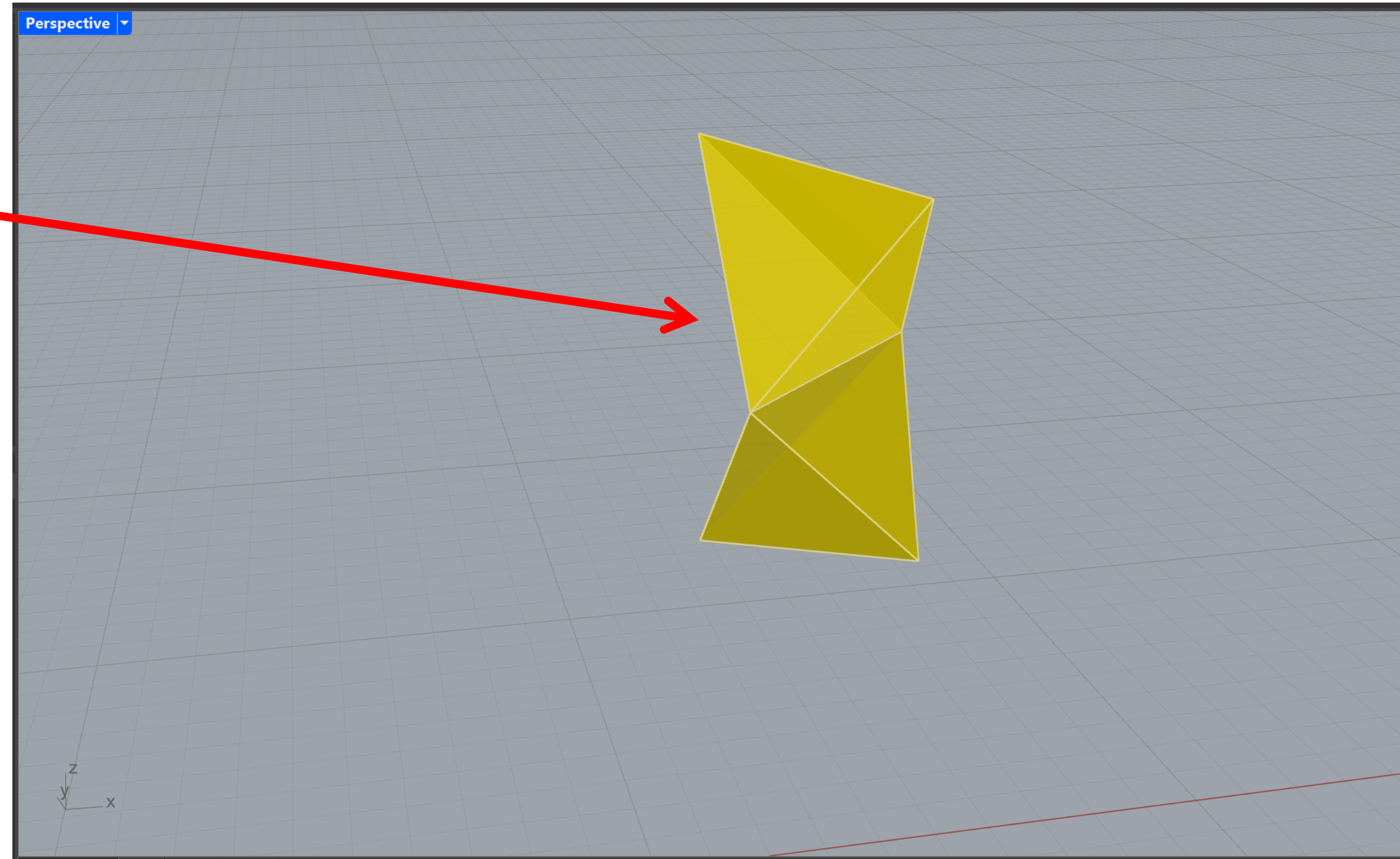


Para dar shade nas faces de dual clicar neste icone

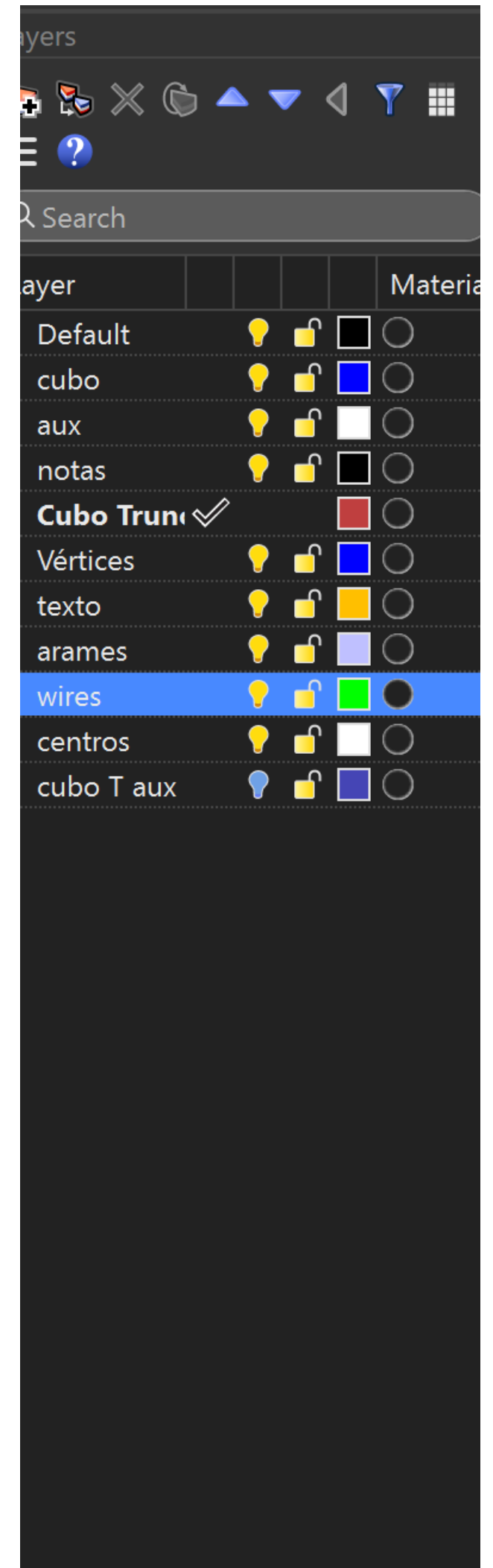


As superfícies e sólidos ficam preenchidos com cor.

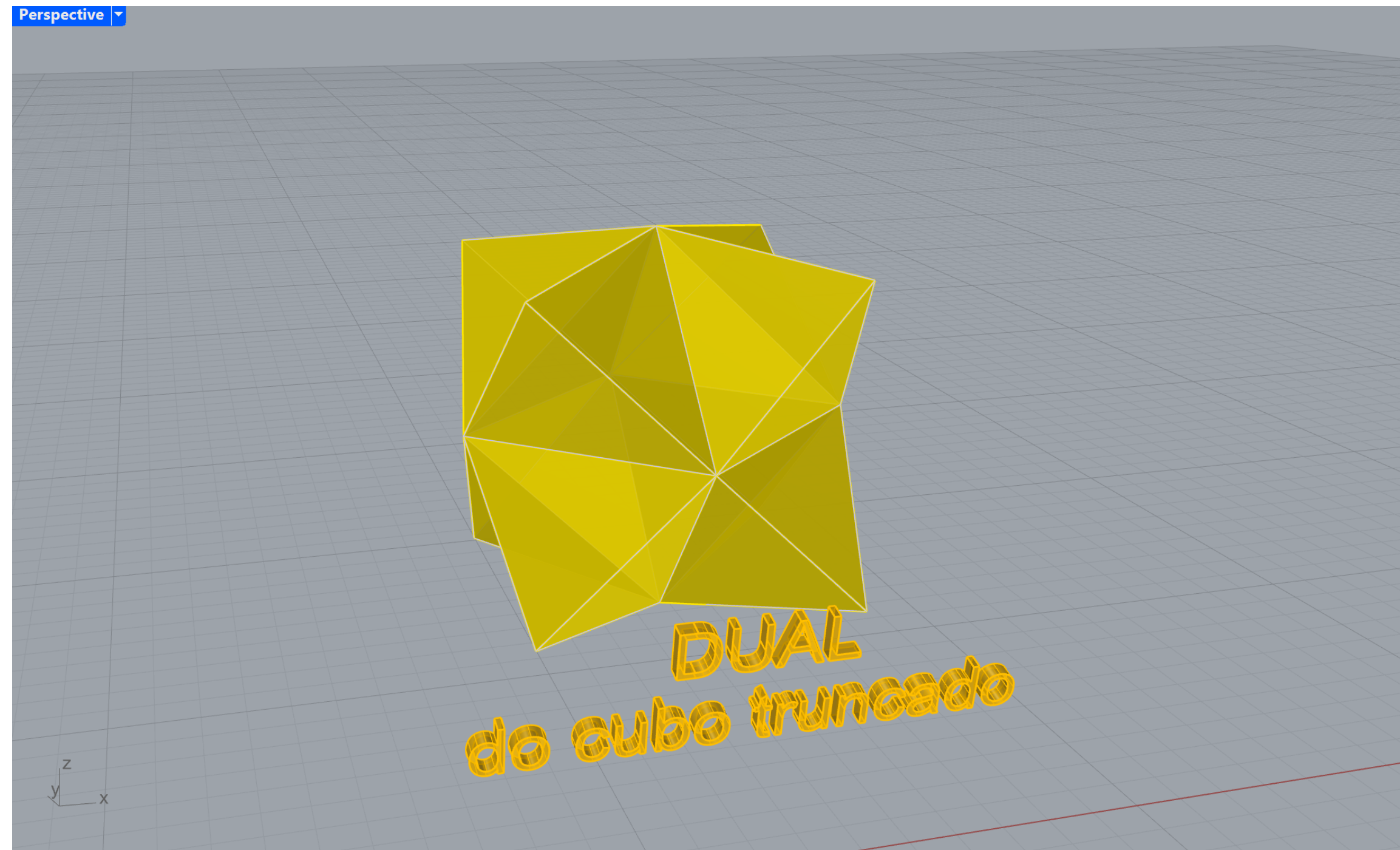
O objeto passa a ter sombras e luz, o que ajuda a perceber melhor o volume e a forma.



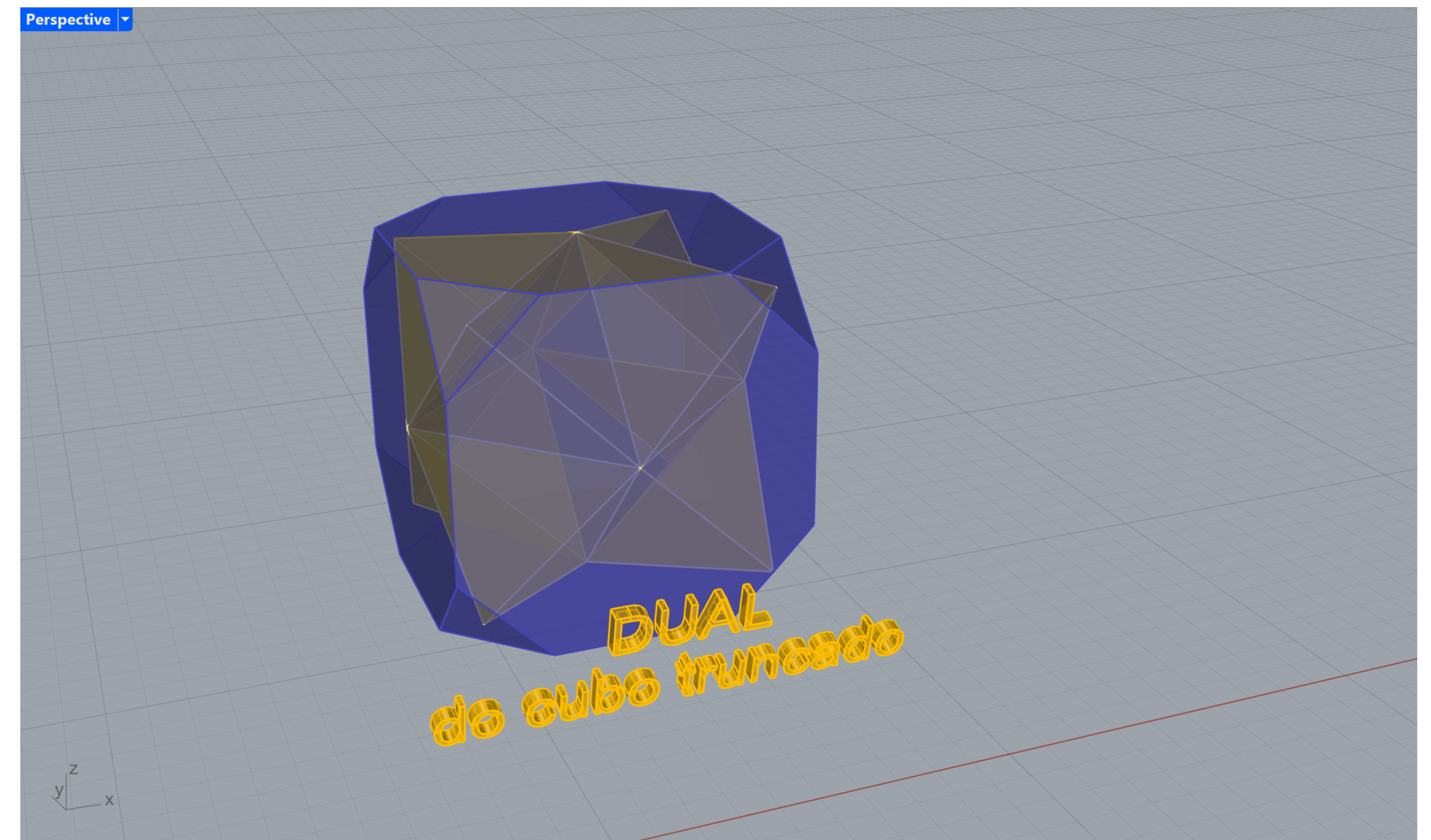
Layers atuais



Finalização do Exercício



Dual do Cubo truncado



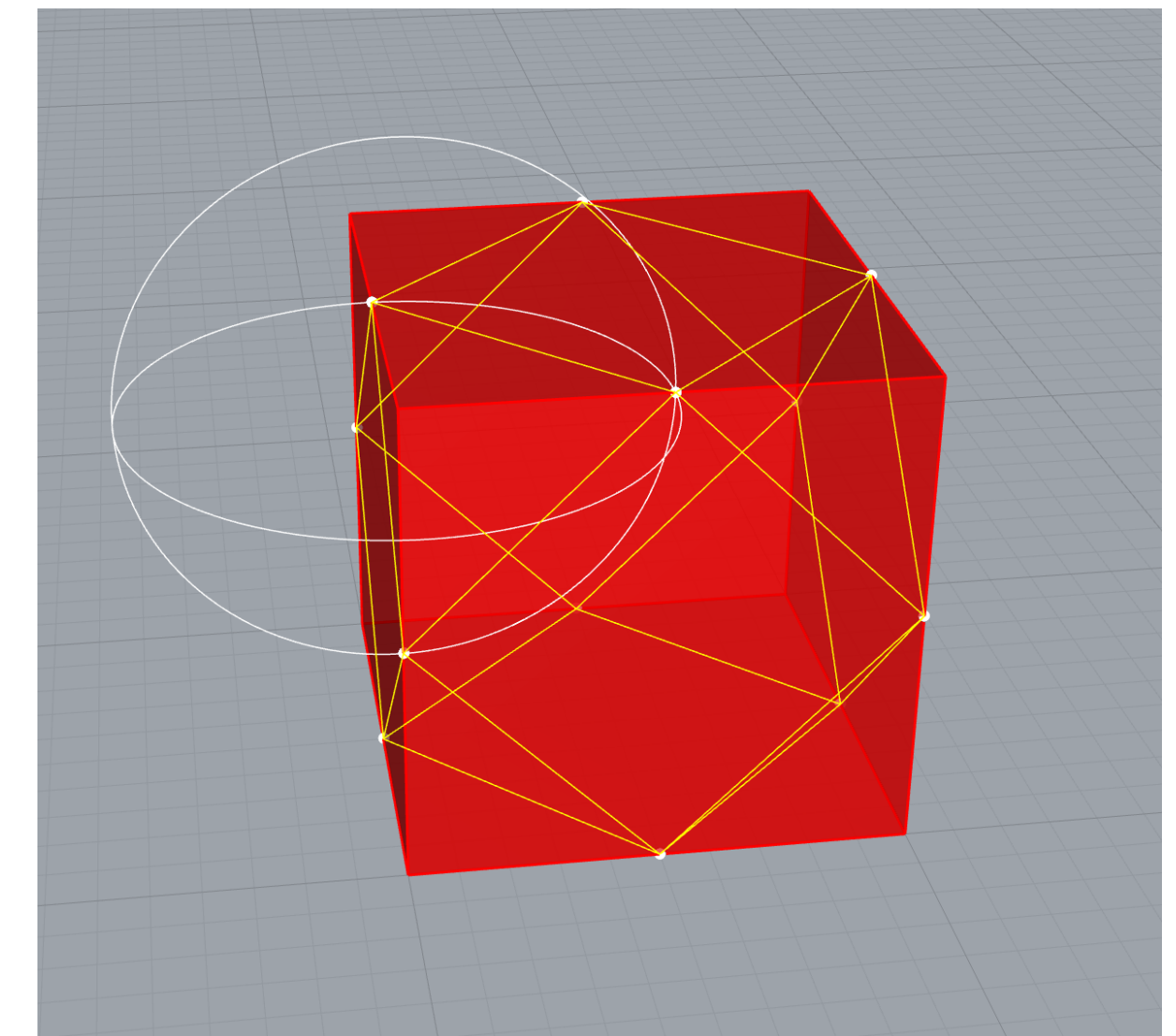
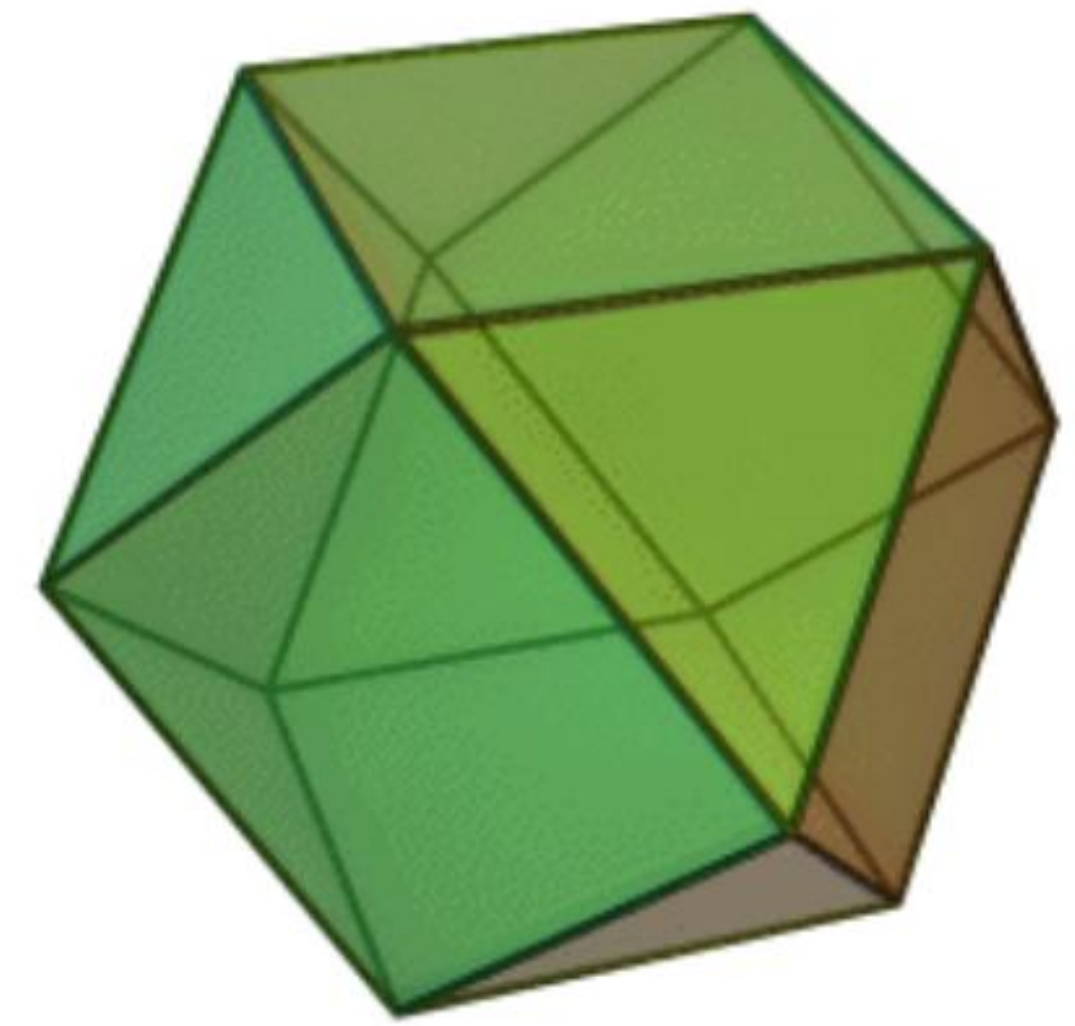
Dual do Cubo truncado dentro do cubo truncado para comparação

Sólido 2 (Cuboctaedro)

O cuboctaedro é um sólido com 14 faces (triângulos equiláteros e quadrados), 12 vértices e 24 arestas.

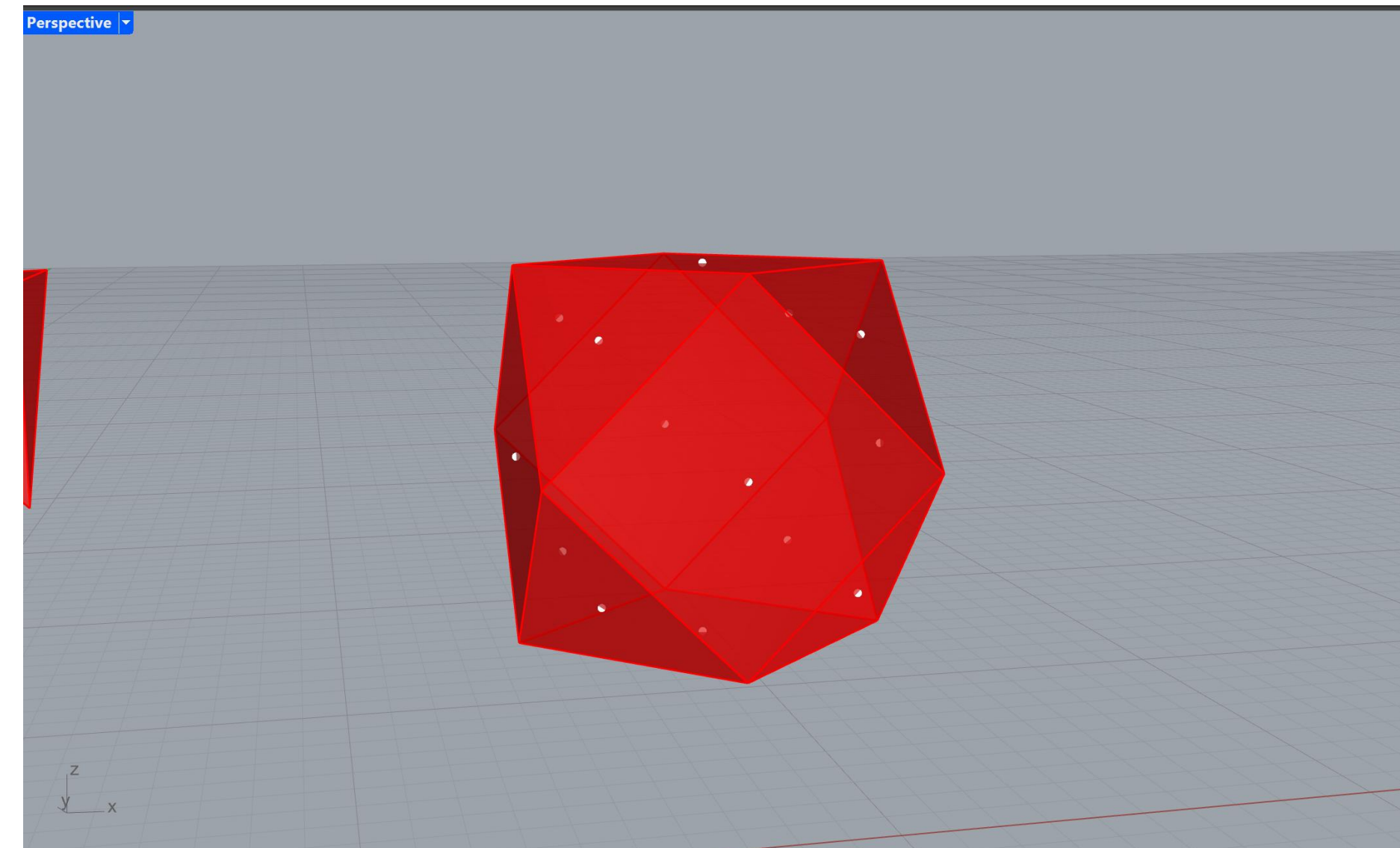
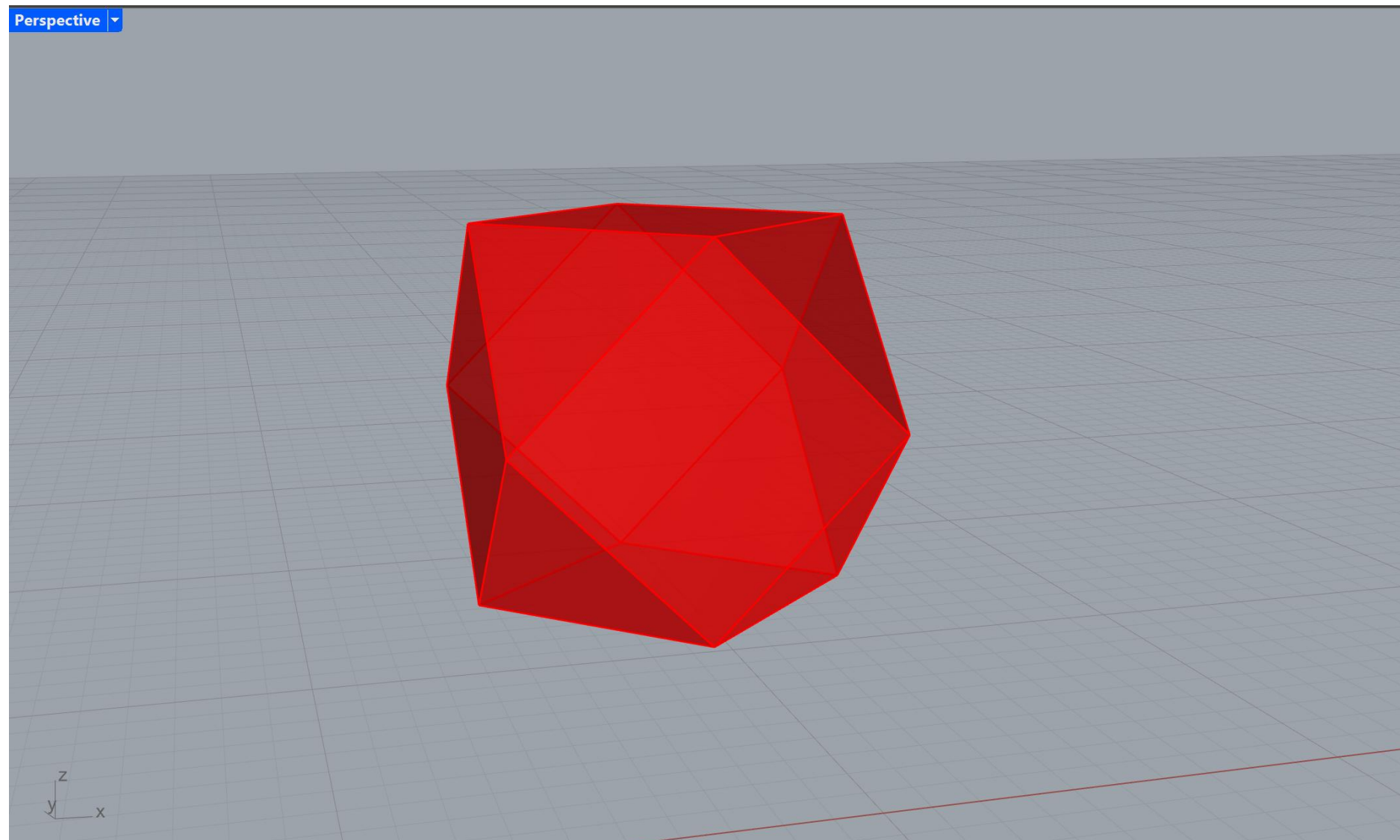
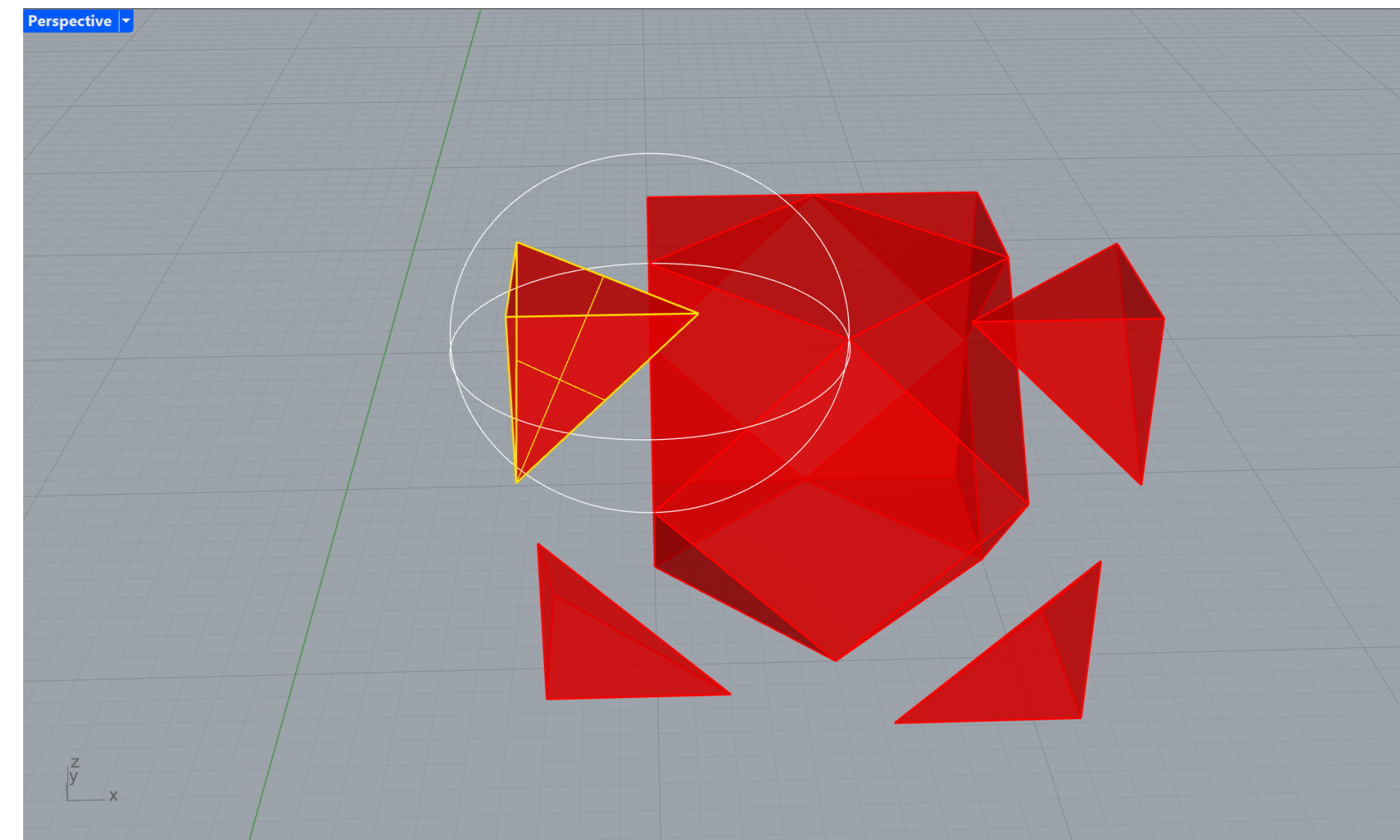
Repetição dos passos anteriores mas alterando as medidas para o

Cuboctaedro: cubo truncado a metade da aresta; em vez de ser a um quarto, as faces octogonais vão ser faces quadradas e as triangulares mantêm-se.



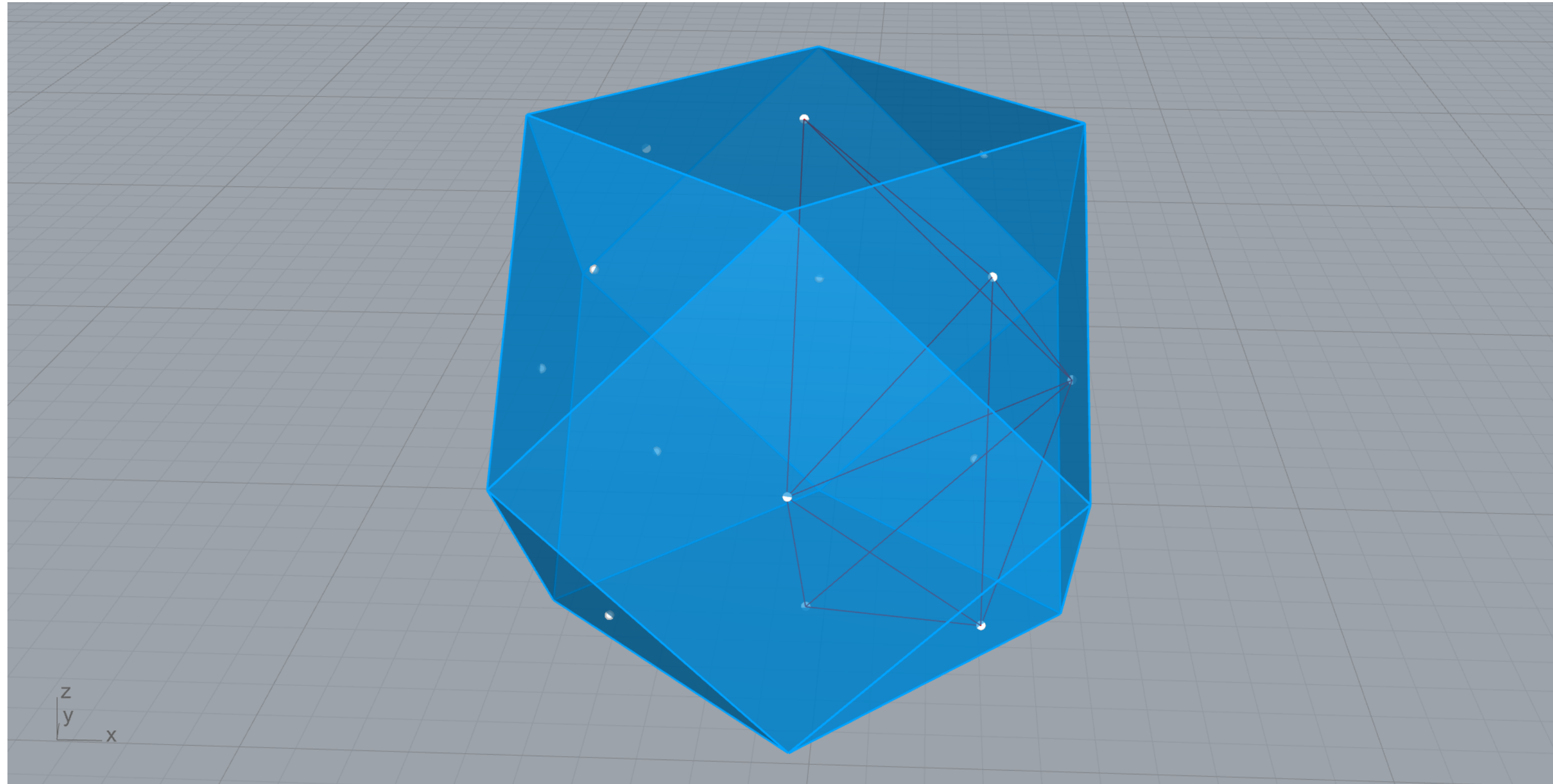
No exercício anterior, o raio das circunferências era $\frac{1}{4}$ da aresta.

Para o cuboctaedro, o raio passa a ser $\frac{1}{2}$ da aresta do cubo para que as faces resultantes não sejam octogonais e passem a ser quadradas



Meter centros nas faces

Existem dois tipos de faces: faces triangulares e faces quadradas



Unir os centros das faces que estão lado a lado.

Estas ligações vão formar as novas arestas do dual

Nota:

O dual de um sólido é outro sólido que se constrói a partir dele, ligando os centros das faces do sólido original.

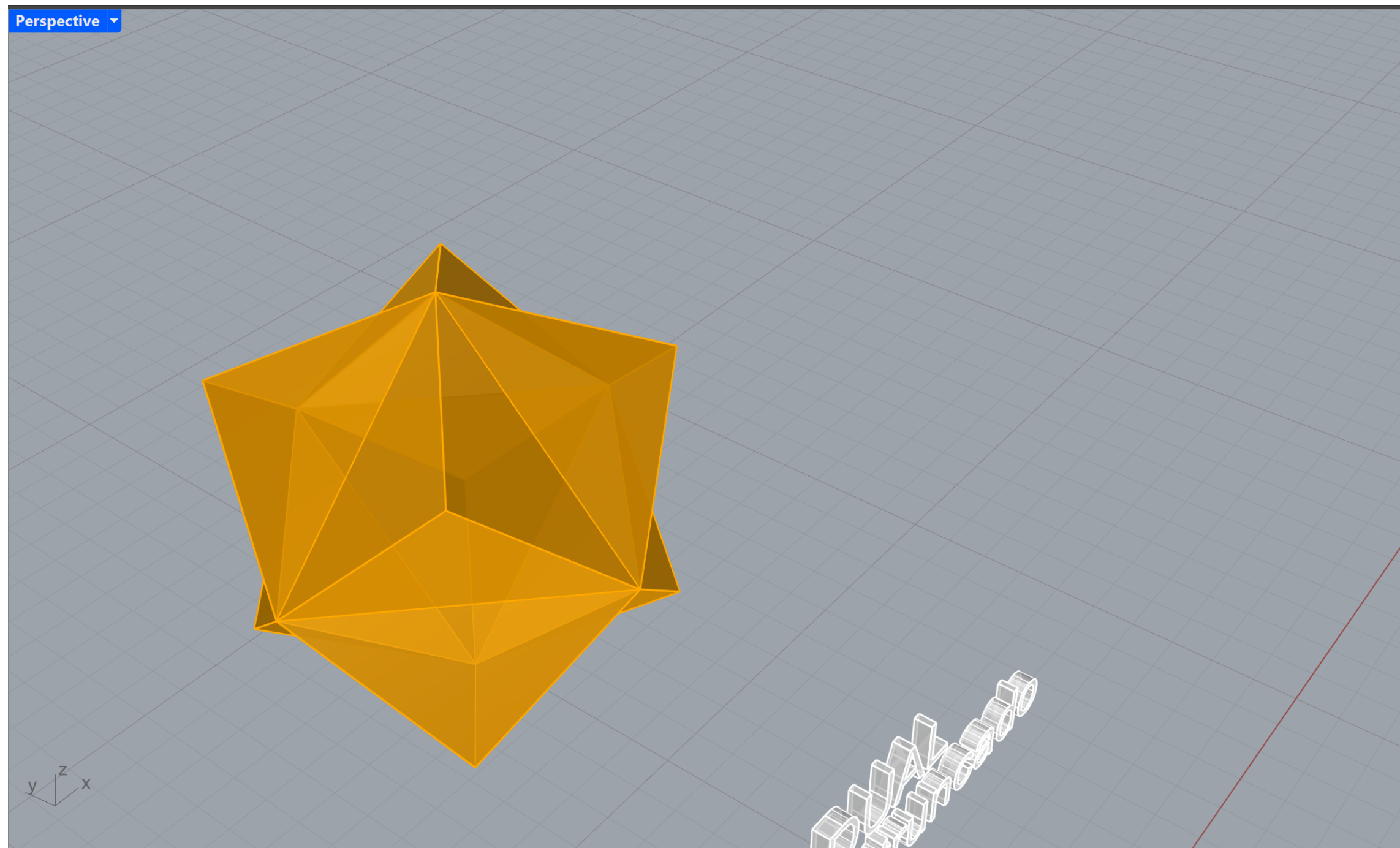
Ou seja, o dual transforma:

faces $\rightarrow$ vértices

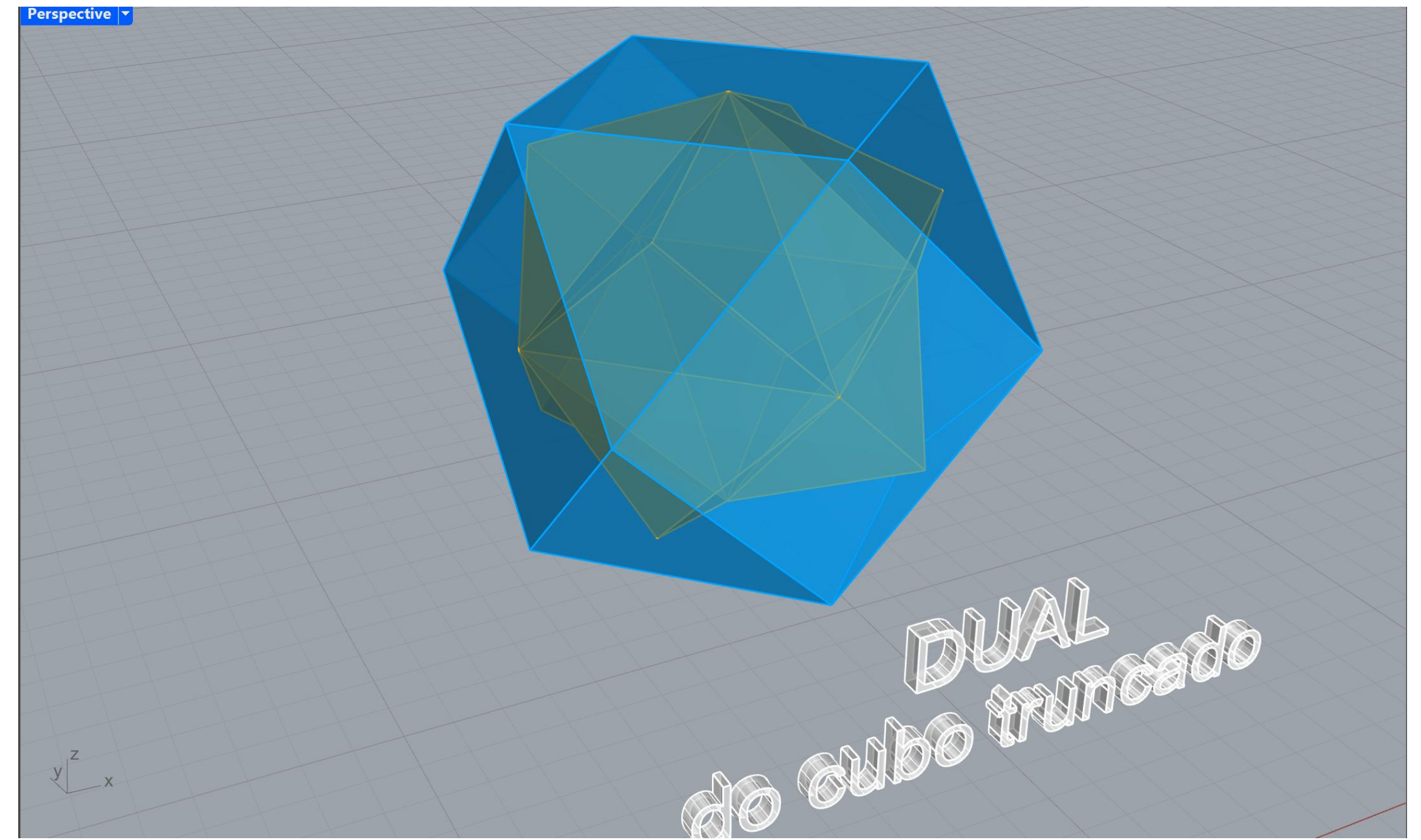
vértices $\rightarrow$ faces

arestas $\rightarrow$ arestas

Finalização do Exercício



Dual do Cuboctaedro truncado



Dual do Cuboctaedro truncado dentro do cuboctaedro truncado para comparação

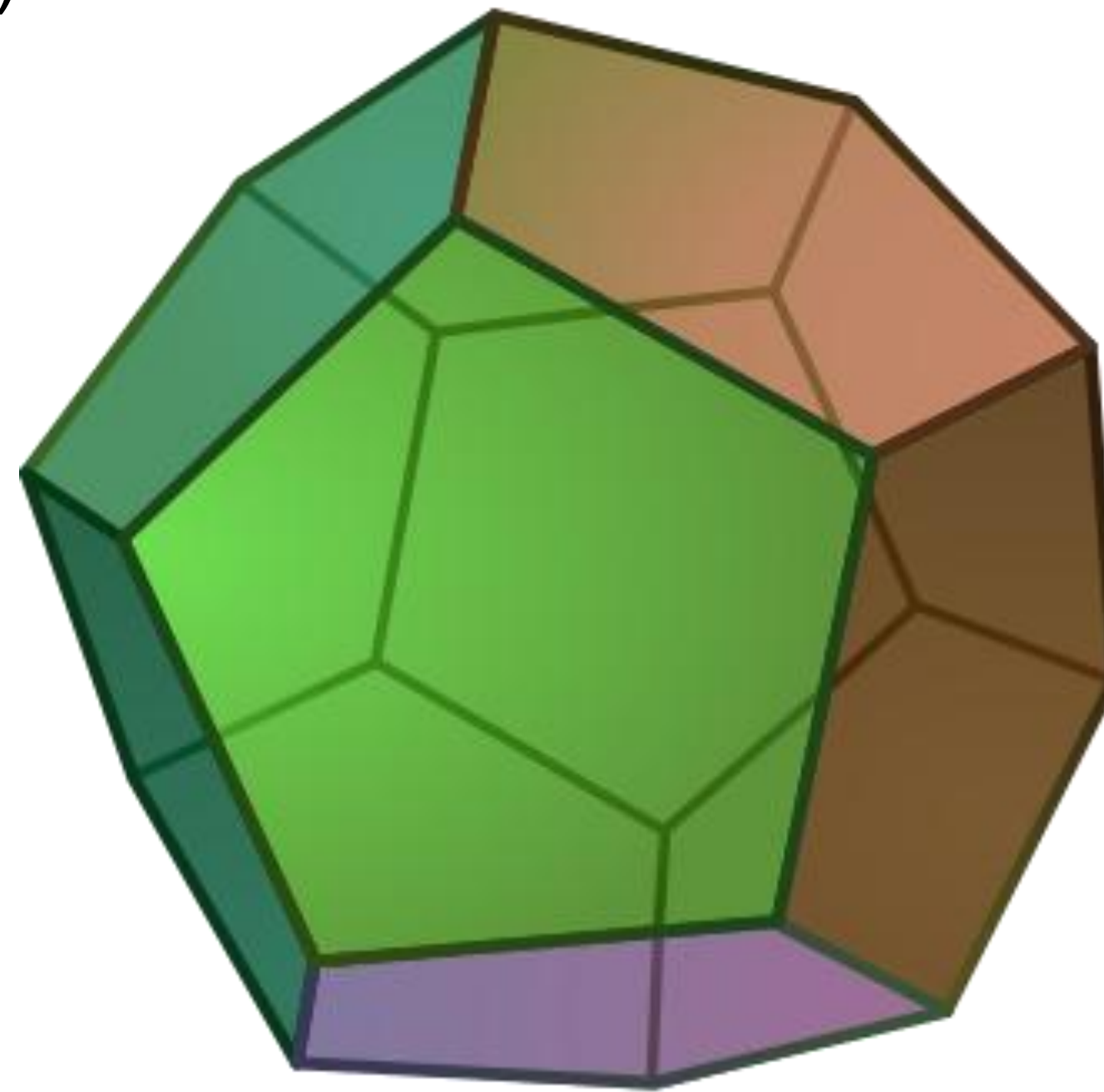
Sólido 3 (Dodecaedro)

O dodecaedro é um sólido formado por 12 faces pentagonais, com:

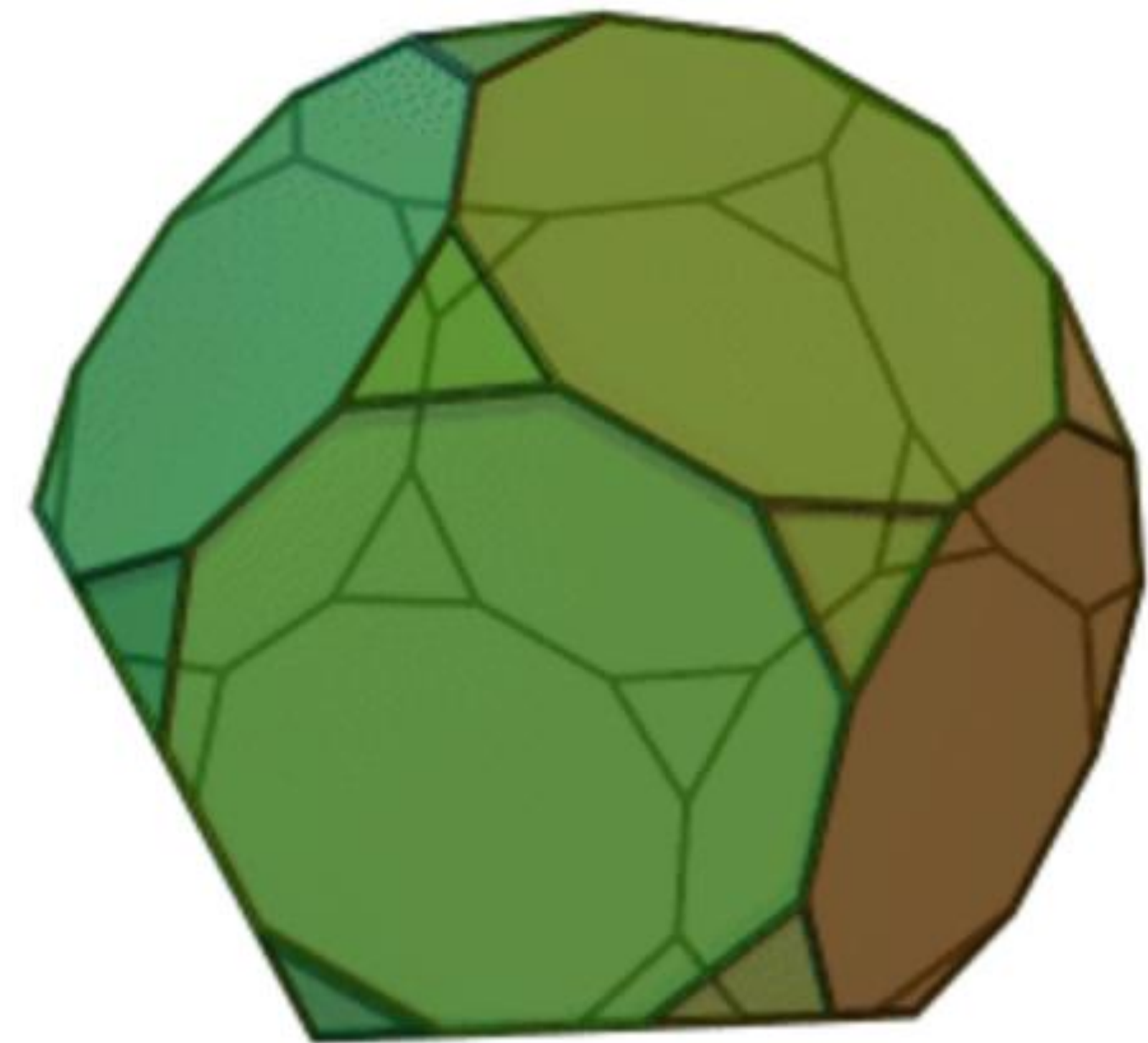
12 faces (todos pentágonos)

20 vértices

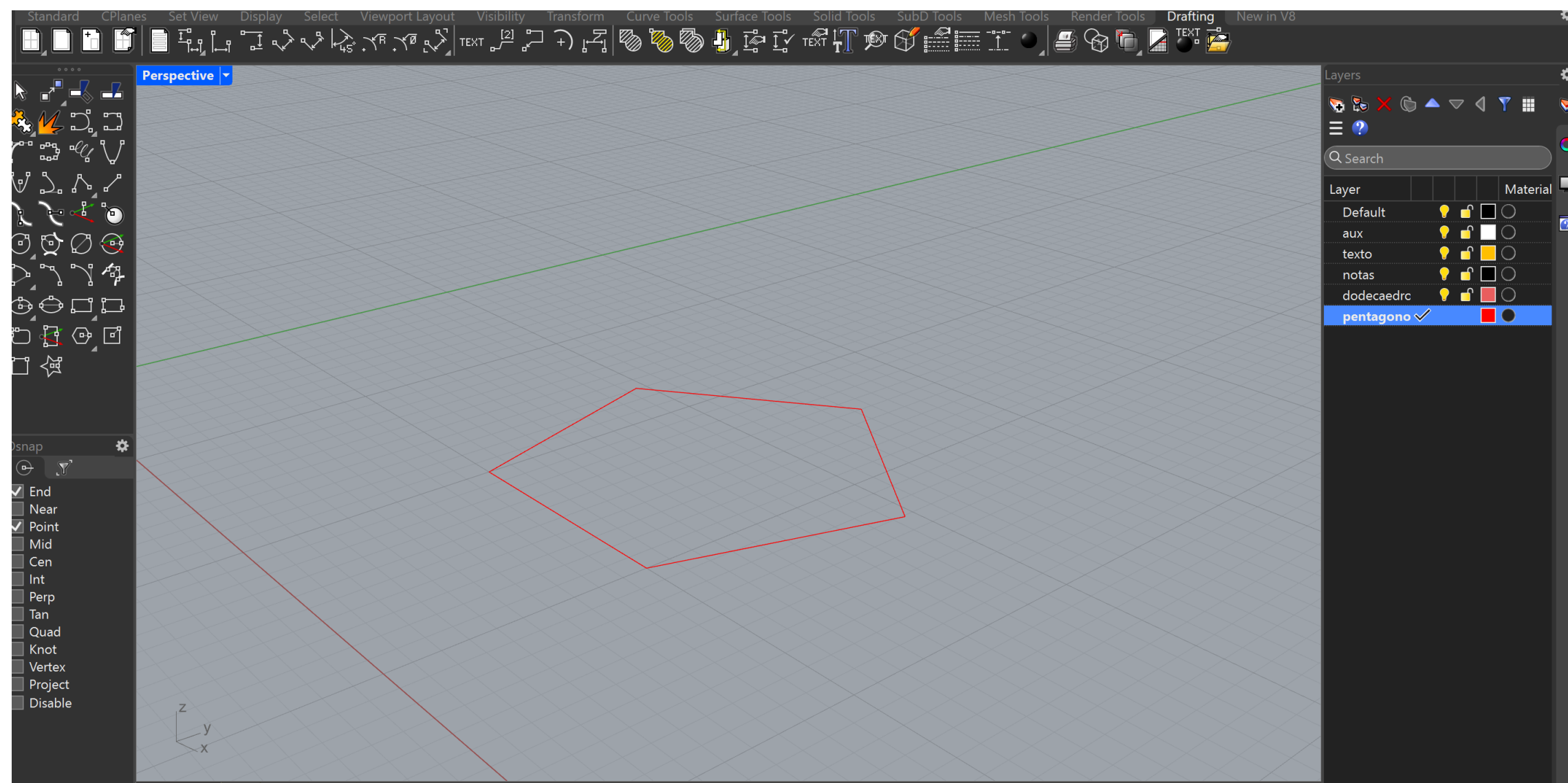
30 arestas



Dodecaedro

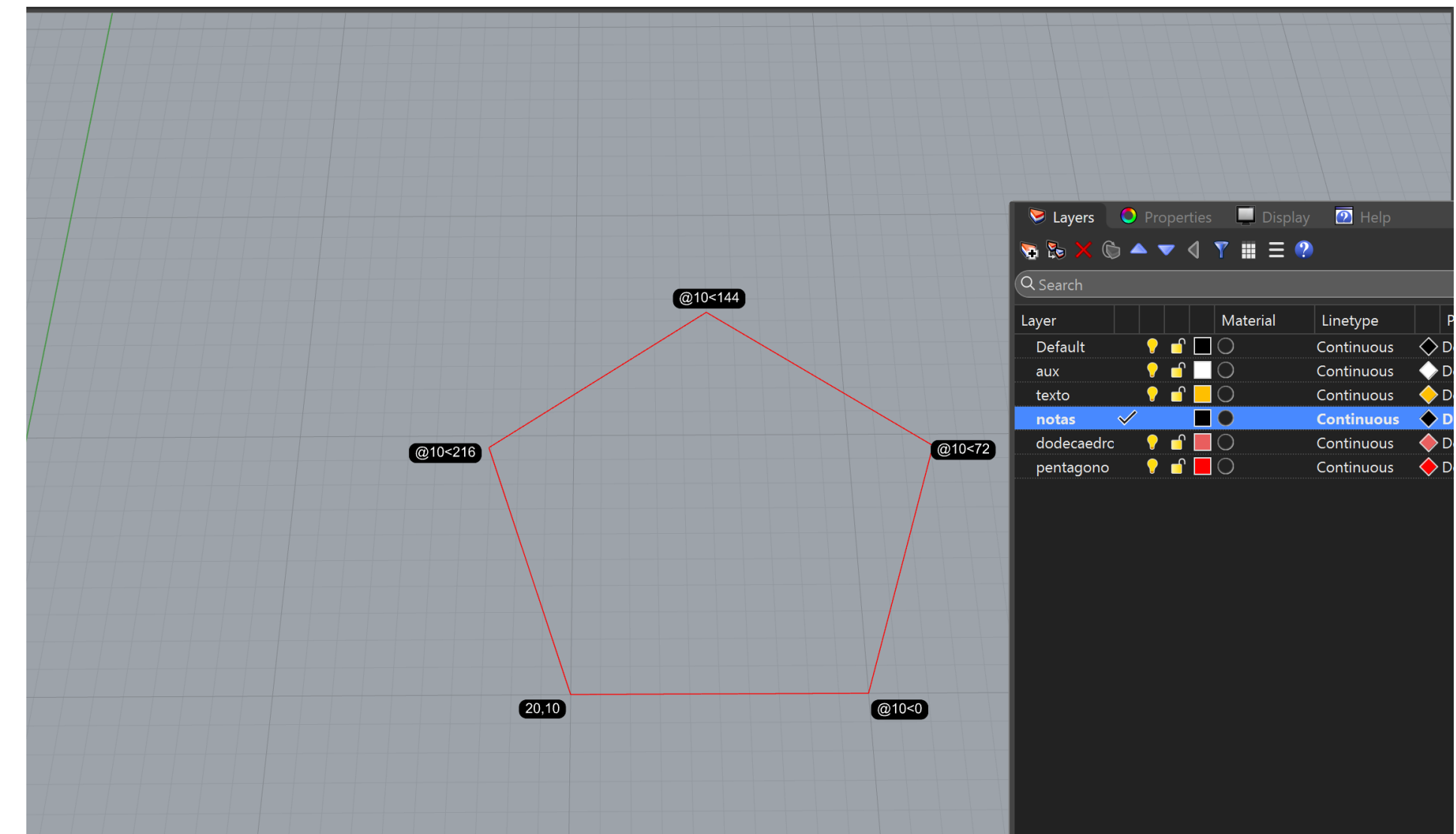
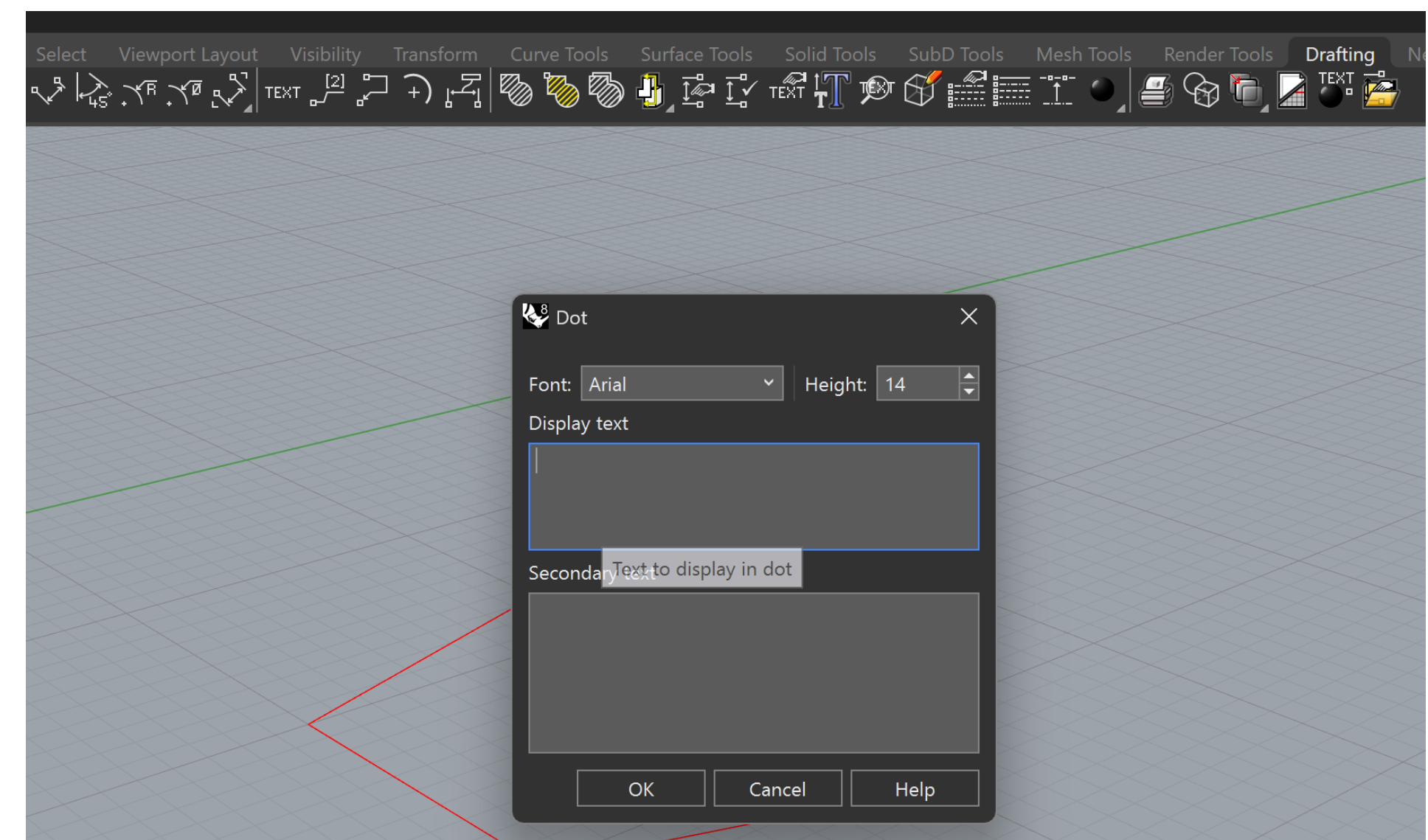


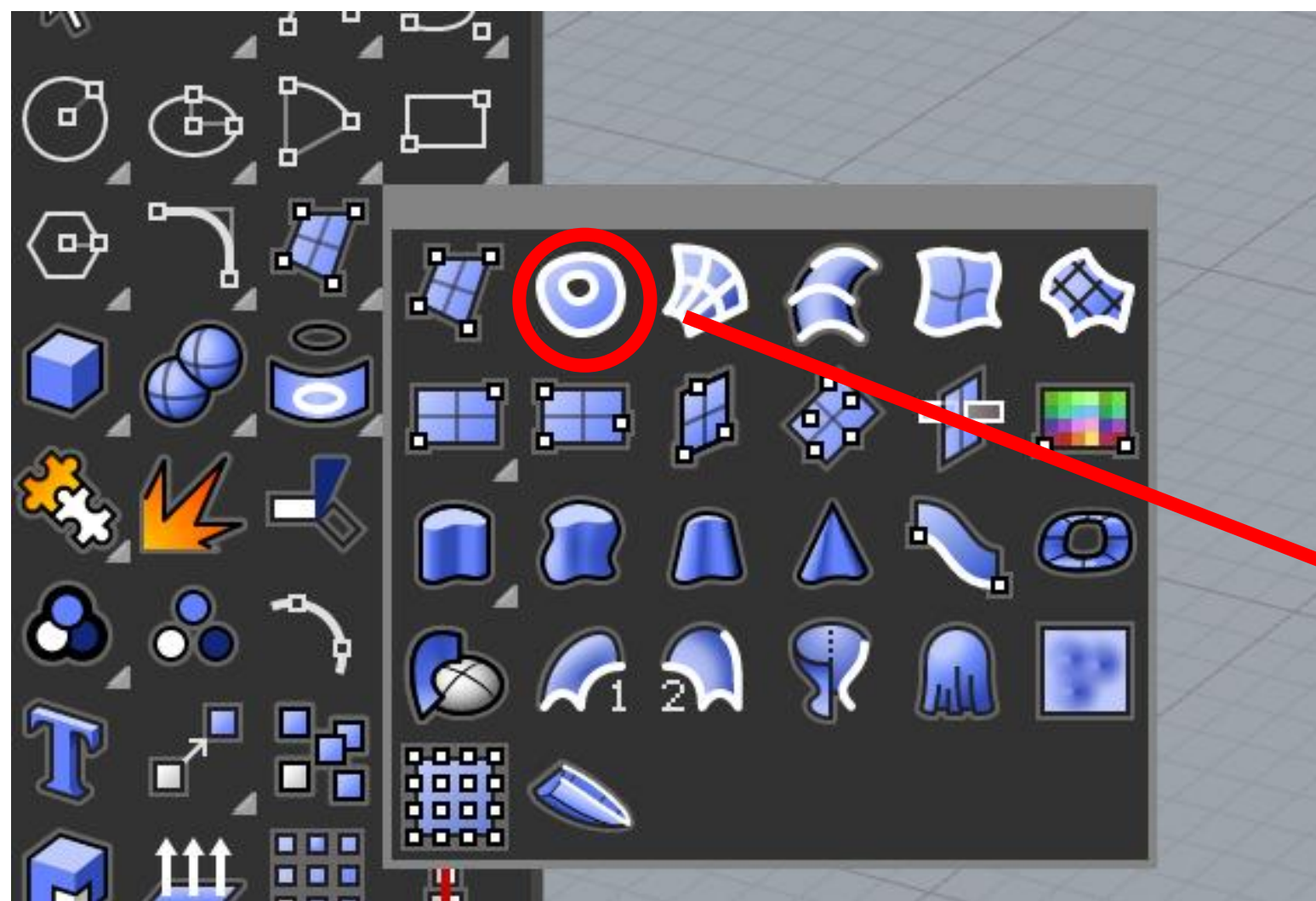
Dodecaedro truncado



Para fazer o Dodecaedro é preciso criar um pentágono regular com 10 unidades de lado.

Depois disso foi usado o comando Mirror para copiar o pentágono para dois lados do pentágono original, começando assim a estrutura inicial do sólido.

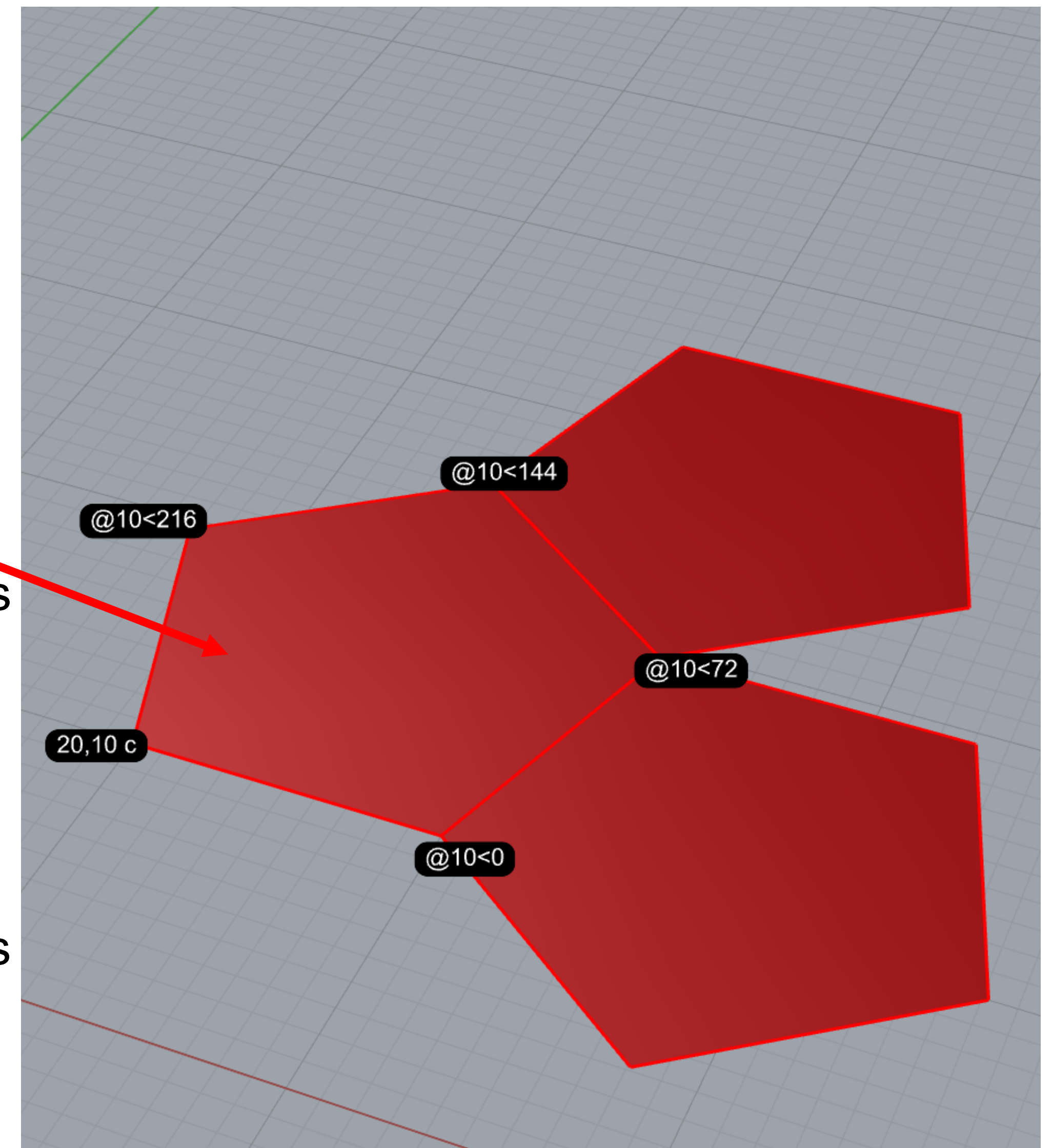




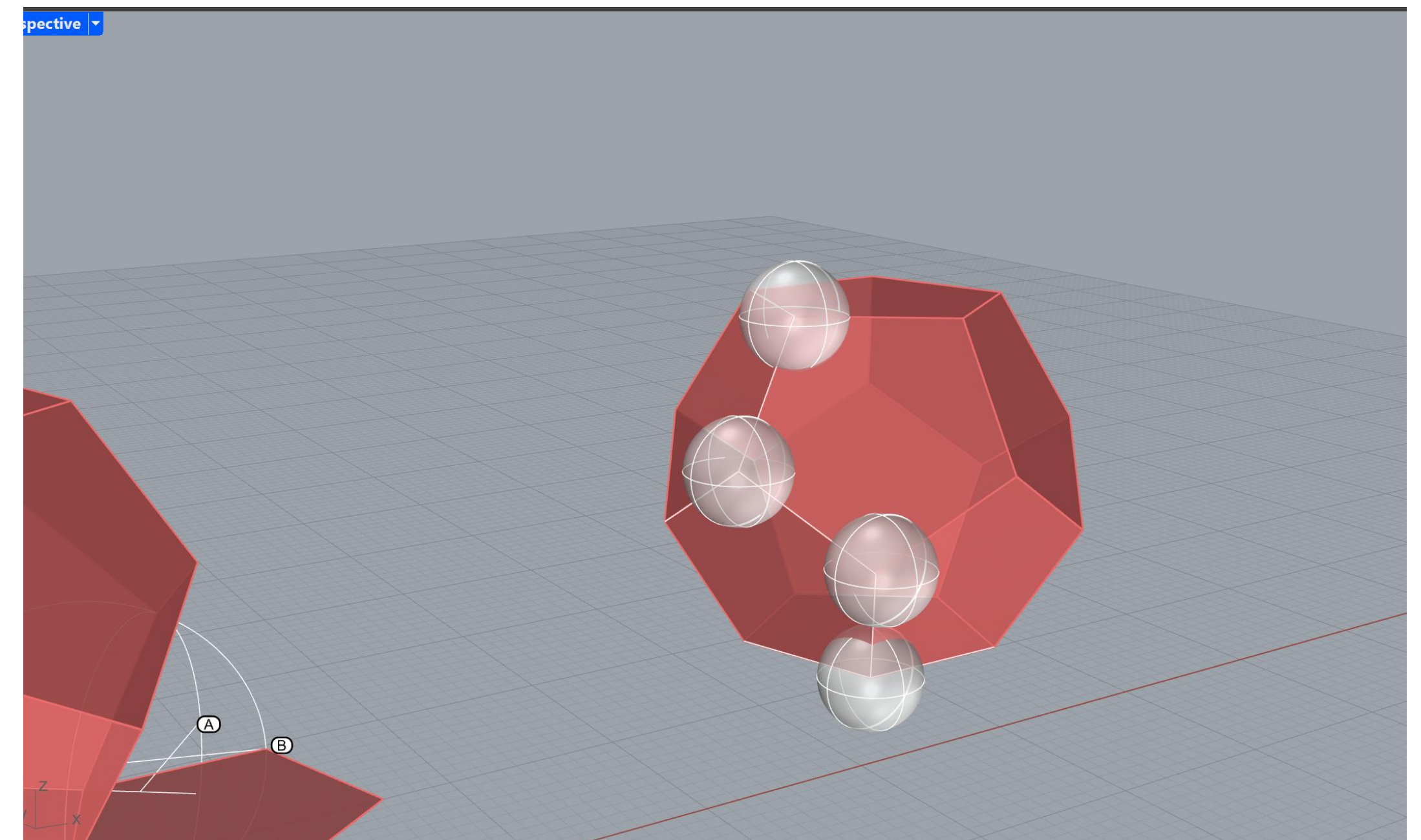
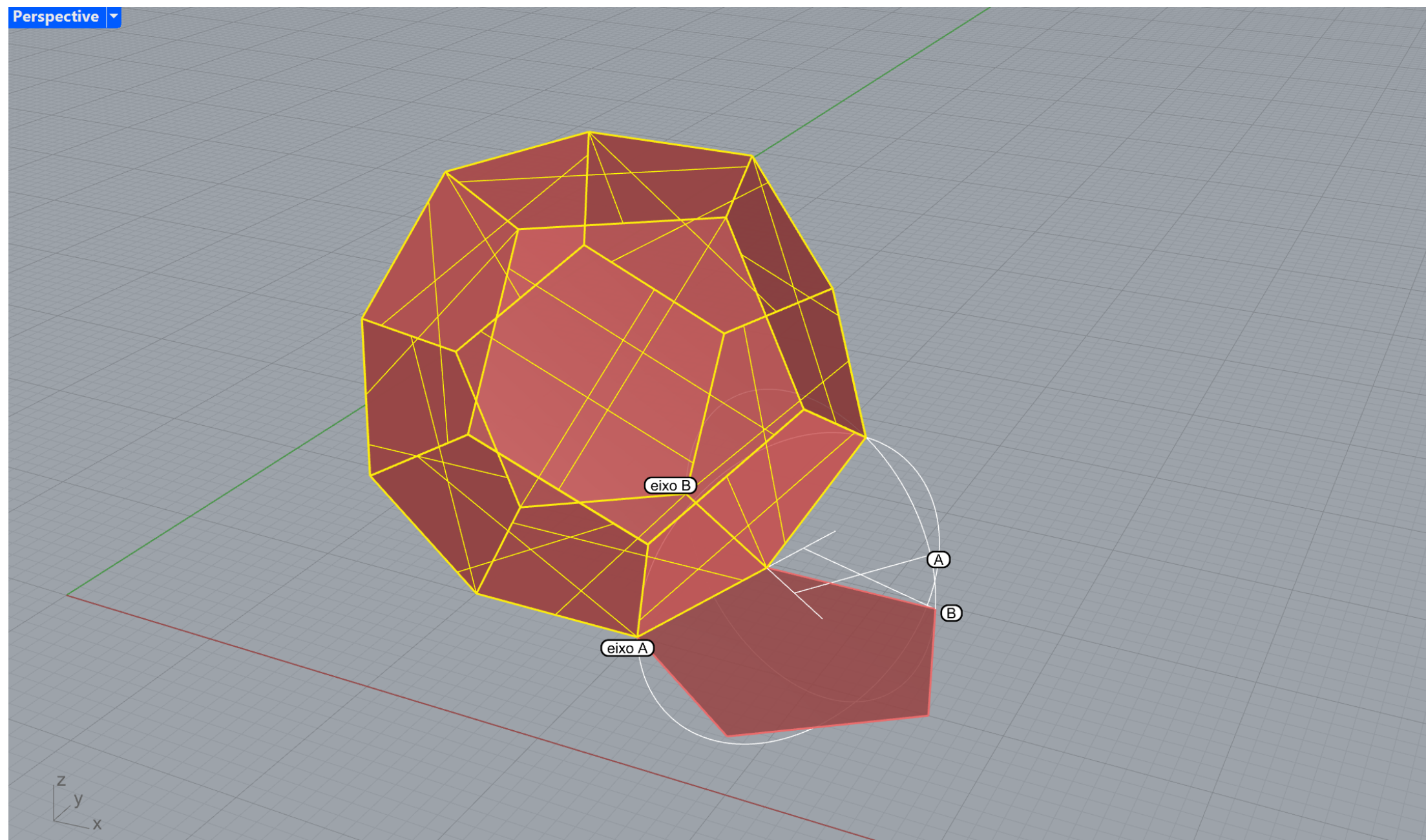
Criar circunferências auxiliares para rodar os novos pentágonos até ao ângulo correto do dodecaedro.

Copiar os pentágonos para completar todas as posições da base.

Copiar a parte de baixo e utilizar Rotate3D para posicionar os pentágonos que formam a parte de cima do sólido.



Dodecaedro Truncado e Dual

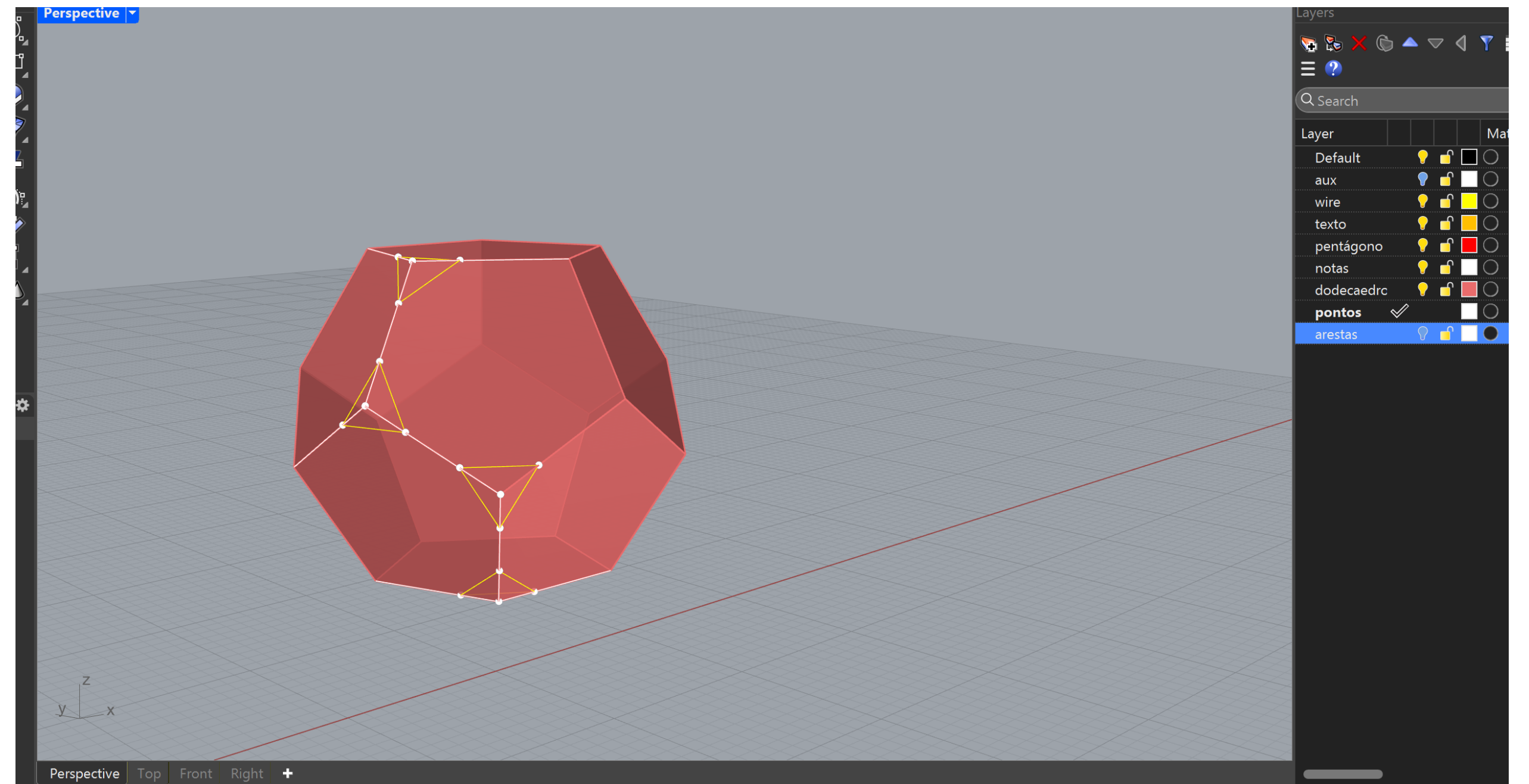
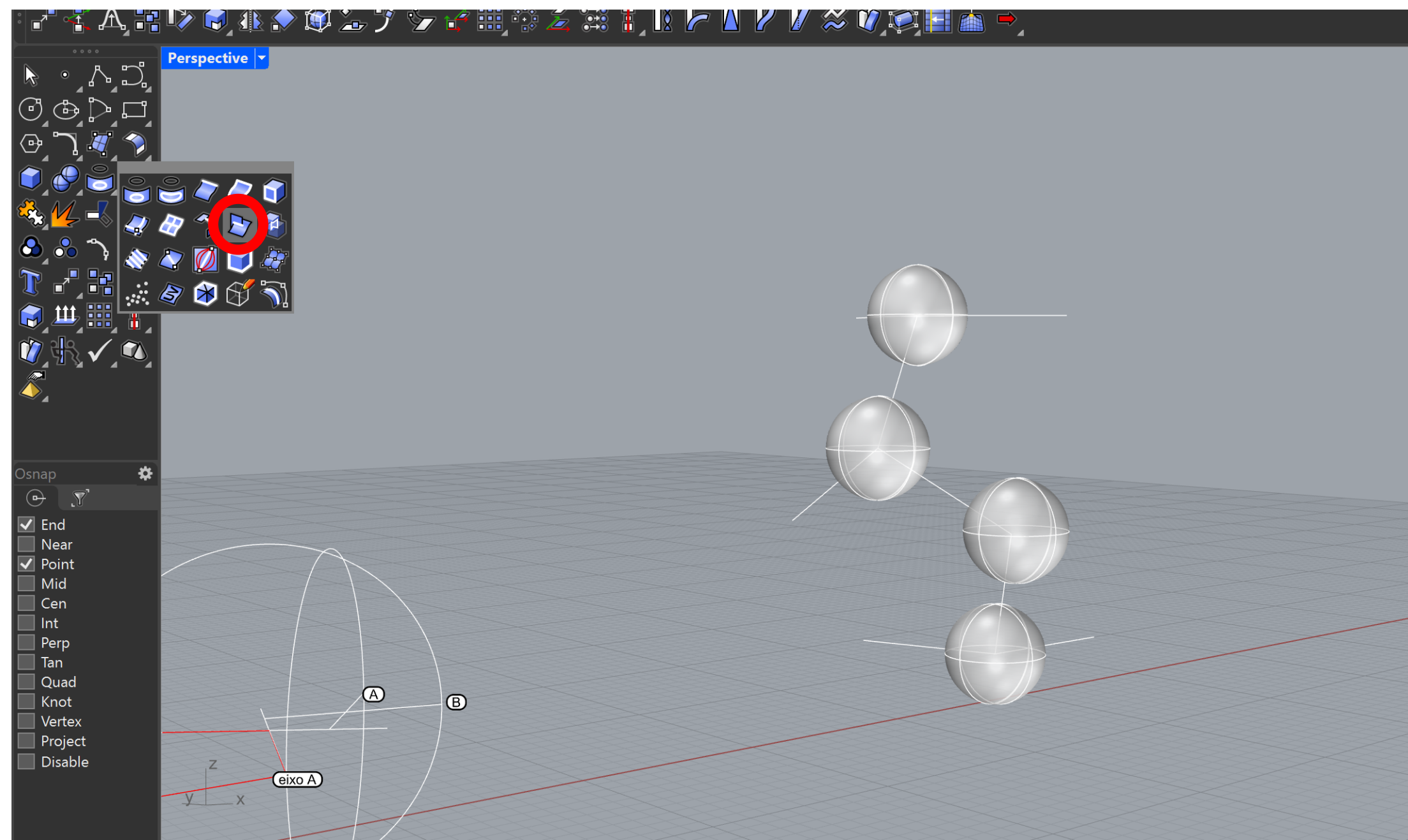


Com a finalização do dodecaedro metemos esferas de raio 3 nalguns vértices do dodecaedro (só precisamos de quatro pois podemos fazer ArrayPolar).

Estas esferas servem para encontrar os pontos de interseção com as arestas do sólido que estão à mesma distância.

Ativar a opção que marca os pontos onde nas interseções.

Cada ponto de interseção vai ser usado para construir triângulos auxiliares que vão ajudar a definir o dual e organizar cortes se necessário.

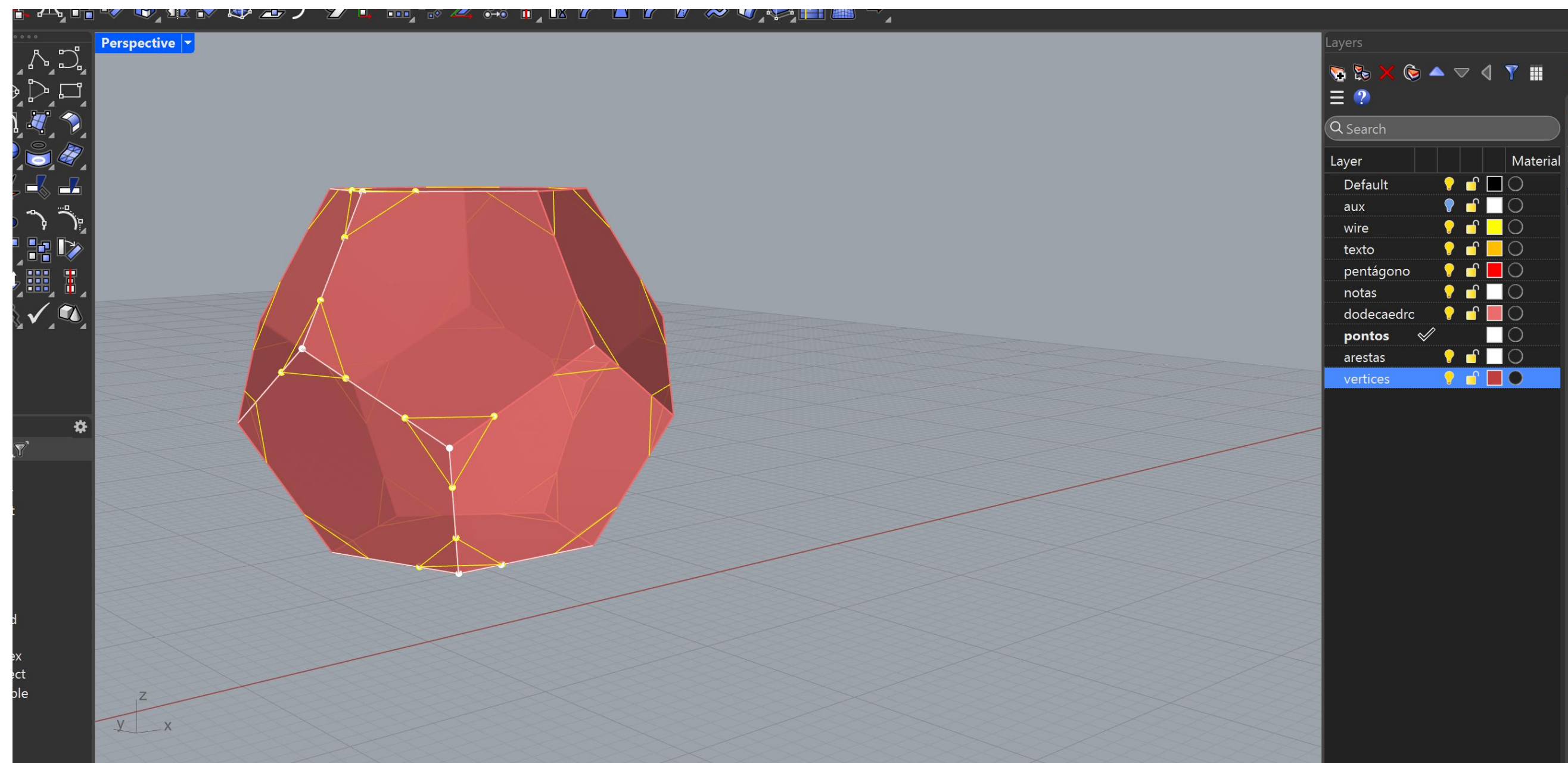


Para obter uma melhor visualização do processo, colocámos polylines nas arestas que vão ser intercetadas e desativámos as layers do dodecaedro. Desta forma é mais fácil identificar os pontos onde ocorrerão as interseções.

Ao clicar no símbolo rodeado, o Rhino marca automaticamente os pontos de interseção entre os objetos selecionados. Neste caso, a interseção das esferas com o dodecaedro nas arestas do sólido permite identificar esses pontos de forma mais simples e com o mesmo comprimento.

Tendo sido identificados os pontos de interseção, utilizámos o comando *ArrayPolar* para repetir a geometria de forma circular. Inicialmente ligámos os pontos obtidos, formando triângulos em quatro das arestas seleccionadas do sólido. Estes triângulos definem o padrão base da estrutura.

De seguida, o *ArrayPolar*, definindo 5 vezes e 360° , que permite distribuir os triângulos à volta do centro. Desta forma, o padrão foi replicado de forma uniforme, criando a mesma configuração em todas as arestas do sólido.

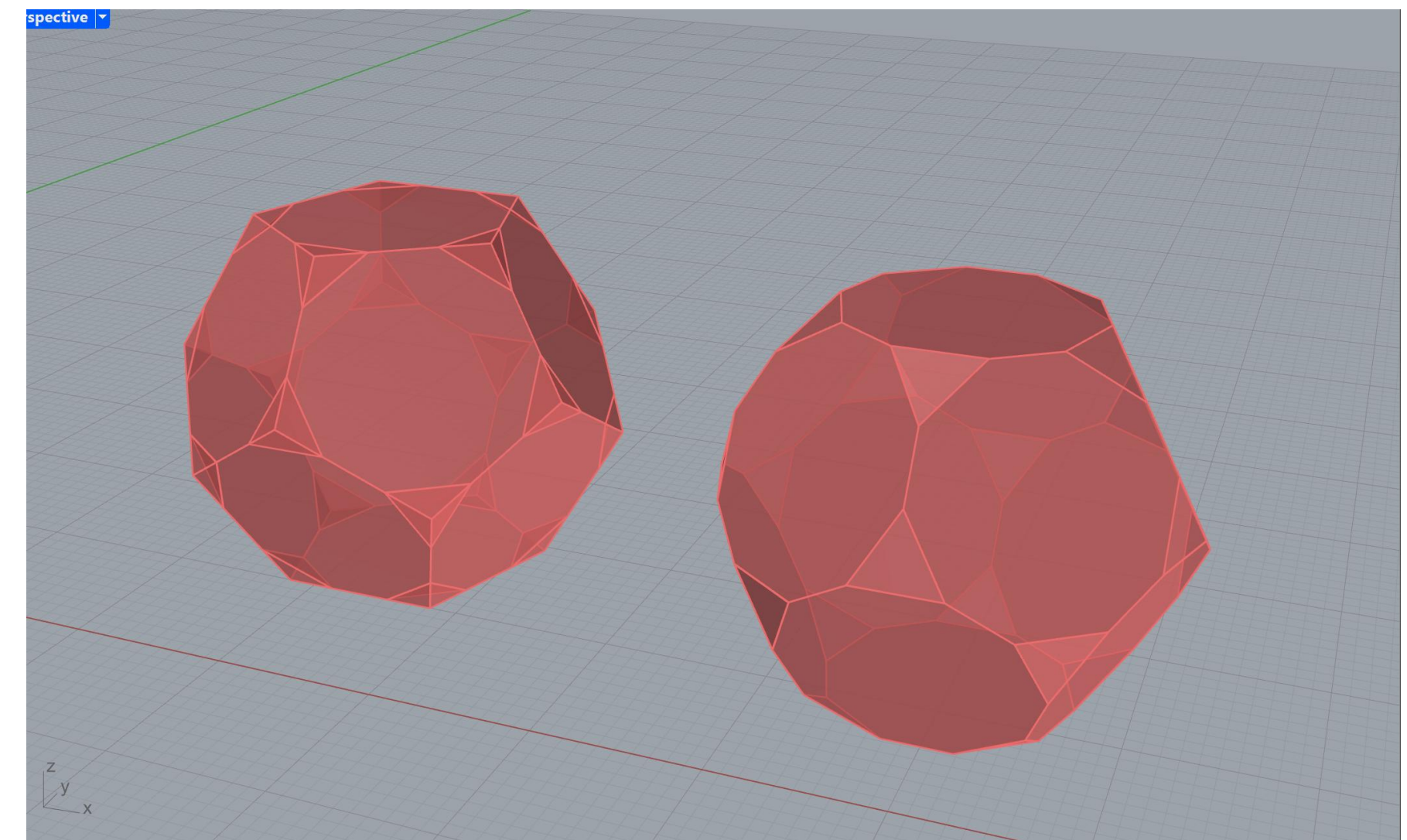
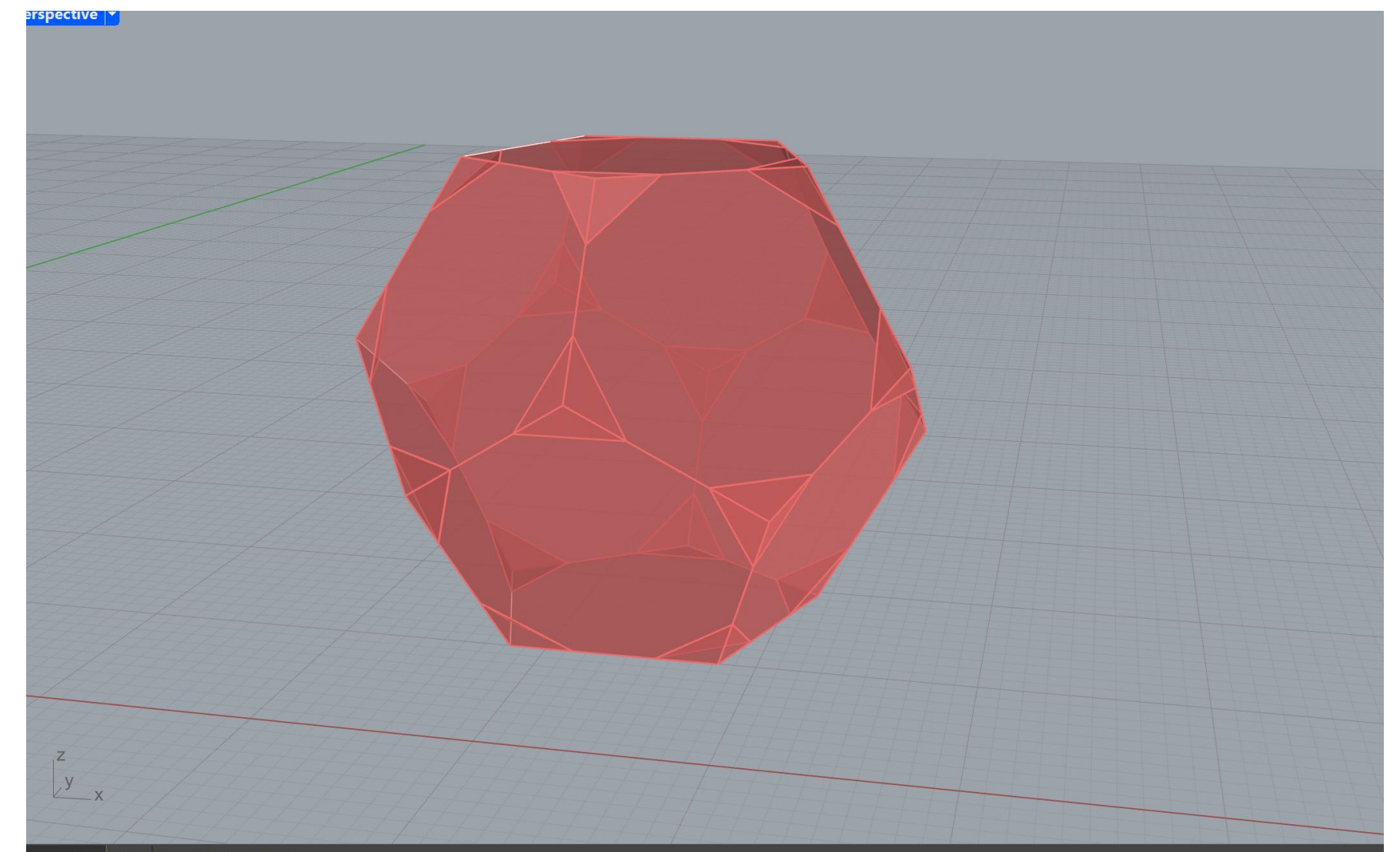


Após ter criado o padrão de triângulos, utilizámos o comando WireCut. Este comando permite cortar um sólido utilizando linhas ou curvas como planos de corte.

Primeiro, seleciona-se um triângulo de cada vez. O WireCut pede inicialmente para escolher a curva que irá servir de guia e, de seguida, o objeto que será cortado.

Este passo só funciona corretamente se o sólido estiver bem construído e unido. Caso o corte esteja a ser feito para dentro do sólido, é provável que algumas faces estejam mal orientadas ou posicionadas. Se tudo estiver correto, basta arrastar o triângulo para fora do sólido para definir a direção do corte e repetir o processo para todos os triângulos.

No final, o resultado será o sólido original separado nos seus cantos. Depois disso, basta copiar o que restou do core para continuar o processo.



Depois de fazer todos os cortes com o WireCut, o sólido original ficou dividido em novas faces. No resultado final formaram-se faces triangulares e hexagonais, que surgem a partir dos cortes feitos nas arestas do sólido. Estas faces passam a definir a nova geometria que será usada no para o DUal.

O passo a seguir seria colocar pontos no centro de todas as faces, porque esses pontos são necessários para construir o dual do sólido. Para isso é só necessário no Osnap desligar as outras opções e só deixar ligado os centros.

O Rhino não está a dar erro nesta parte. Quando tento colocar o ponto no centro das faces hexagonais, o ponto não ficava exatamente no meio, fica sempre ligeiramente para a direita, sem ser nas faces de cima e de baixo do sólido.

Este problema também não acontece nas faces triangulares, por isso provavelmente deve ter havido um erro na construção do sólido original.

O problema foi resolvido começando de novo num ficheiro diferente (sem solução).

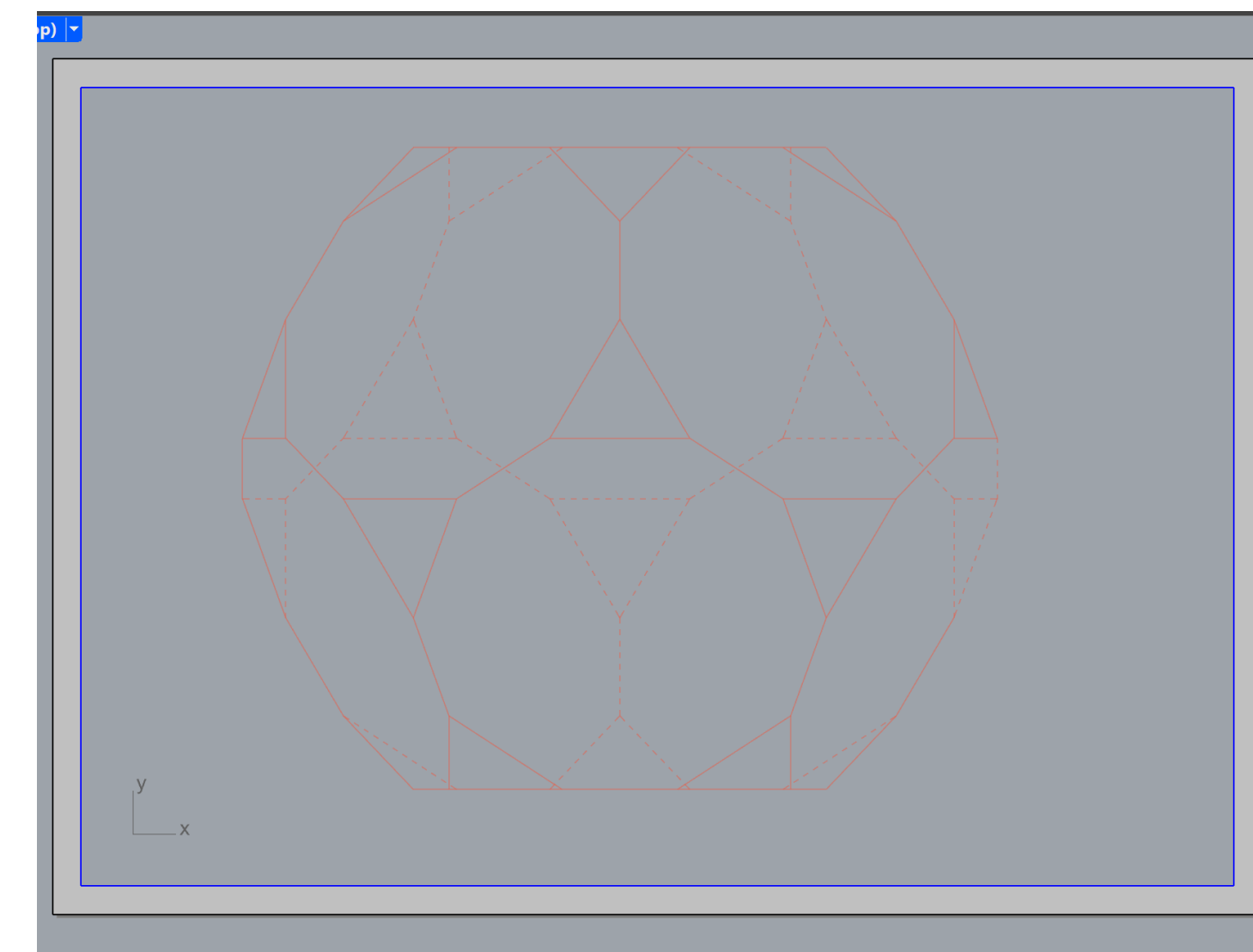
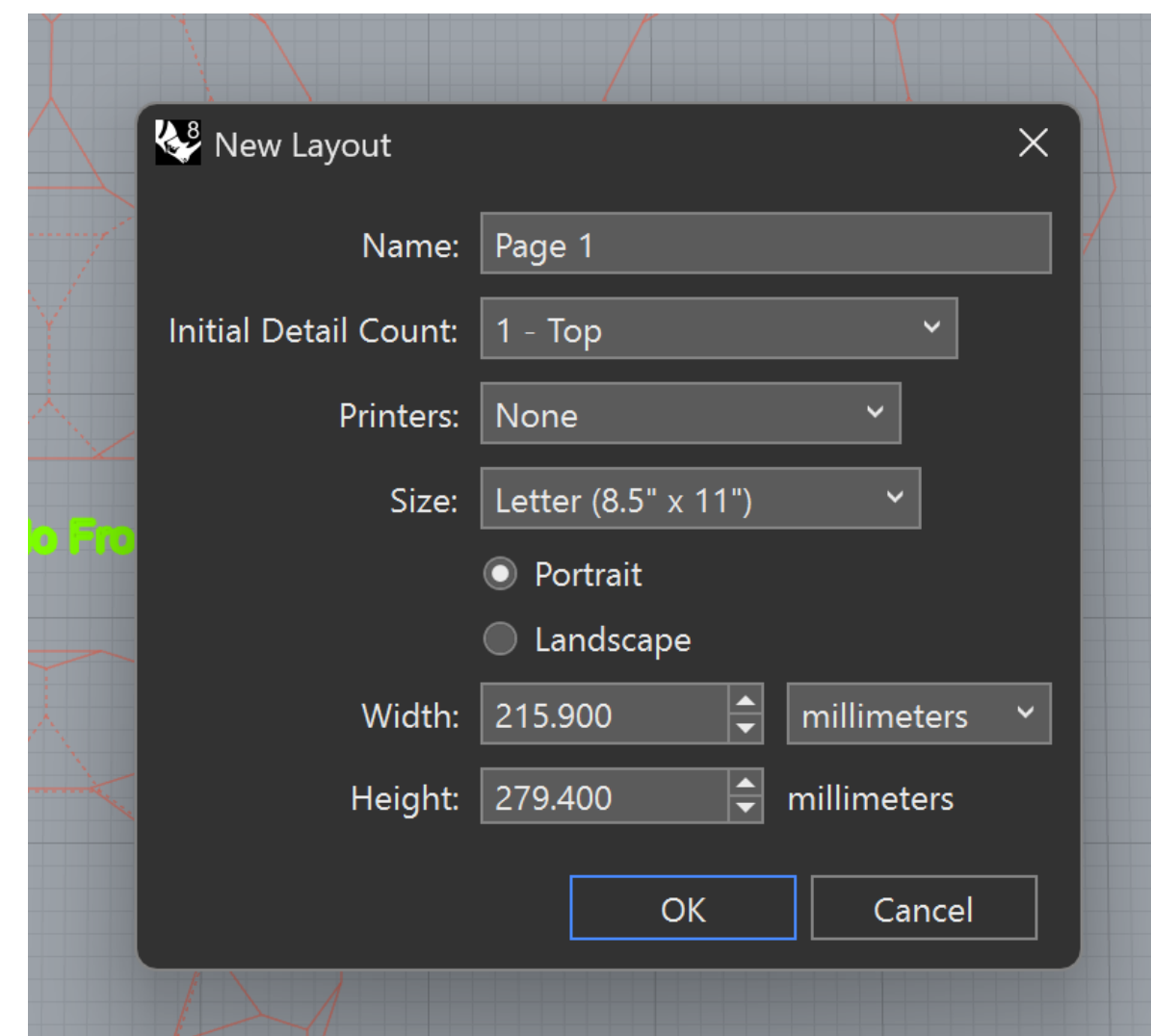
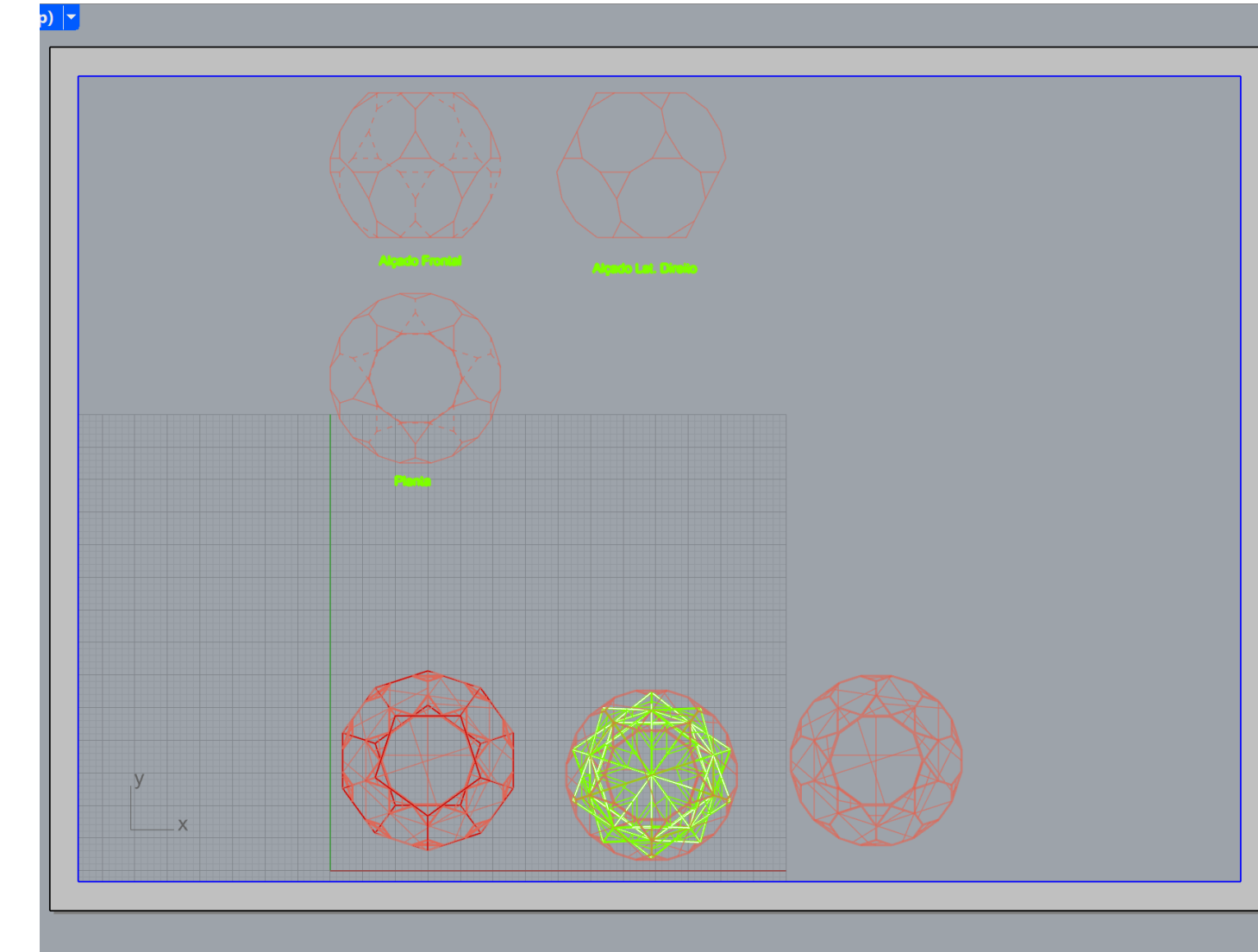
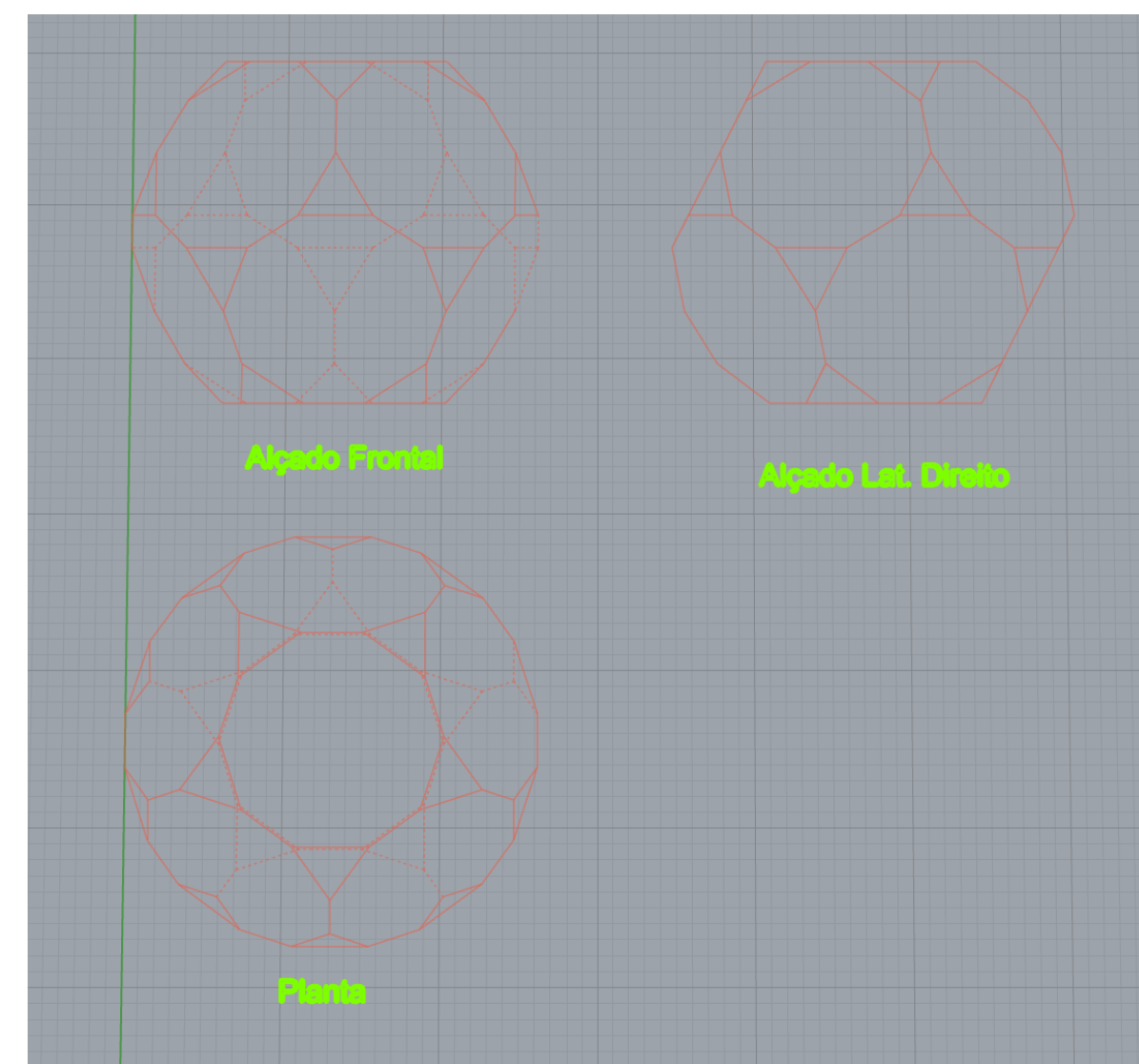
Layout do Rhino

Para ver as projeções do sólido utilizamos o comando Make2D. Primeiro é necessário selecionar o objeto e, em seguida, aparece uma janela com várias opções. Nessa janela escolher First Angle Projection para definir o tipo de projeção.

Depois de confirmar, o Rhino cria automaticamente as diferentes vistas do objeto. Neste caso aparecem a planta, a vista lateral direita, a vista frontal e também uma perspectiva (que não era necessária, porque já estávamos a trabalhar com o sólido em perspectiva).

As vistas incluem também as hidden lines, ou seja, as linhas que representam as partes do objeto que não estão visíveis diretamente.

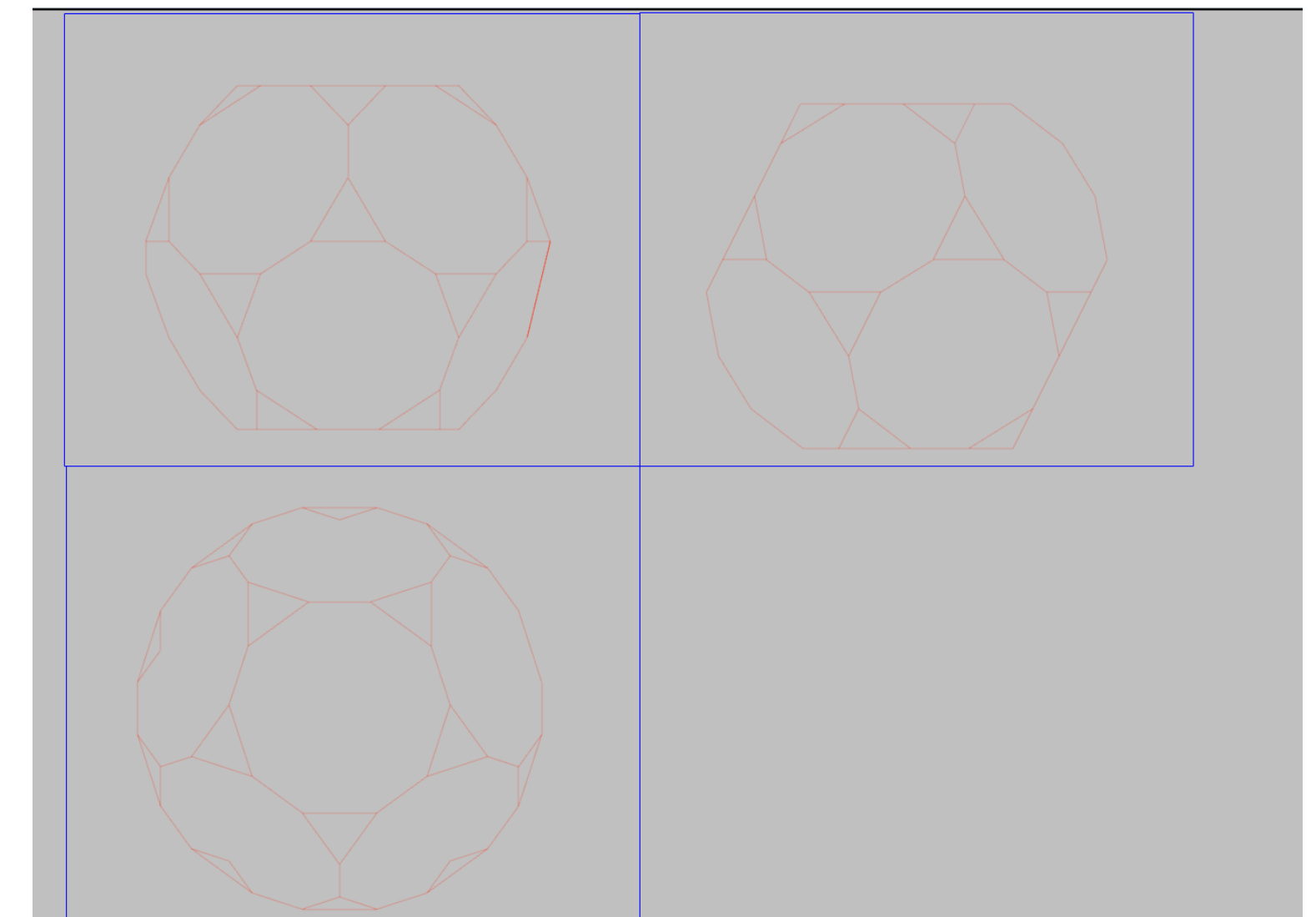
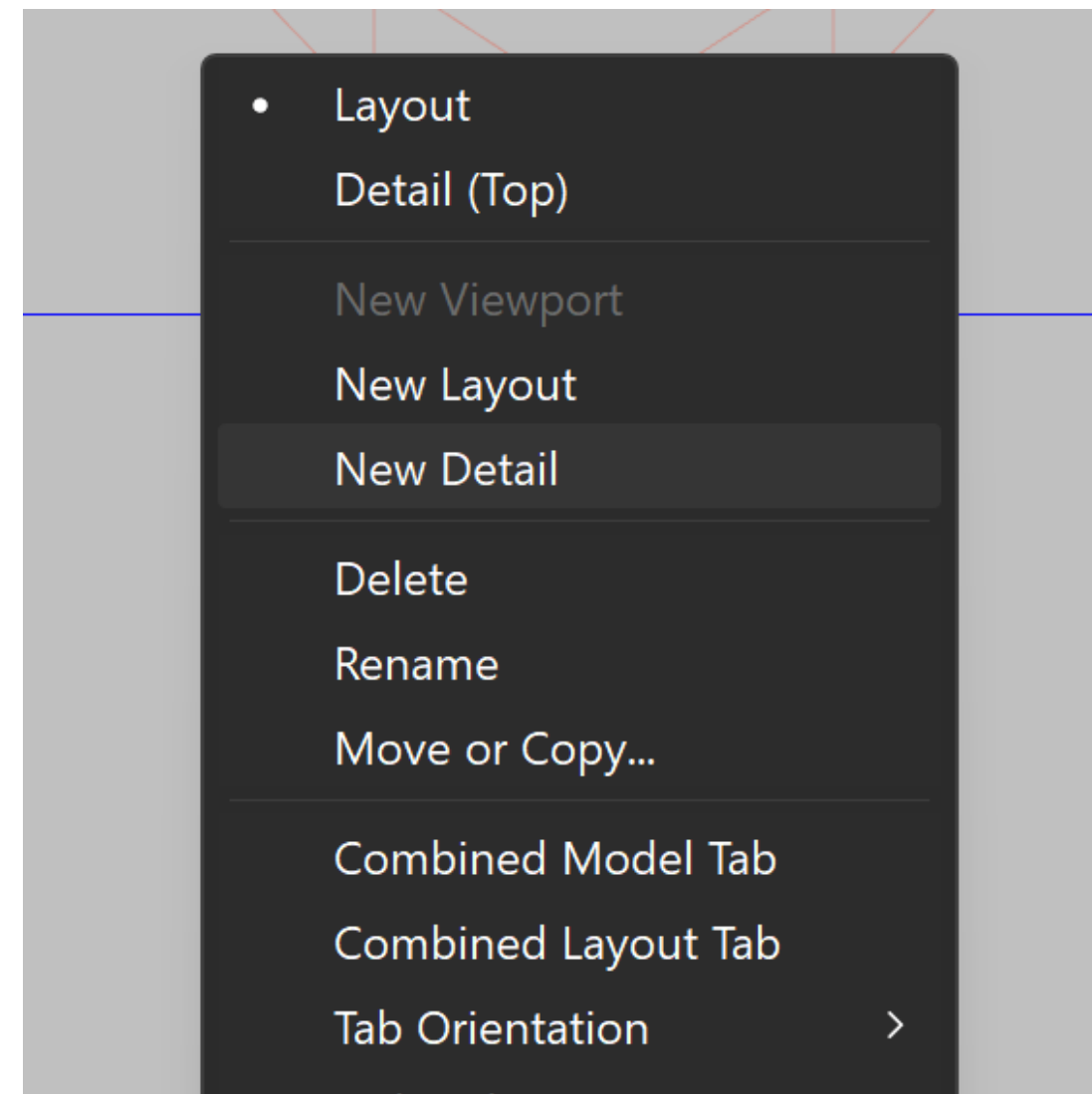
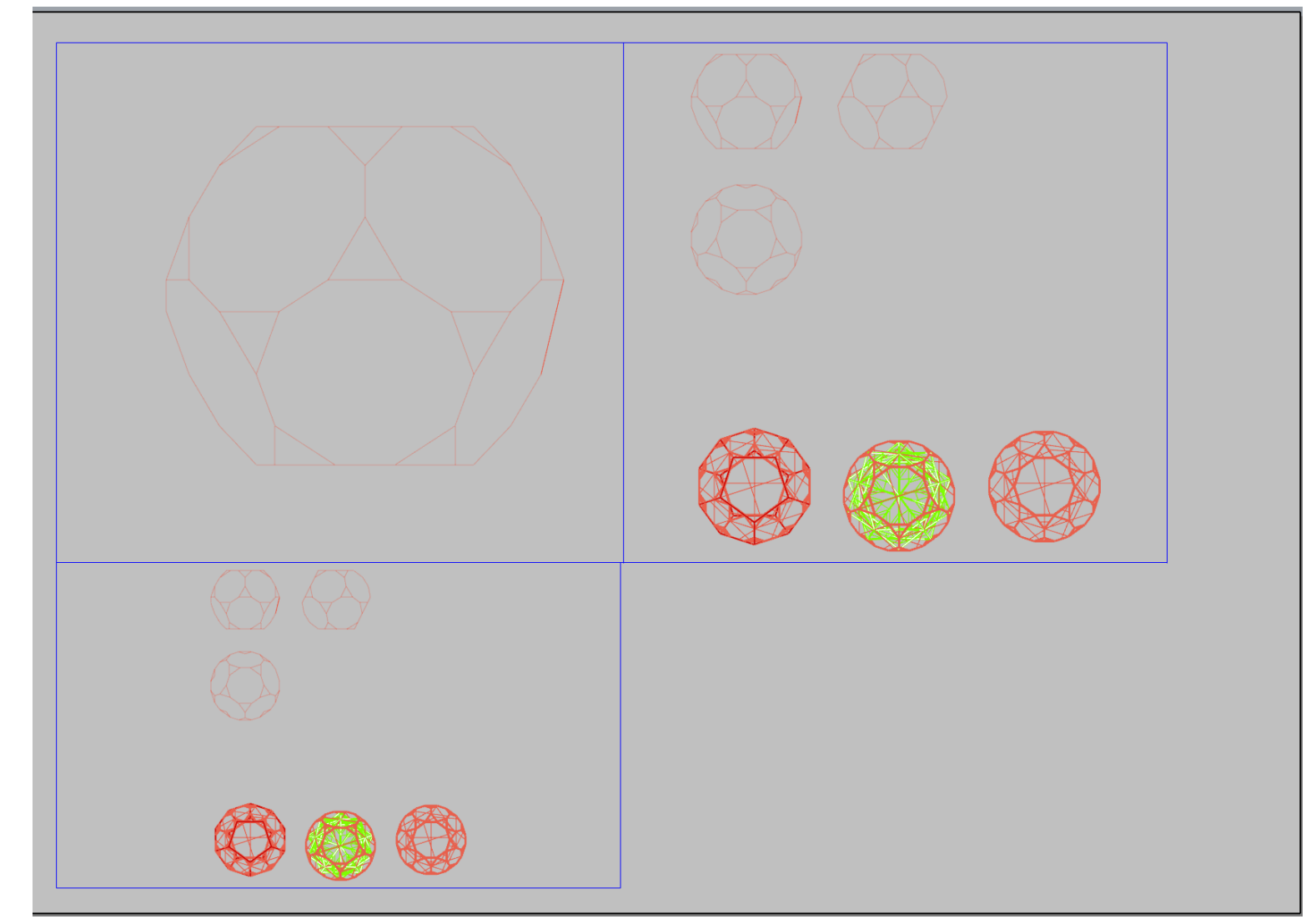
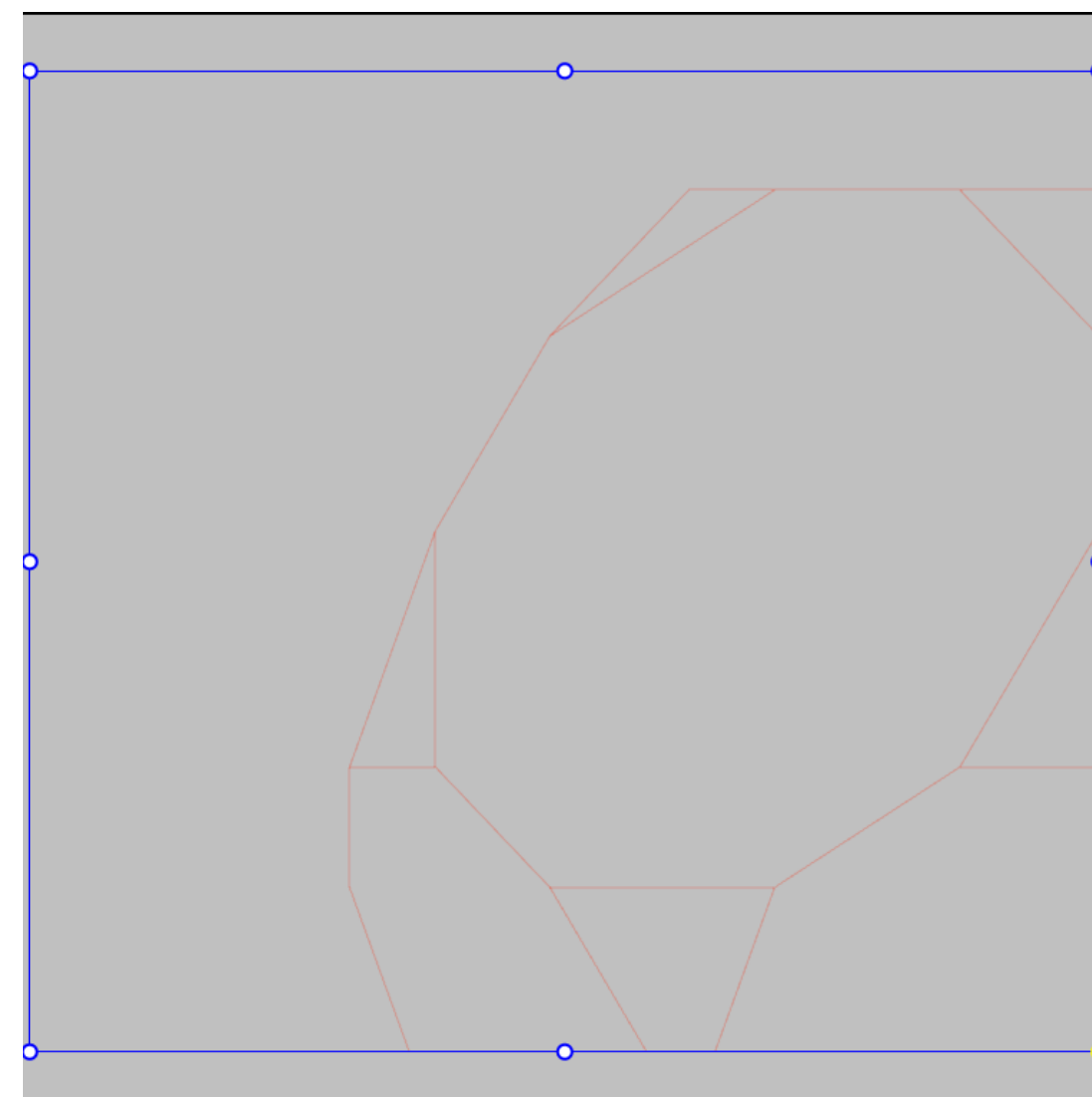
Estas linhas podem ser desligadas nos layers, uma vez que o Rhino cria automaticamente esses layers após a execução do comando.



Quando no AutoCAD se usava o comando Mview para criar uma nova janela, no Rhino chama-se New Detail. Pode-se criar a janela clicando com o botão direito em cima da palavra Folha.

Para aumentar o tamanho da janela, é necessário clicar numa das “bolas” da moldura; se não clicar nas bolas, o que acontece é que a janela se move toda. Para garantir que as vistas estão alinhadas, basta sobrepor duas delas e arrastar usando o Ortho para manter o alinhamento.

Para alterar a escala: no AutoCAD usava-se, por exemplo, zoom scale 10xp. Aqui, a escala relaciona as medidas do módulo com as medidas reais — por exemplo, se uma unidade no modelo representa 1 milímetro, e no mundo real é 1 centímetro, então a escala será 1:10.

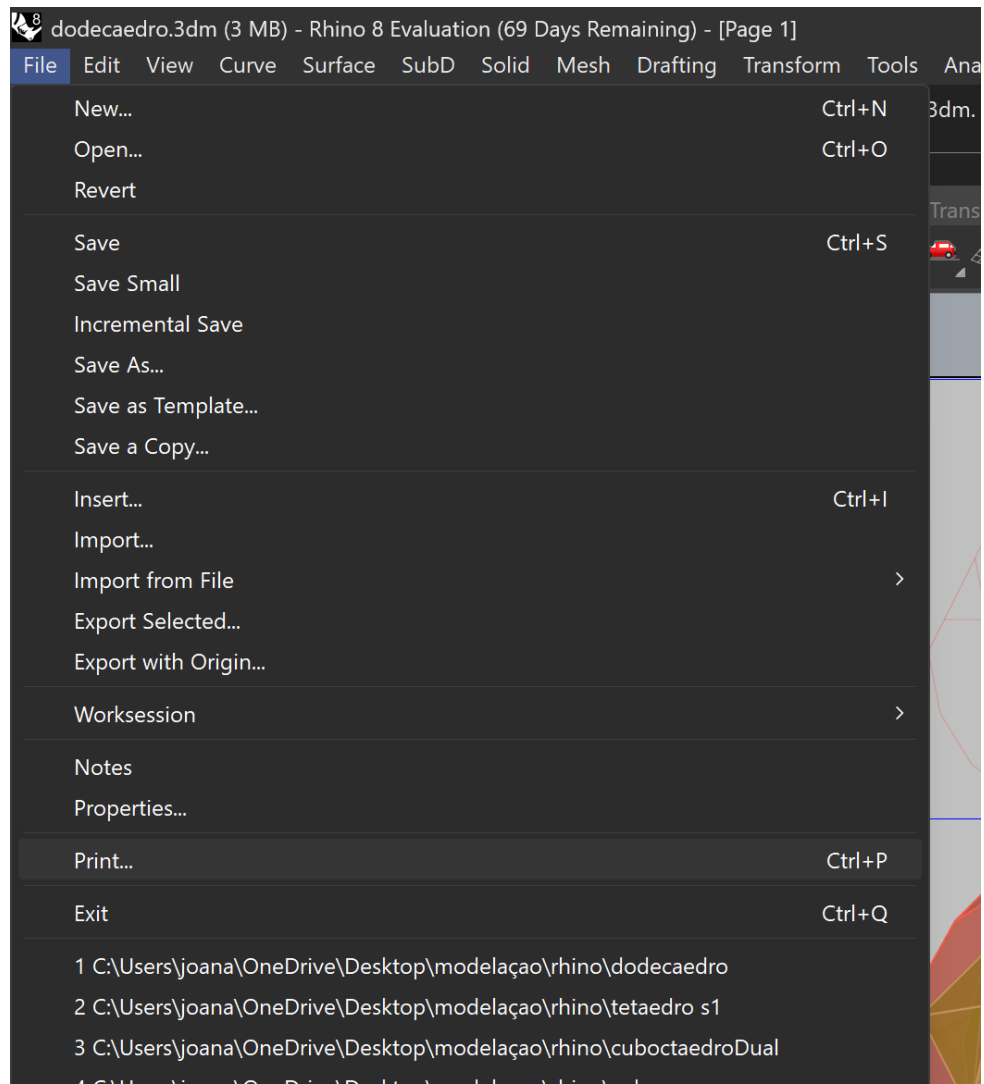
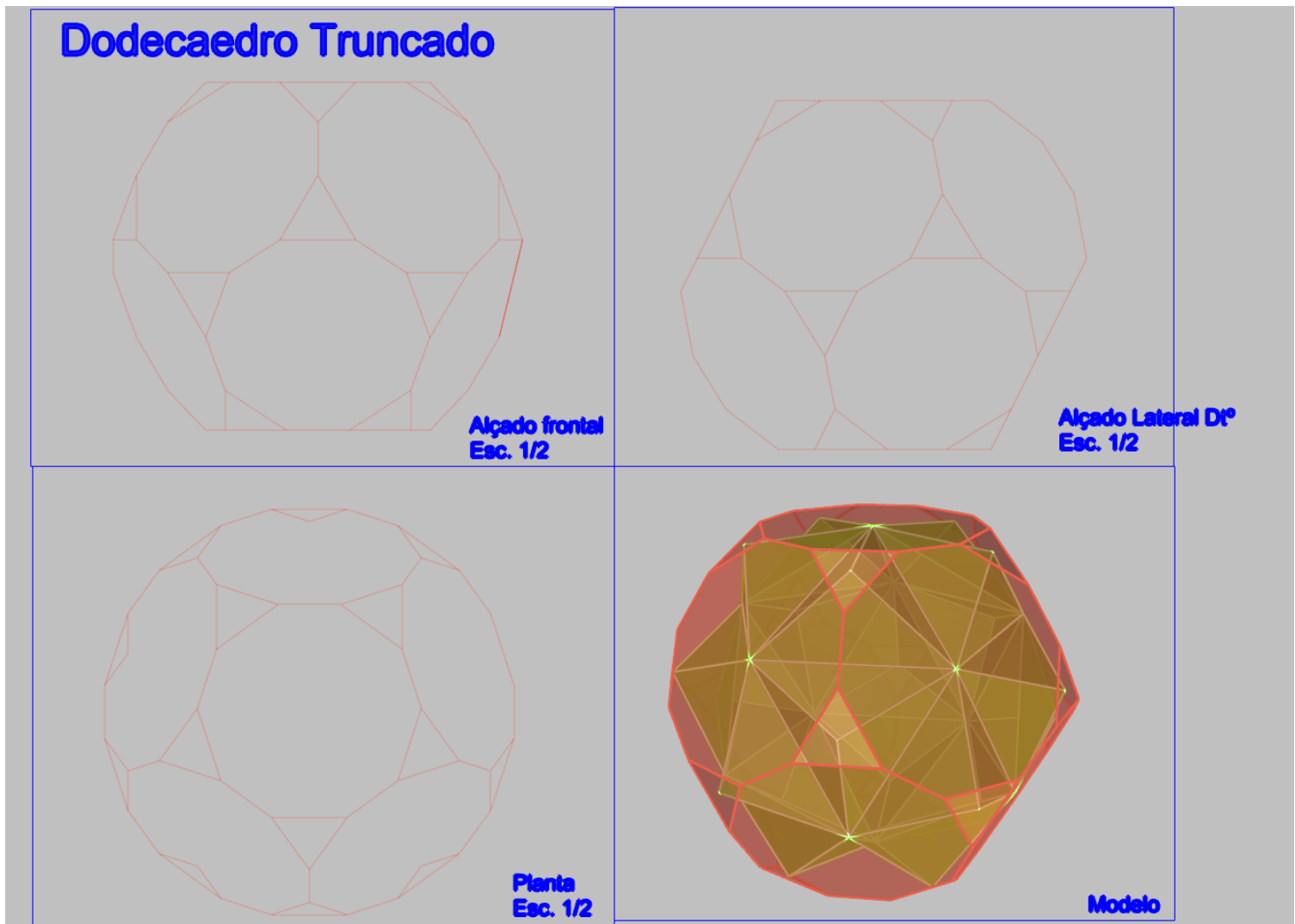
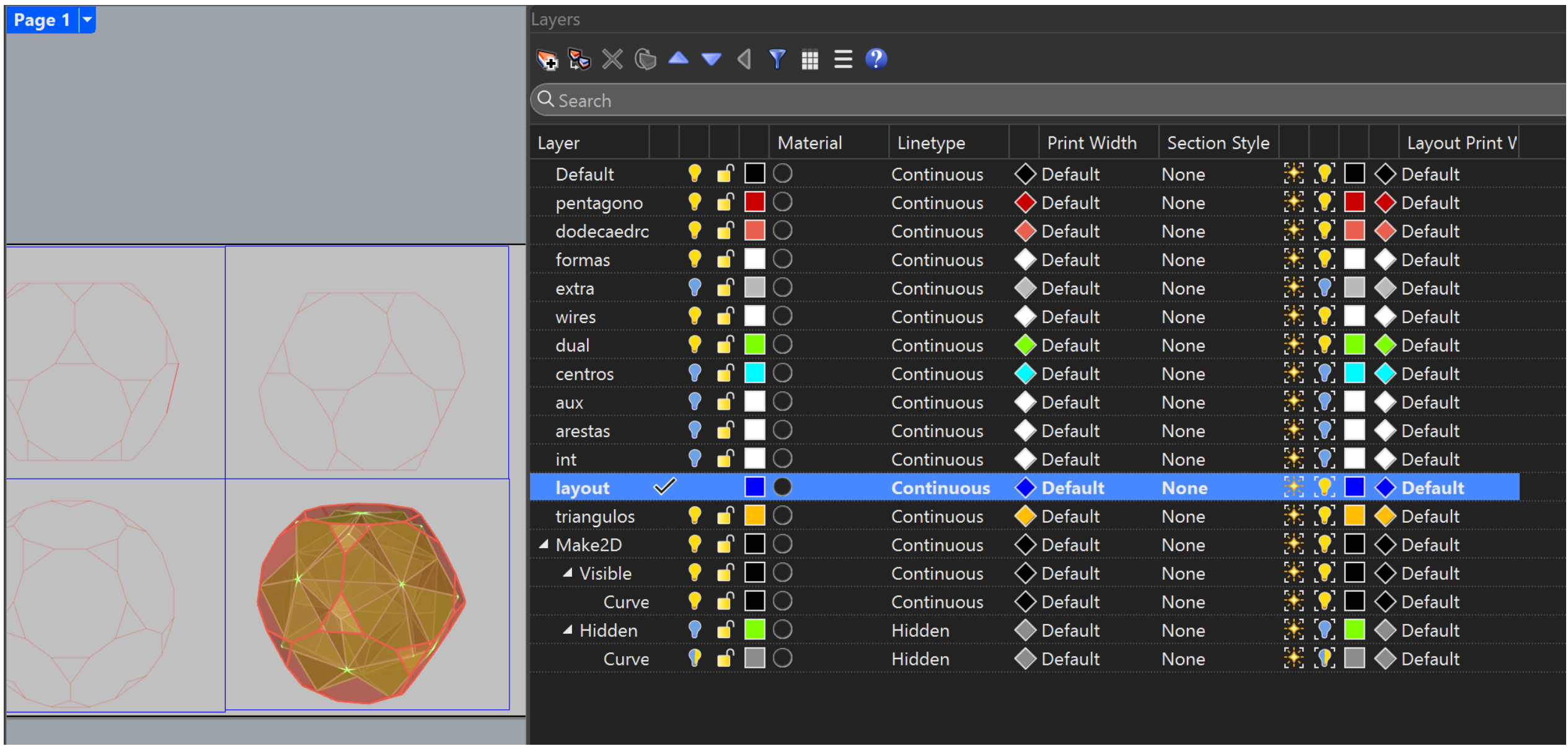


Se o texto for colocado no modelo, quando a escala for alterada no layout, o tamanho fica desproporcional. Por isso, é melhor meter o texto diretamente no layout, para que a sua dimensão seja.

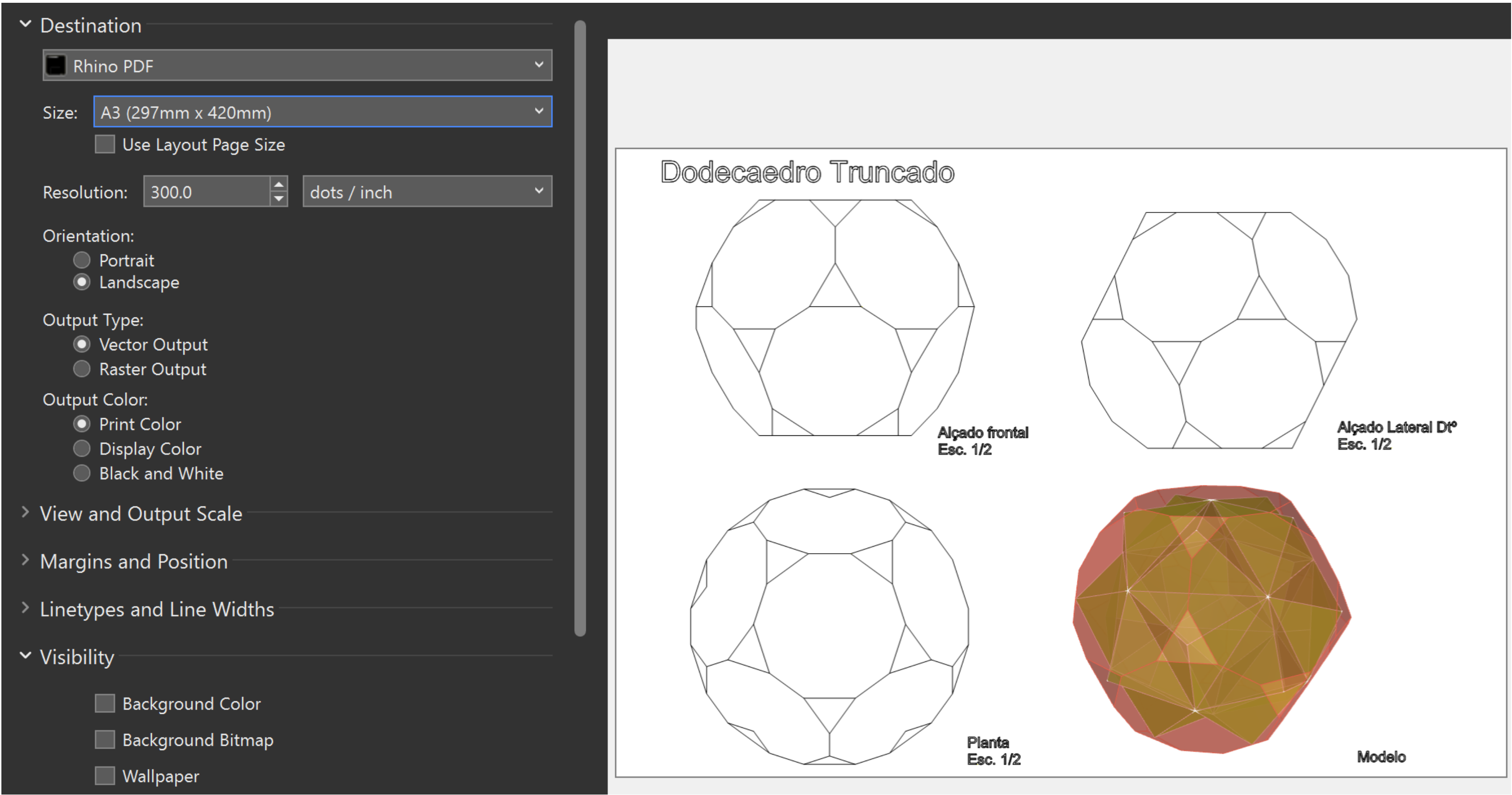
Para imprimir ou guardar em PDF, acede-se a File → Print.

Em vez de utilizar “canetas” como no AutoCAD, podemos

ajustar as definições na secção dos layers, à esquerda, ao lado do Print Width. No final das tabelas de layers, é pode-se desligar layers só no layout, sem afetar o modelo, e comparar o Display Color com a cor final de impressão, para ver a diferença entre o que se vê no ecrã e o que será impresso.



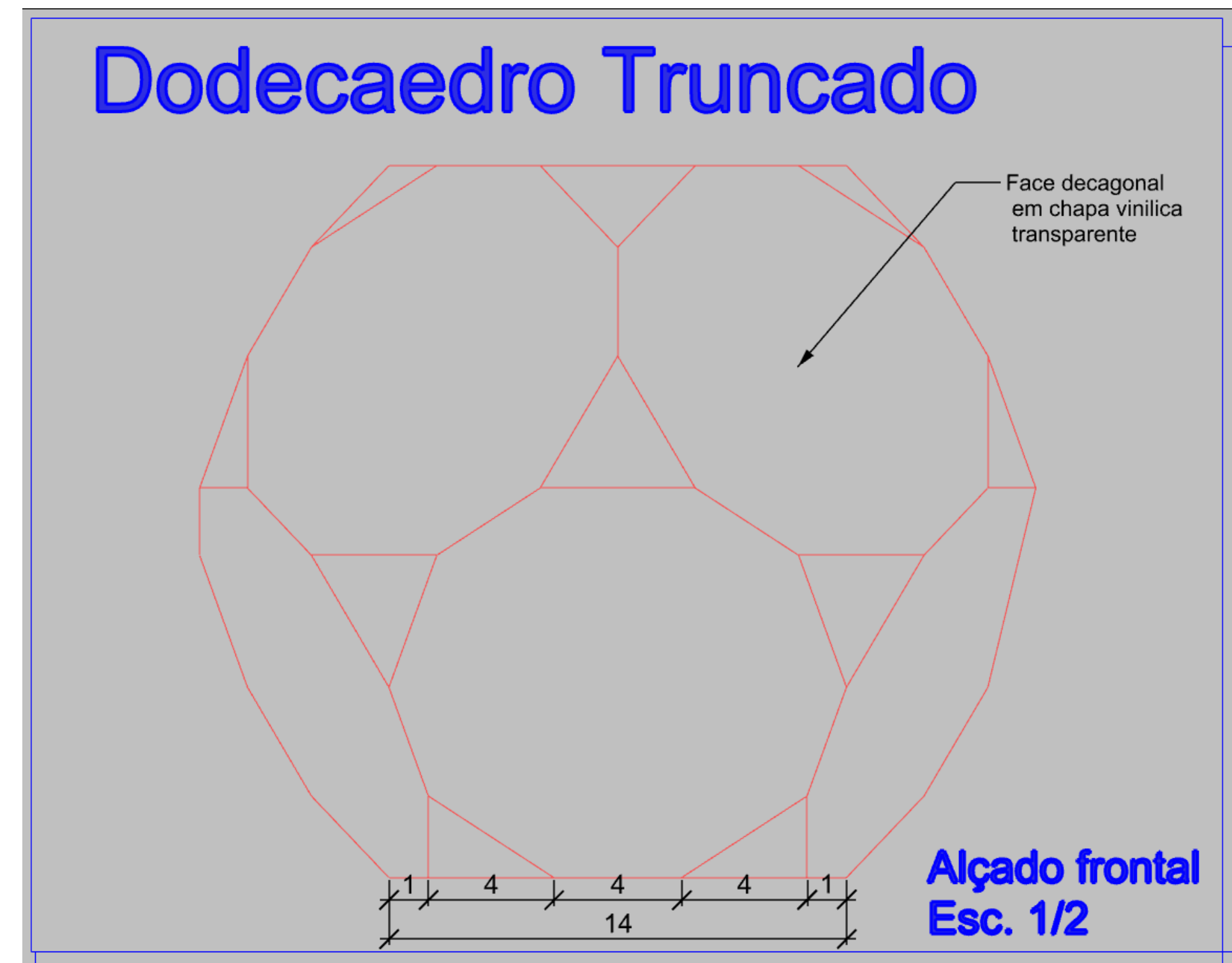
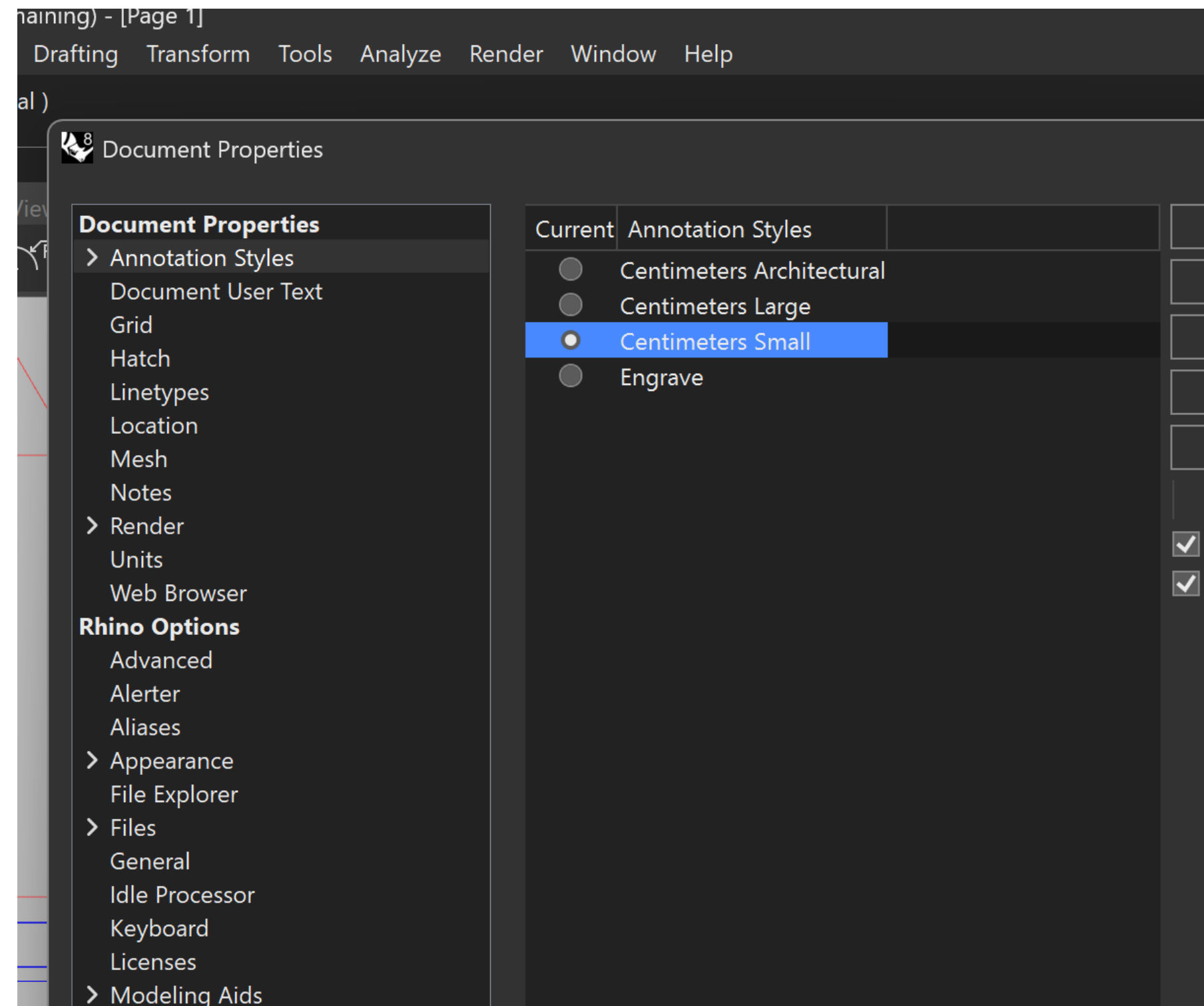
No final, deve-se escolher o tamanho do papel necessário para caber tudo; neste caso, A3 em modo landscape. Pode-se alterar a largura das linhas nas layers e confirmar que todos os elementos estão a preto ou cinzento escuro, exceto a perspectiva, que deve manter a cor original. Depois, basta proceder à impressão e guardar o ficheiro.



Para ajustar a apresentação das medições no layout do Rhino, ir a File > Properties > Annotations e alterámos o annotation style para centimeters small.

Nesta secção é possível controlar como as anotações das medidas aparecem. Por exemplo, em vez de setas normais, podemos usar ticks nas extremidades, para ser mais limpo.

Também se pode prolongar ligeiramente as linhas horizontais das cotas, para ter um ar mais arquitetônico.



Abóbadas

Abóbada

“construção curvilínea, arqueada e de superfície côncava cuja projecção num determinado espaço baseia-se na rotação de um tipo de arco, no seu deslocamento ao longo de um eixo.”

Tipos de Abóbadas:

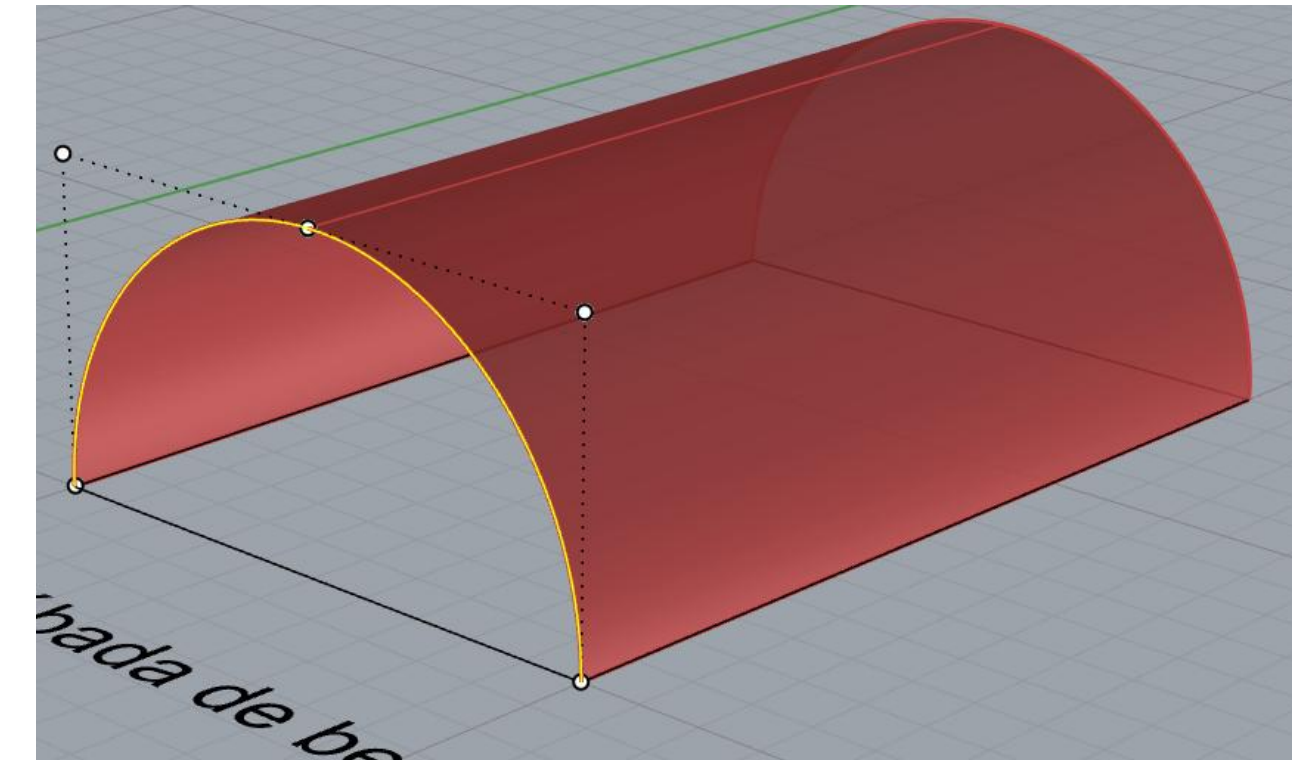
1. de Berço (também conhecida como abóbada de canhão)

2. Abatida

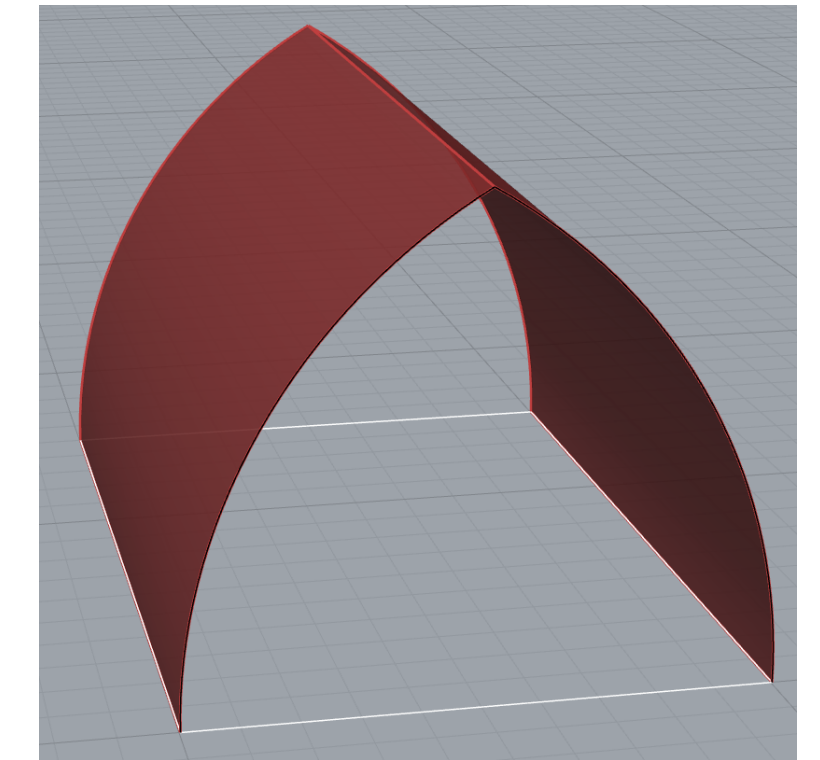
3. Ogival

4. De cisterna

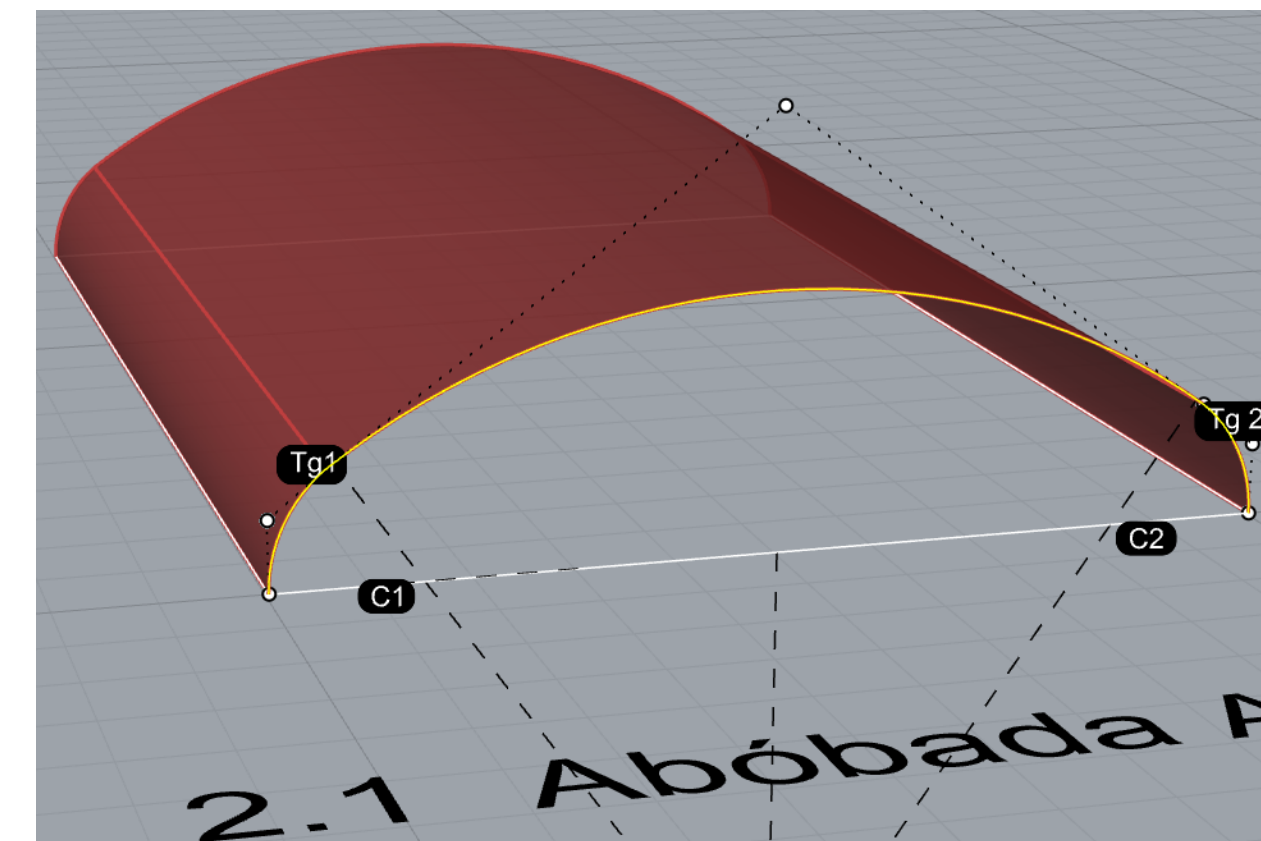
lunetas abóbadas



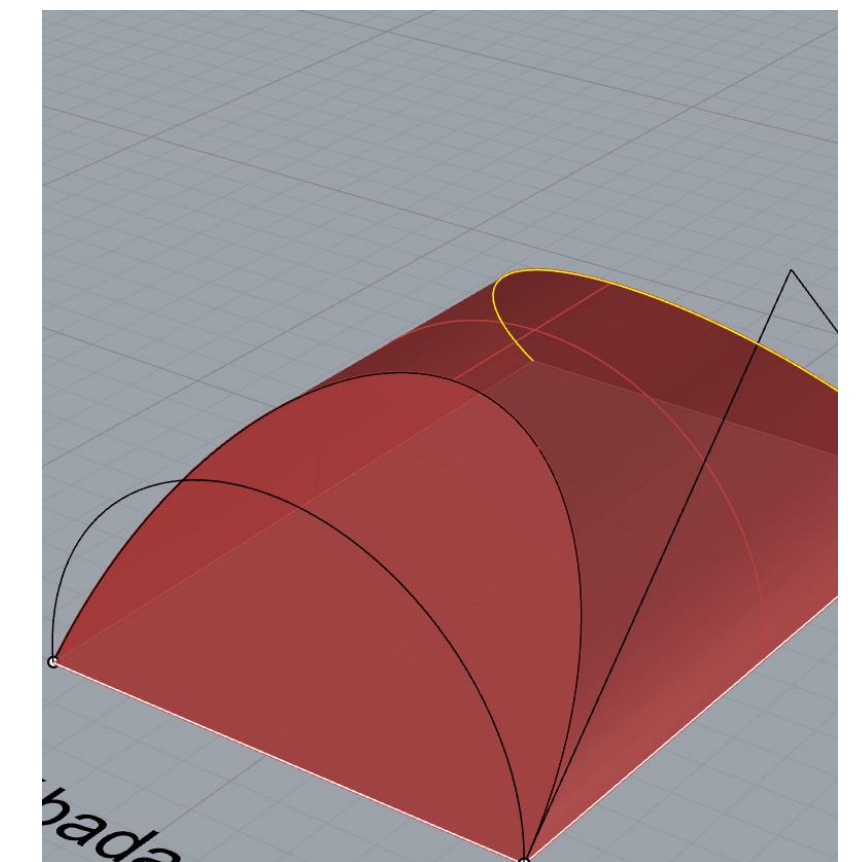
1. Abóbada de berço



3. Abóbada Ogival



2. Abóbada Abatida



4. Abóbada de cisterna

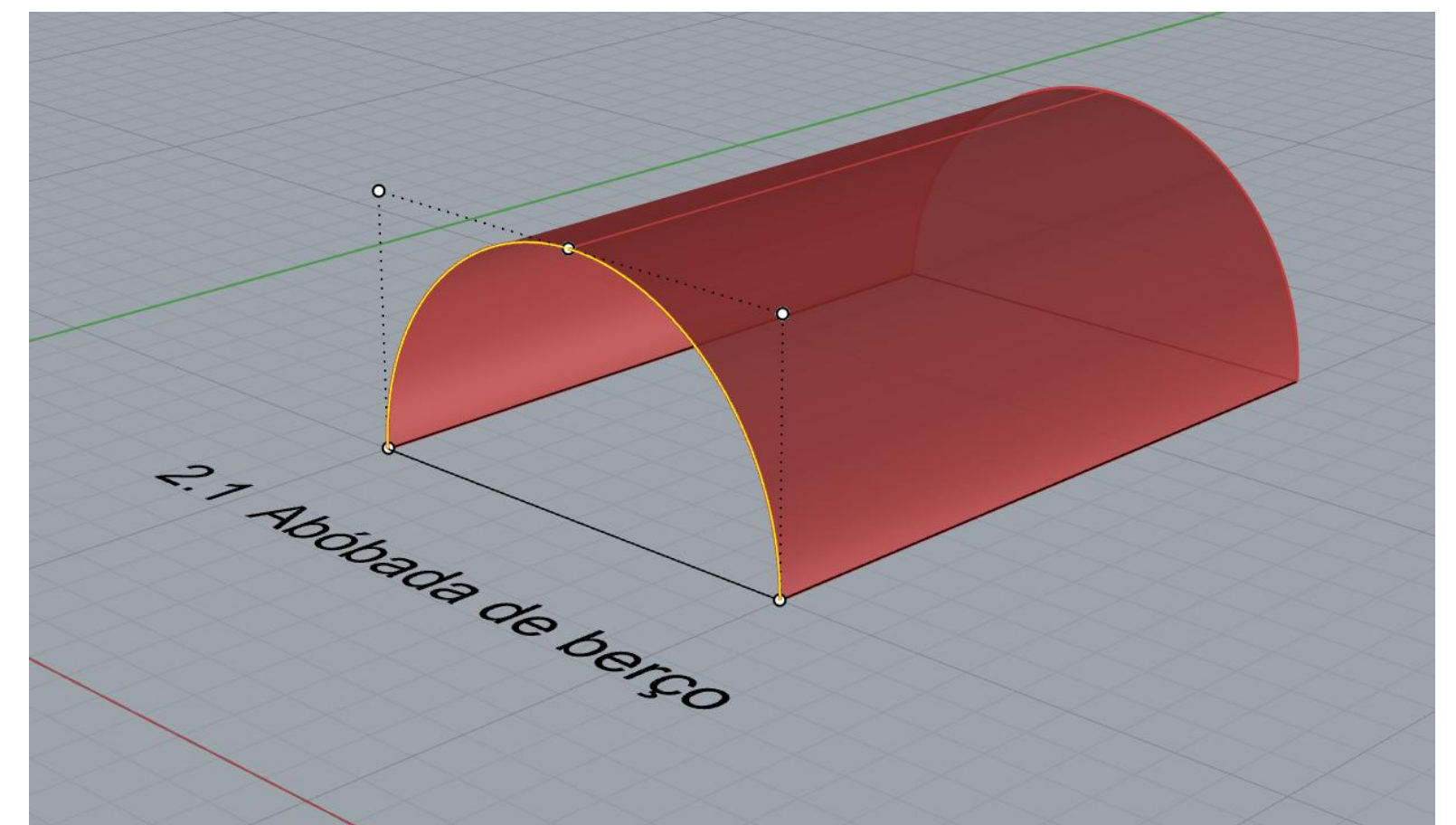
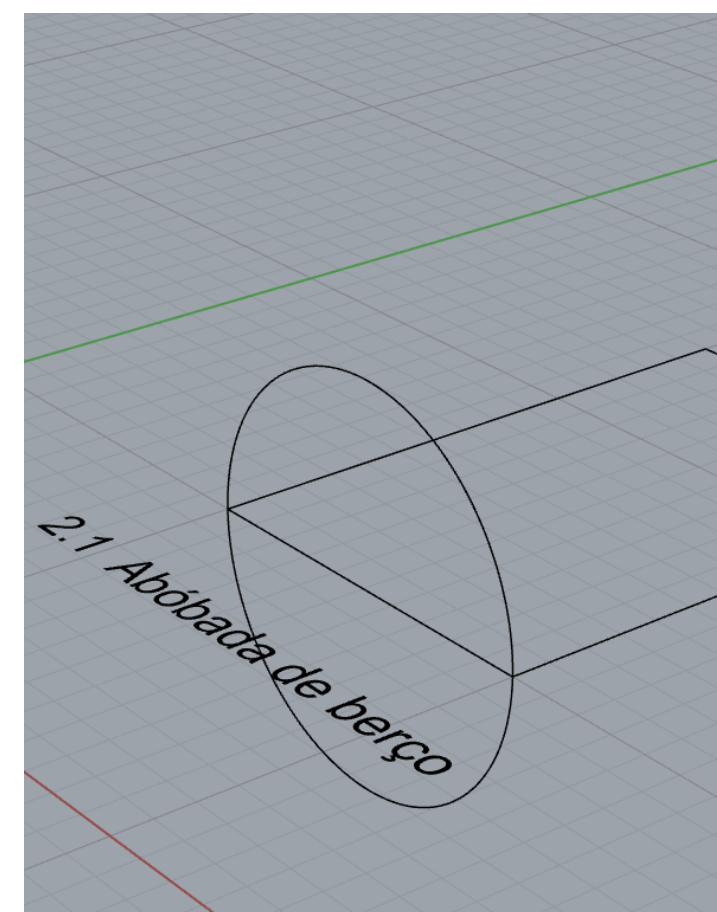
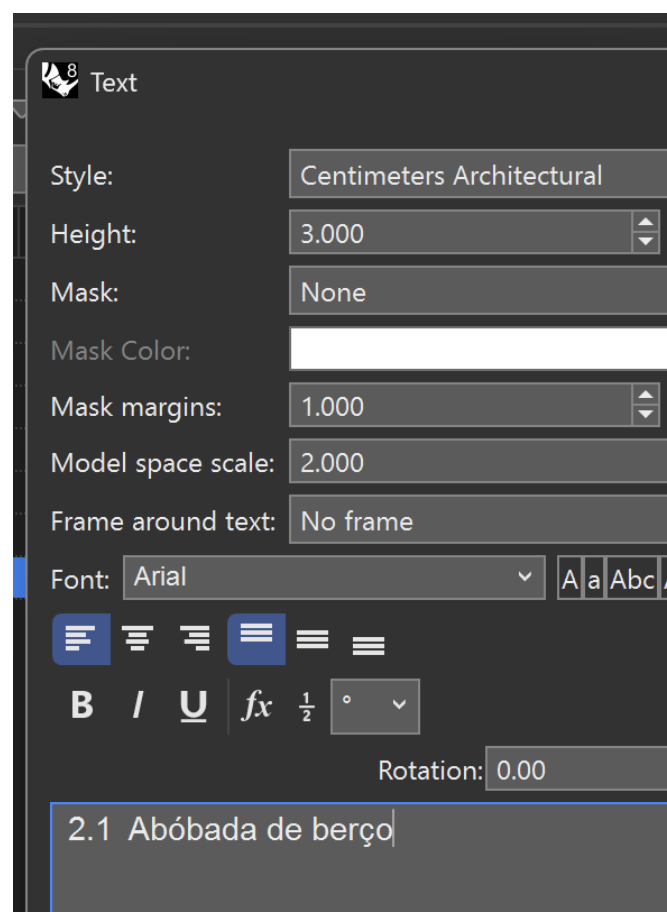
Abóbada de berço

Para construir uma abóbada de berço, começamos por criar uma base retangular. O retângulo tem 10 por 15 unidades de comprimento.

De seguida, desenha-se uma circunferência vertical auxiliar de um vértice ao outro vértice da aresta inferior (utilizar a opção de circunferência a partir de dois pontos).

Para finalizar a forma da abóbada, usa-se o Trim. Seleciona-se primeiro o retângulo e, de seguida, clica-se na metade inferior da circunferência que queremos eliminar.

Muda-se para a layer das abóbadas e, com o ExtrudeCrv, seleciona-se a semicircunferência e clica-se num dos pontos da aresta oposta do retângulo.



Abóbada Abatida

A abóbada abatida começa-se por se desenhar pequenas circunferências de raio 3 em cada extremidade da aresta inferior do retângulo.

De seguida, traça-se uma linha vertical para baixo, com comprimento 5, a partir do ponto médio dessa aresta (na layer auxiliar 2).

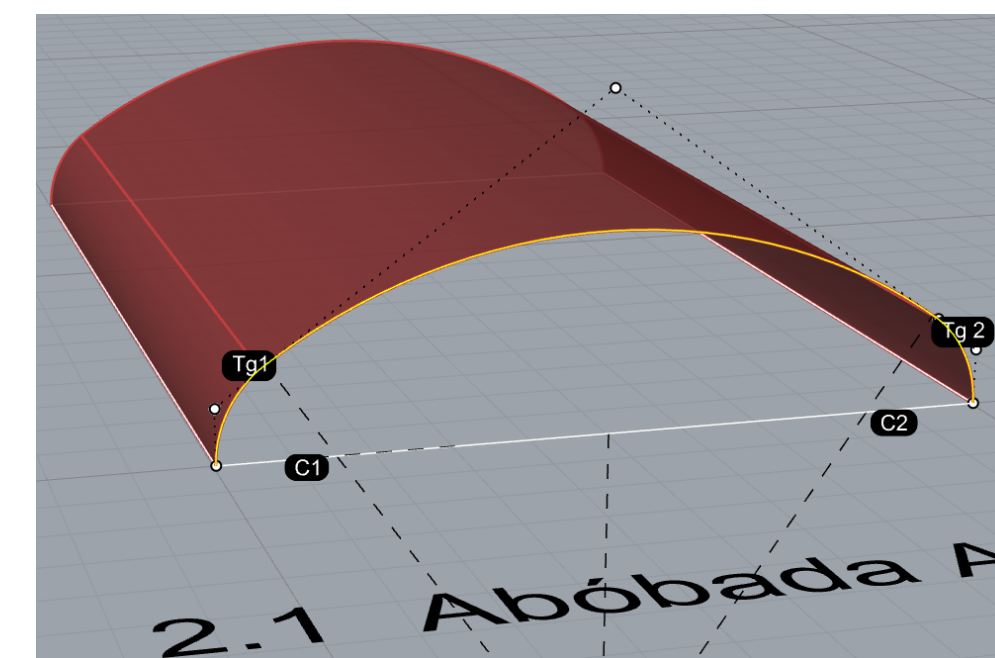
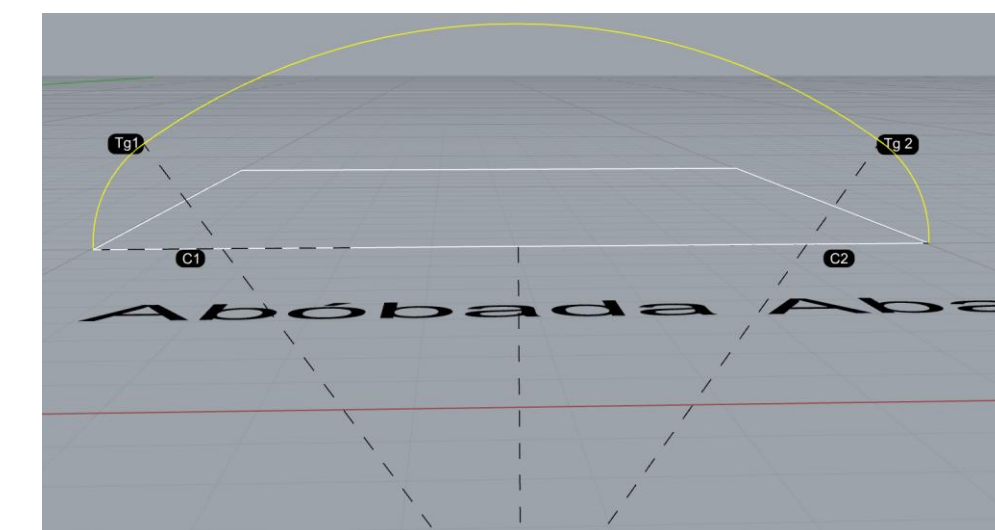
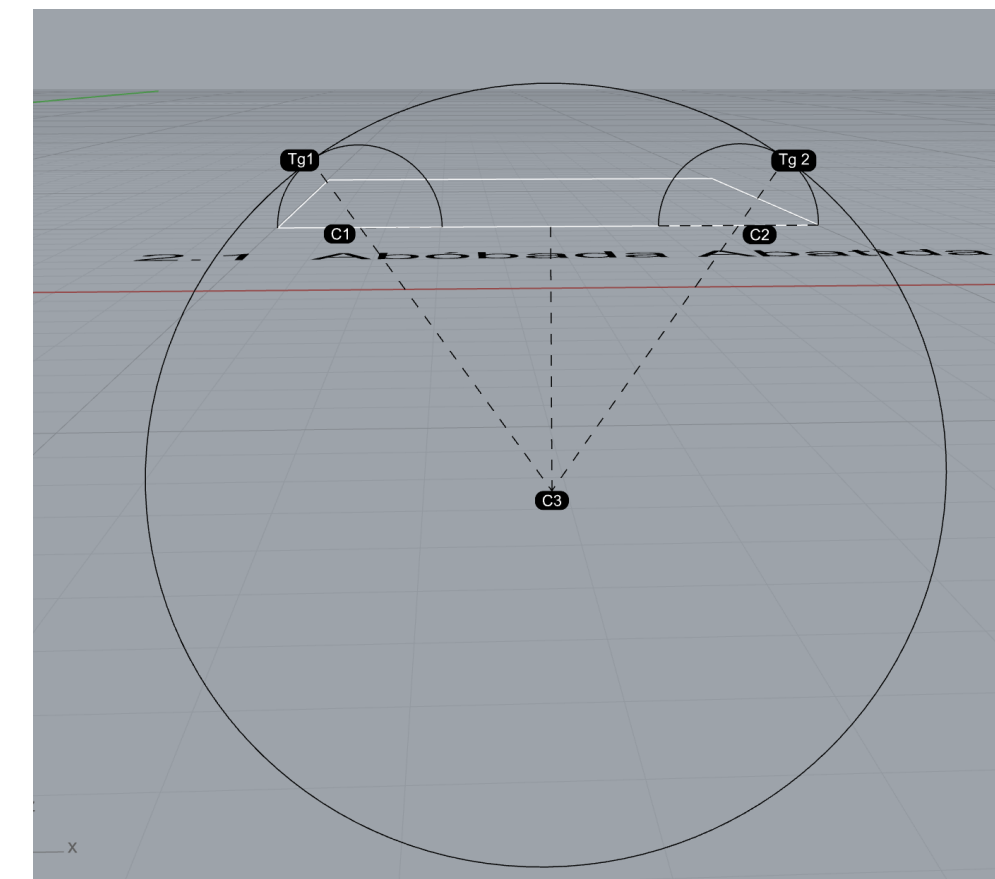
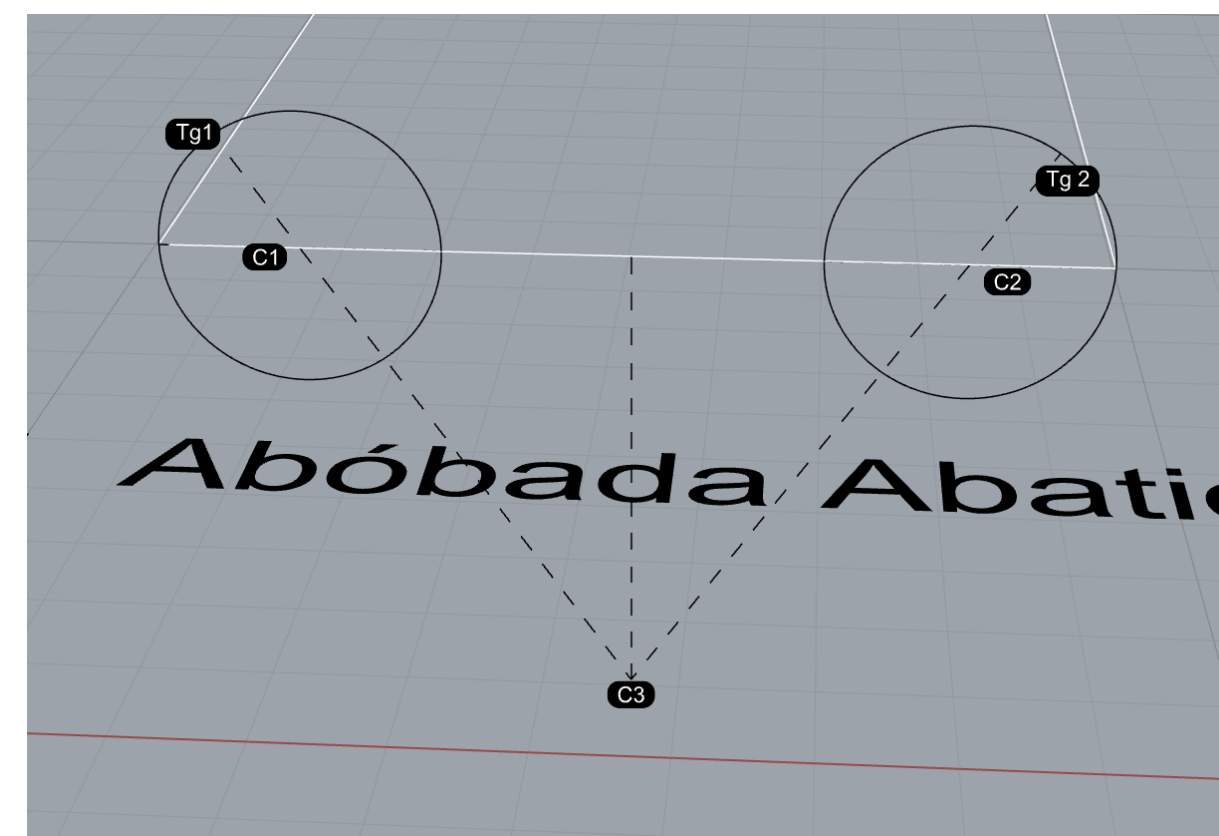
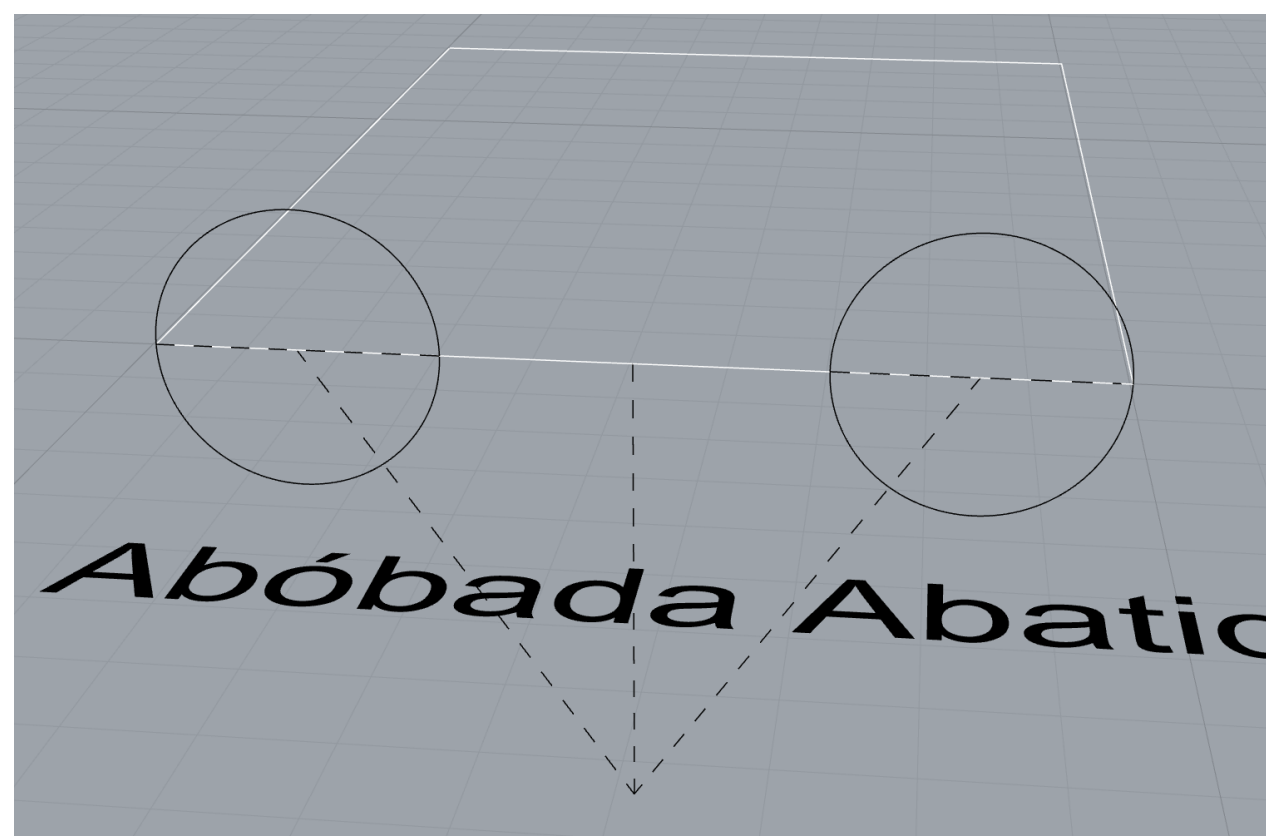
Depois, ligam-se os pontos centrais das pequenas circunferências ao ponto inferior da linha vertical. Estas novas linhas devem ser estendidas (Extend) até intersetarem o topo das circunferências menores.

Com base nesses pontos de interseção, desenha-se uma circunferência maior, com centro no ponto inferior da linha vertical e raio até aos pontos onde as linhas estendidas intersejam as circunferências pequenas.

A forma final resulta da conjugação dos arcos. A altura do arco chama-se flecha, sendo que, neste caso, a flecha do arco é igual ao raio.

Apagar com o trim as partes das circunferência que não são relevantes para a estrutura final.

Os pontos de tangência situam-se na transição entre a curva maior e as curvas menores, definidos pela ligação entre o centro interior e o ponto de tangência. ExtrudeCrv para terminar.



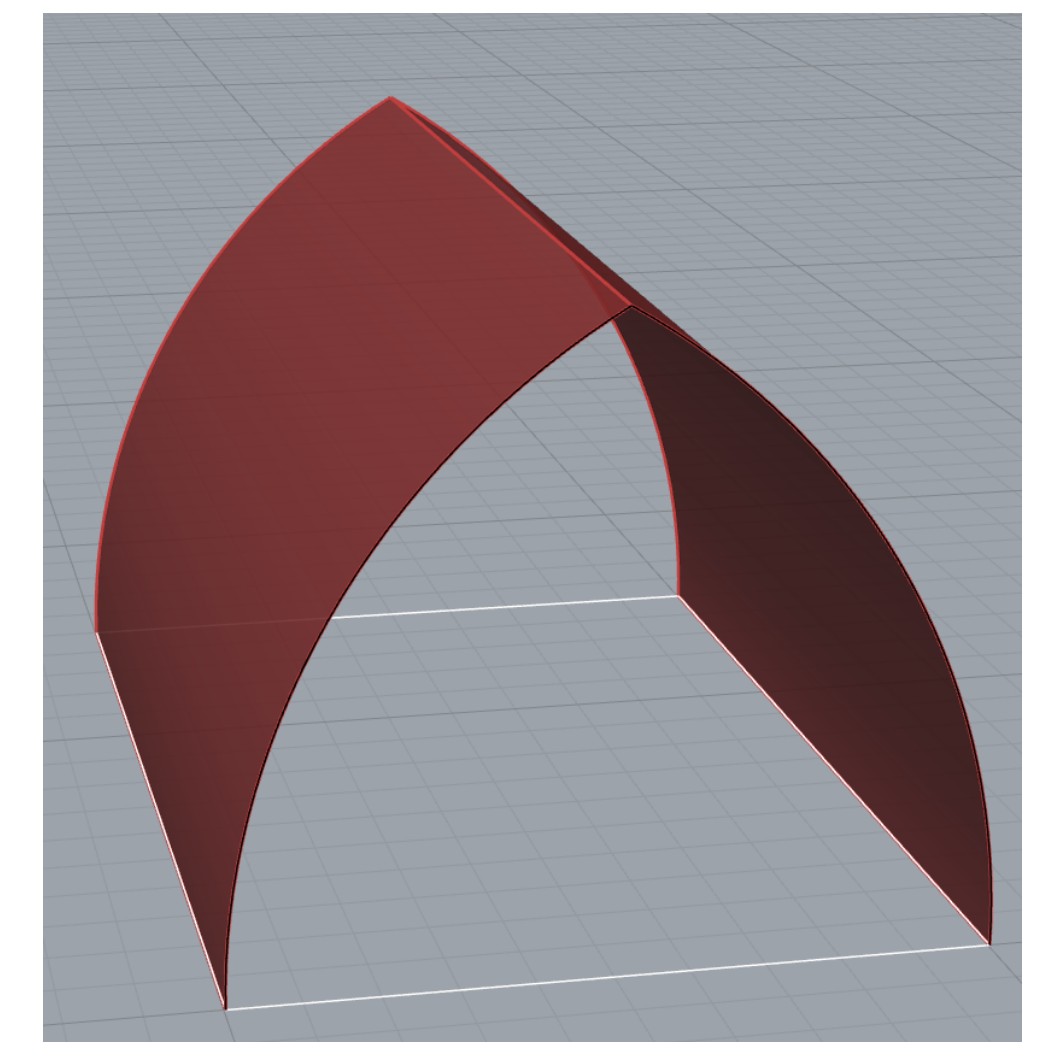
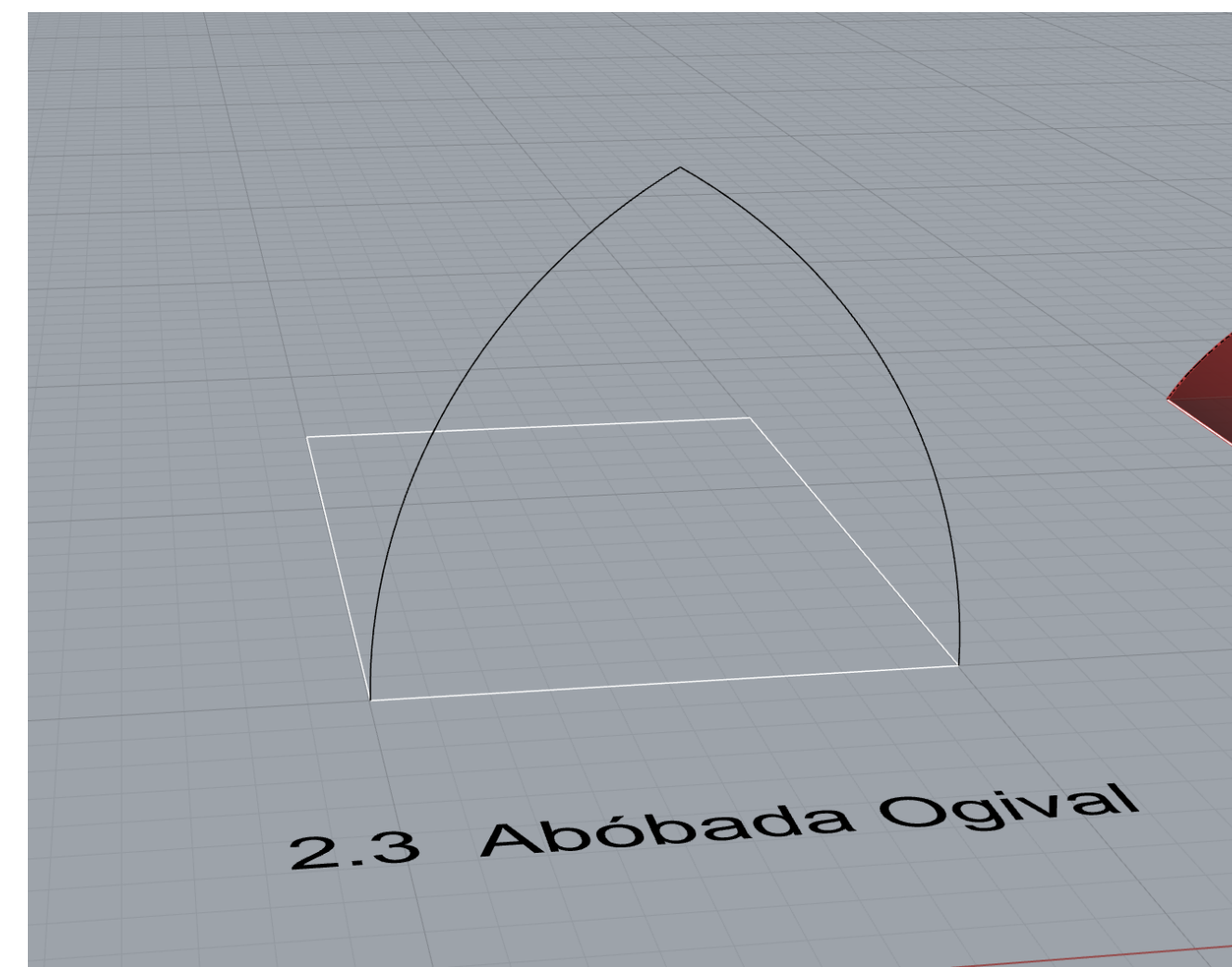
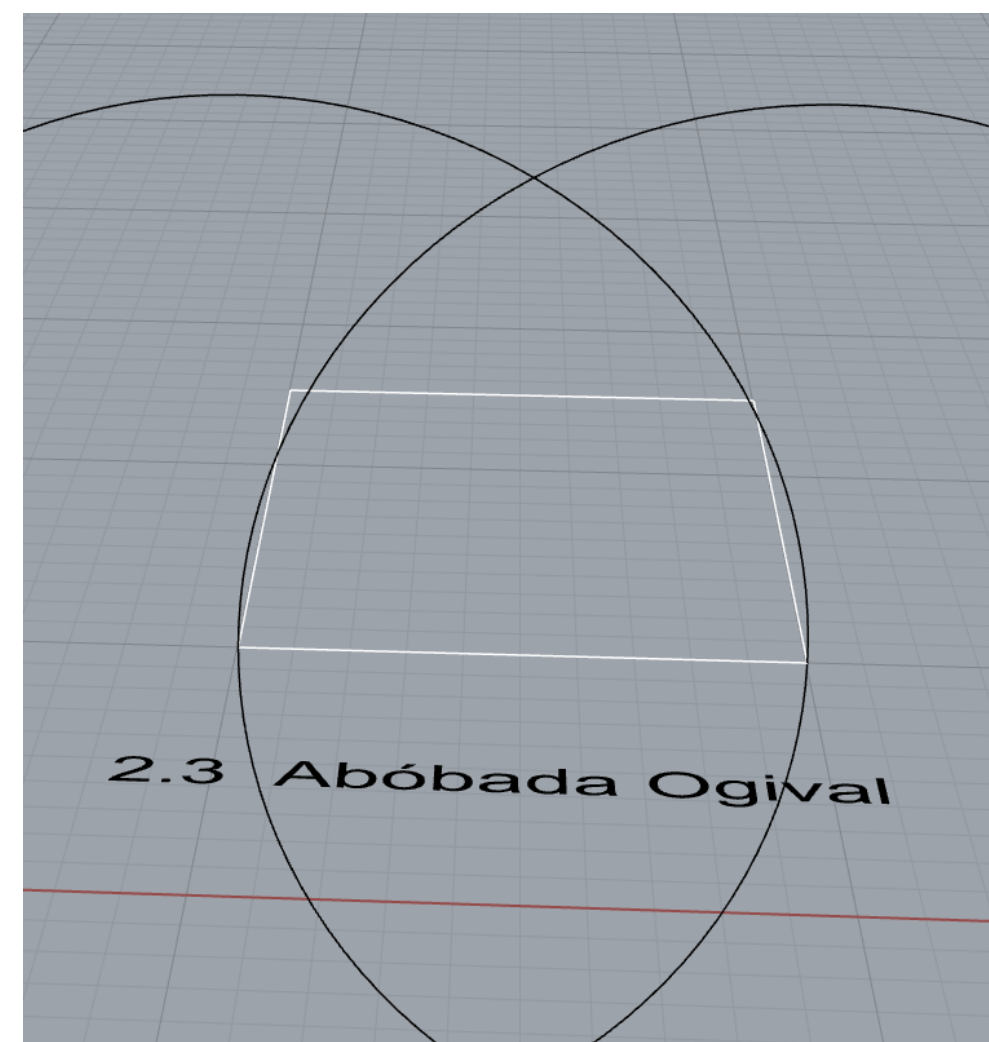
Abóbada Ogival

O processo da abóbada ogival é o mais simples. Desenham-se duas circunferências com raio igual à distância (d) entre os pontos definidos.

De seguida, utiliza-se o *Trim* para eliminar as partes excedentes das circunferências, mantendo apenas os arcos.

Depois, unem-se os arcos com o comando *Join*.

Por fim, aplica-se o *ExtrudeCrv* para gerar a forma da abóbada.



Abóbada de Cisterna

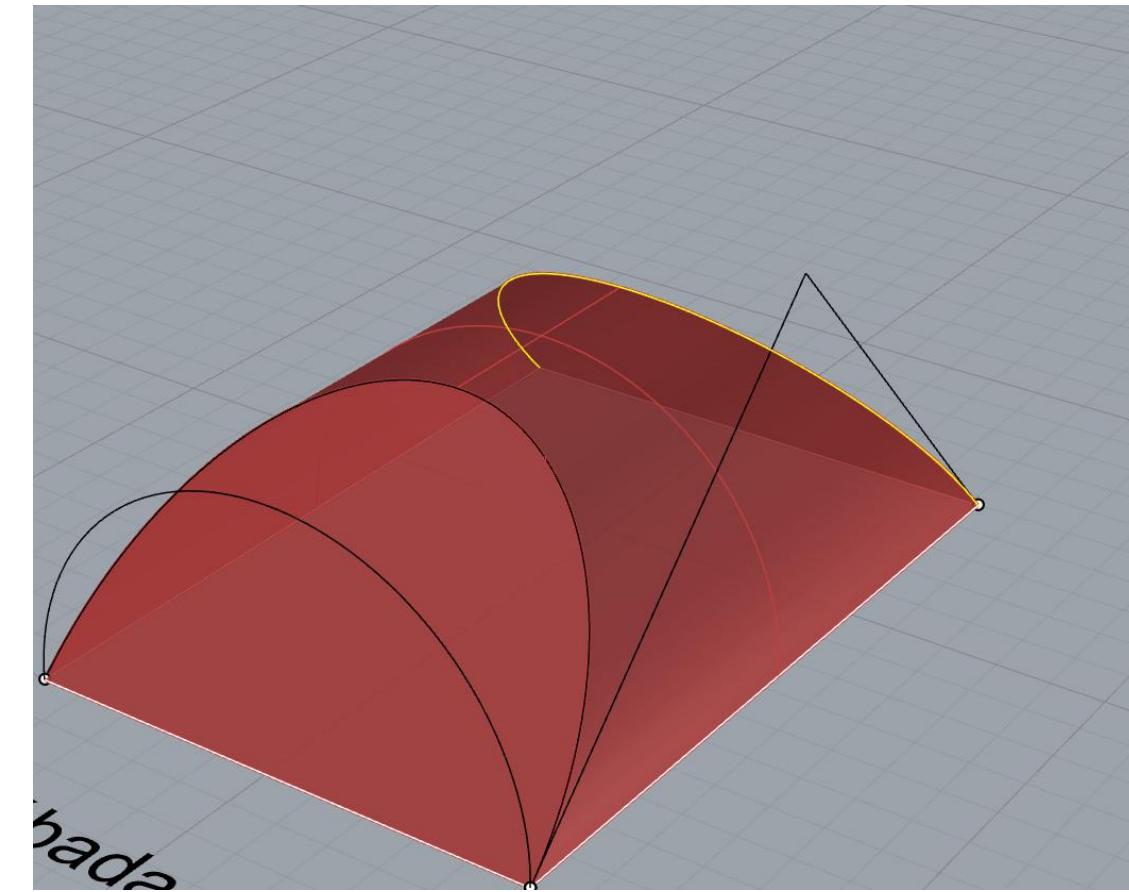
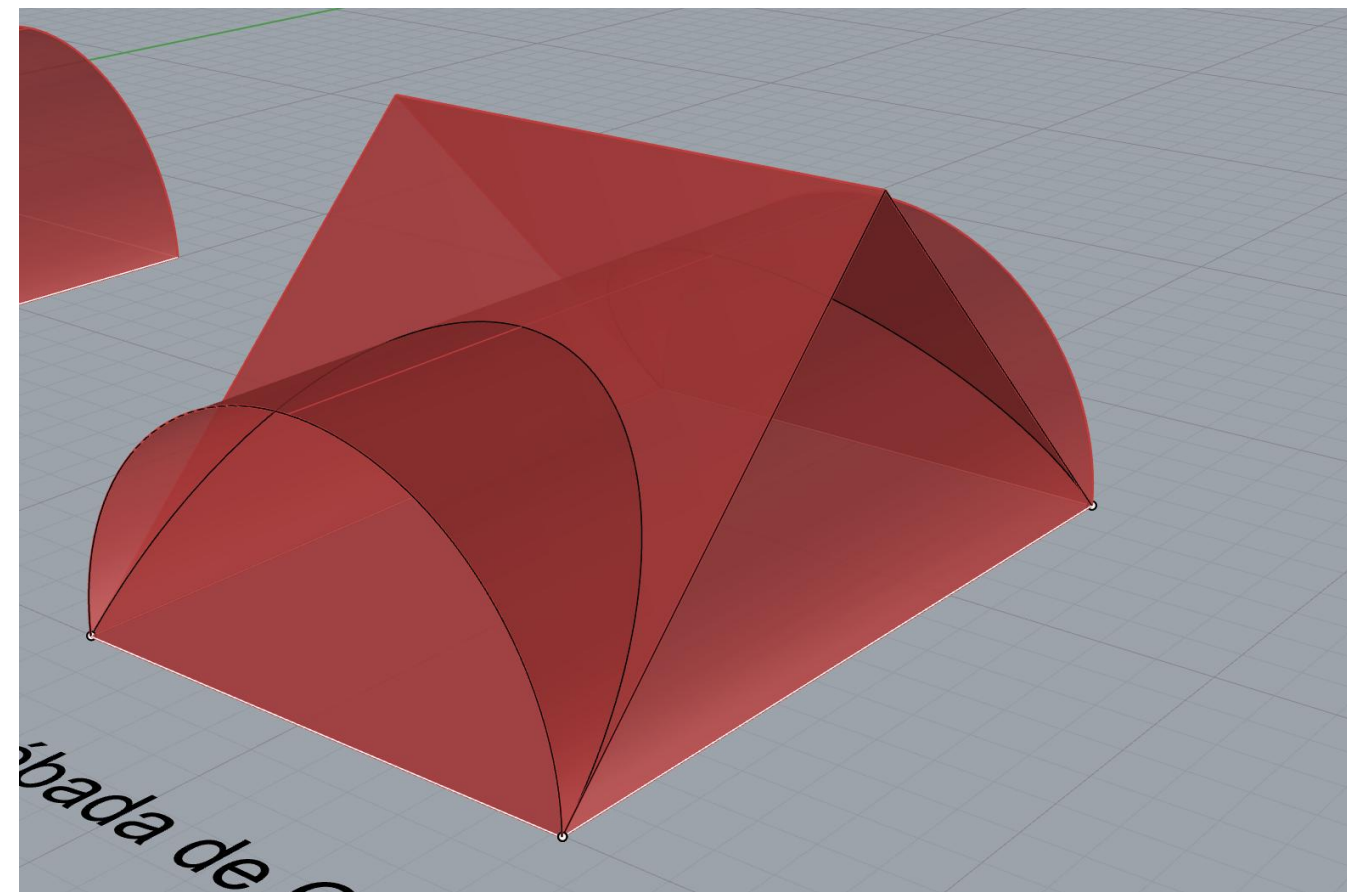
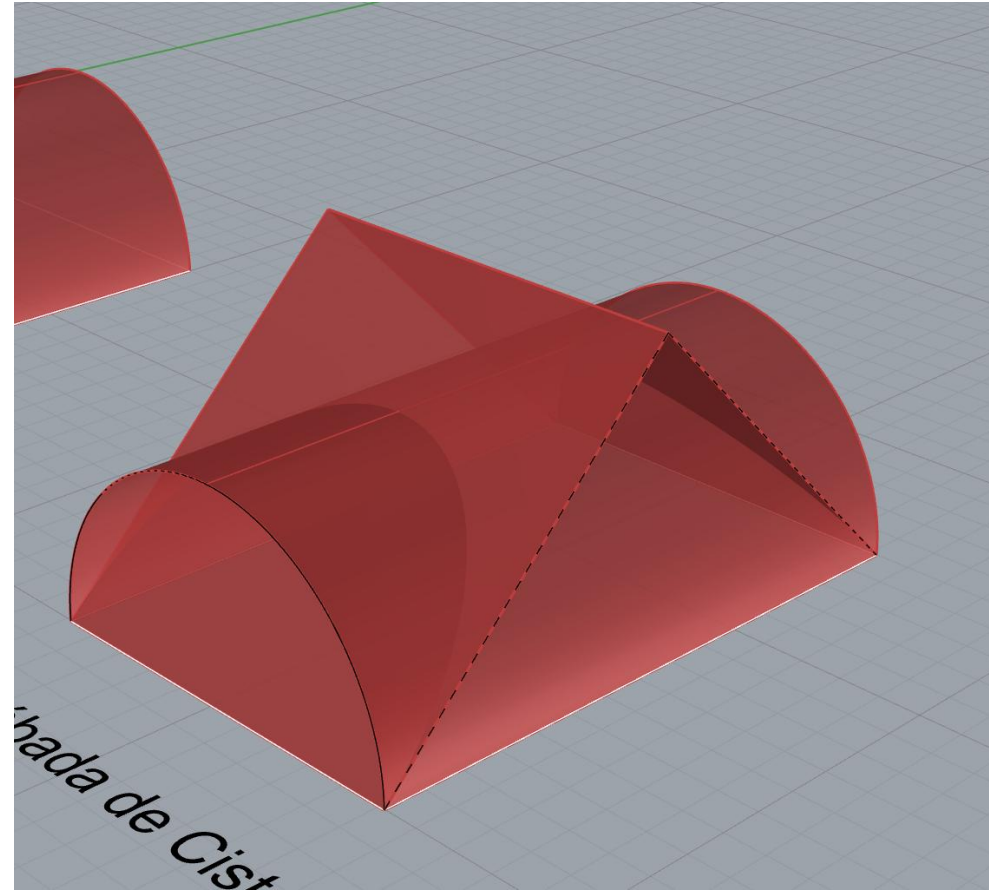
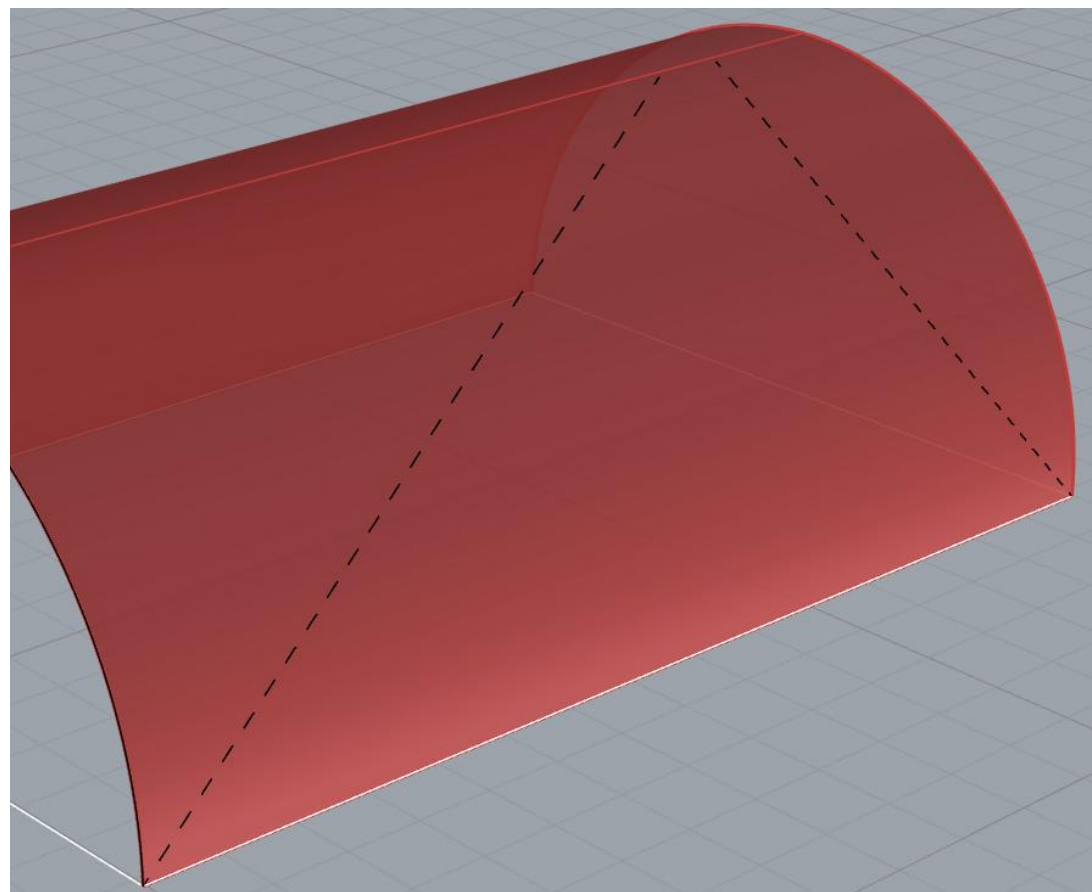
A abóbada de cisterna irá aproveitar a forma da abóbada anterior. Em ambas as arestas inferiores do retângulo, criam-se duas linhas em sentidos opostos a 45 graus.

Para a realização destas linhas no plano tridimensional, vamos tirar partido das coordenadas relativas (@dist<ângulo horizontal<ângulo vertical).

Para esta situação, as coordenadas serão @10<90<45 e @10<-90<45 na aresta oposta. Como as linhas não se cruzam, é necessário utilizar o Fillet (raio = 0, trim = yes) para as unir e formarem um triângulo.

Quando se aplica o ExtrudeCrv neste triângulo, a figura formada sobrepõe-se à abóbada inicial.

O produto final obtém-se a partir da eliminação das secções excedentes. Com o Trim, retira-se a porção superior e as laterais.



Luneta Cilíndrica

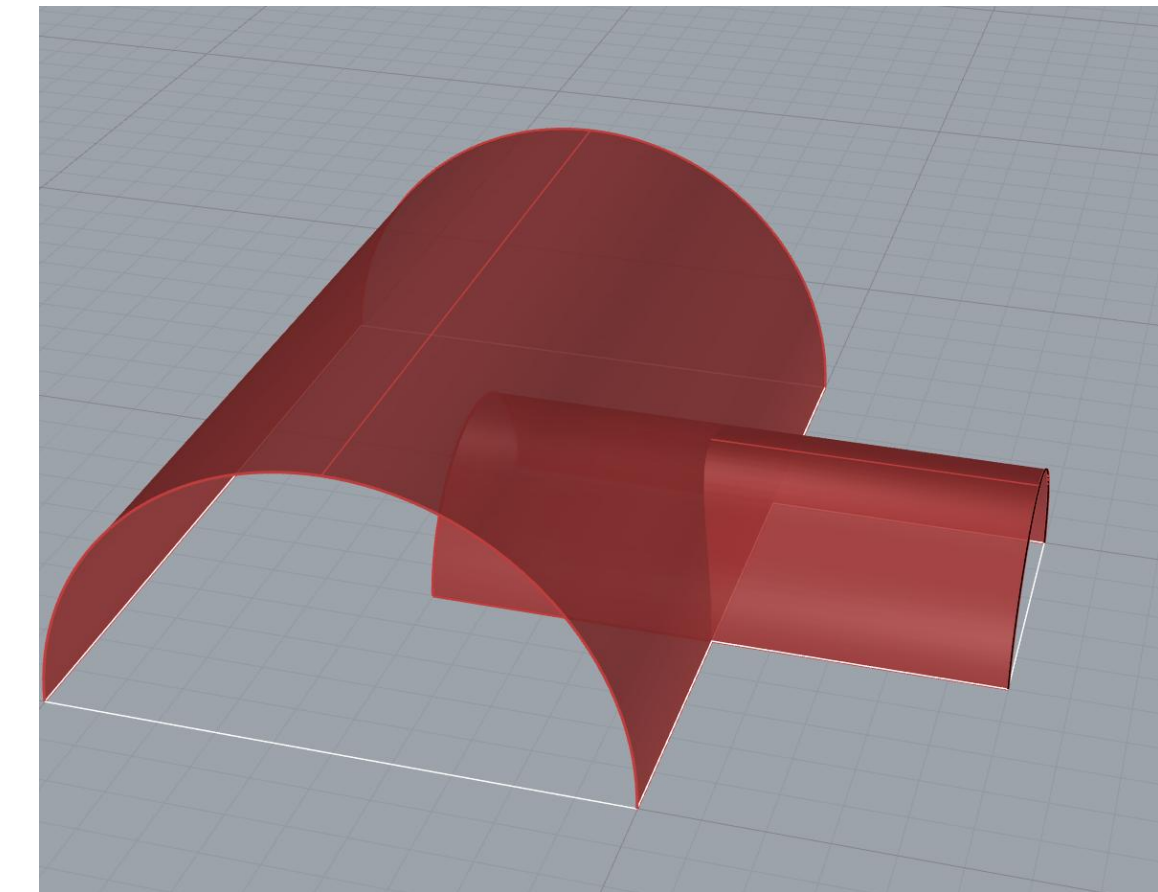
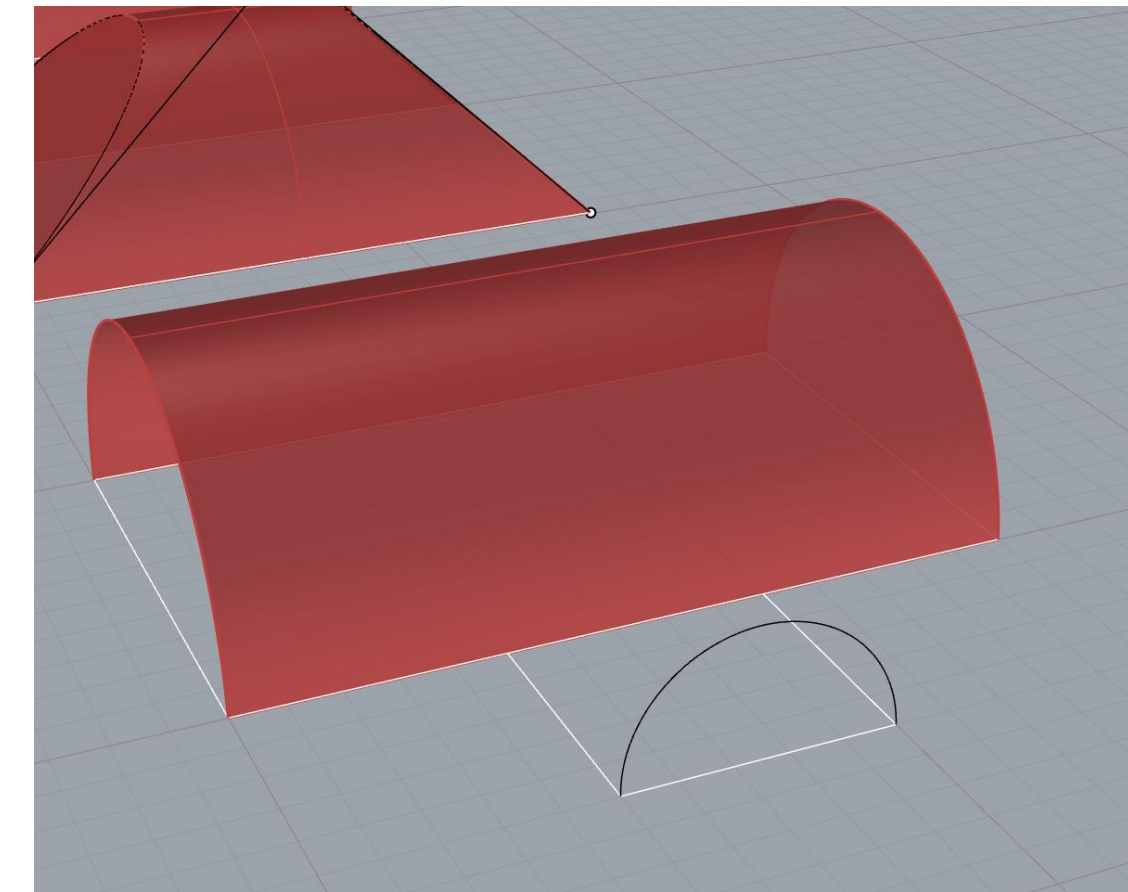
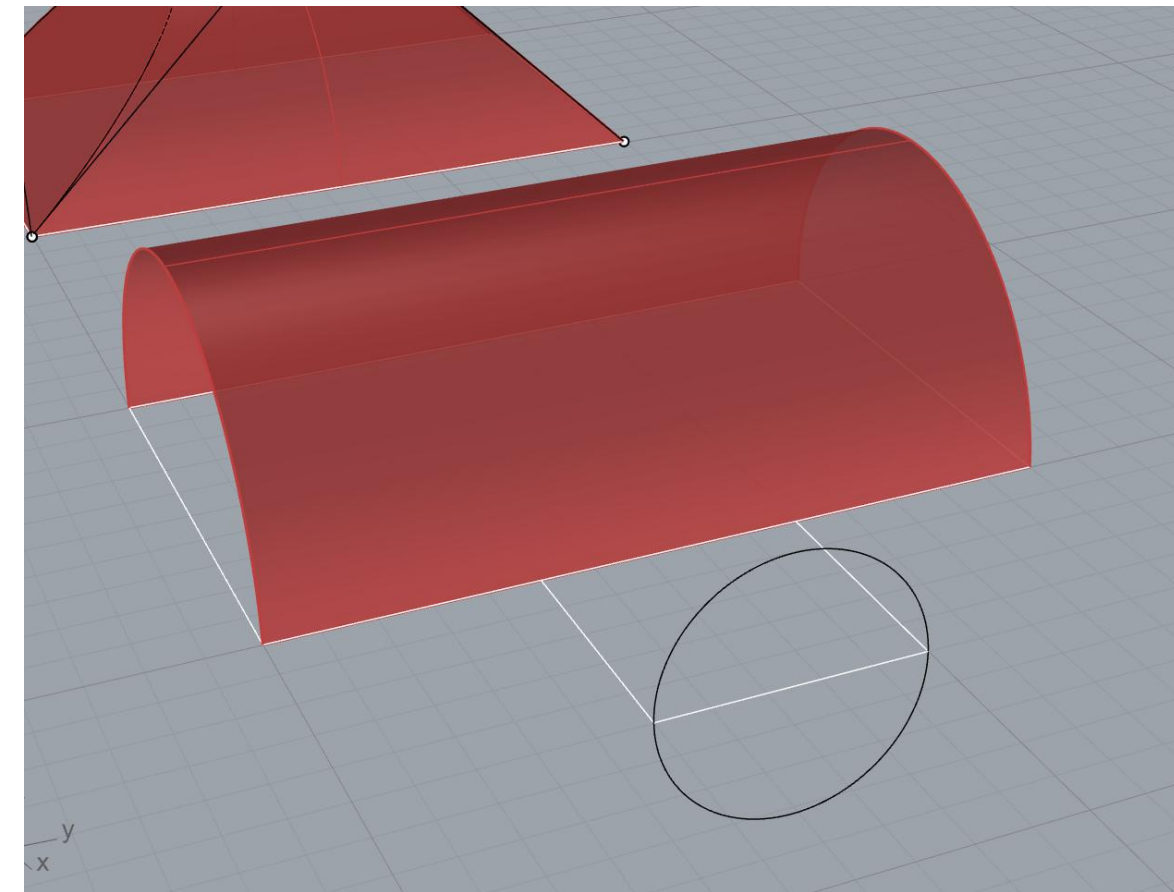
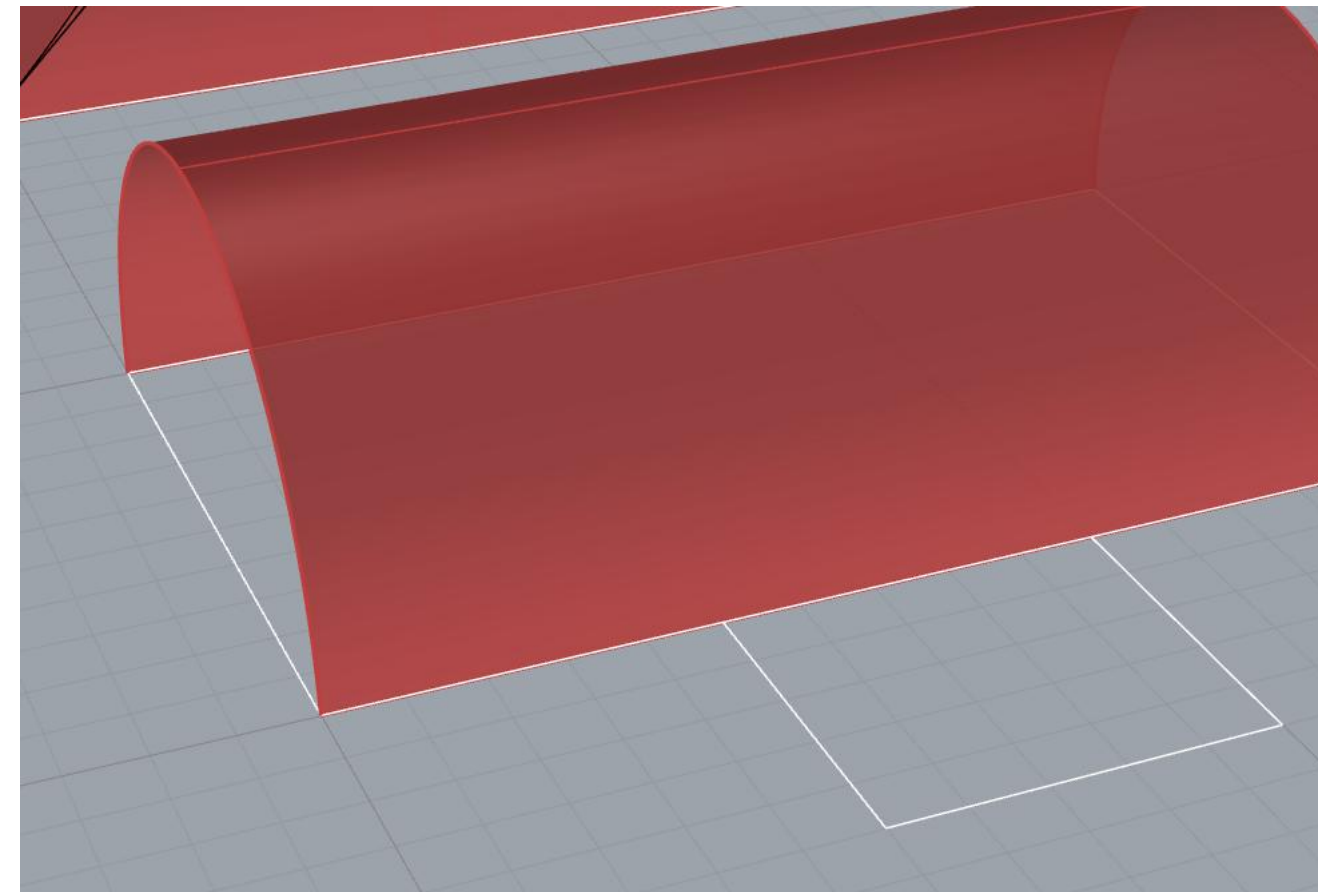
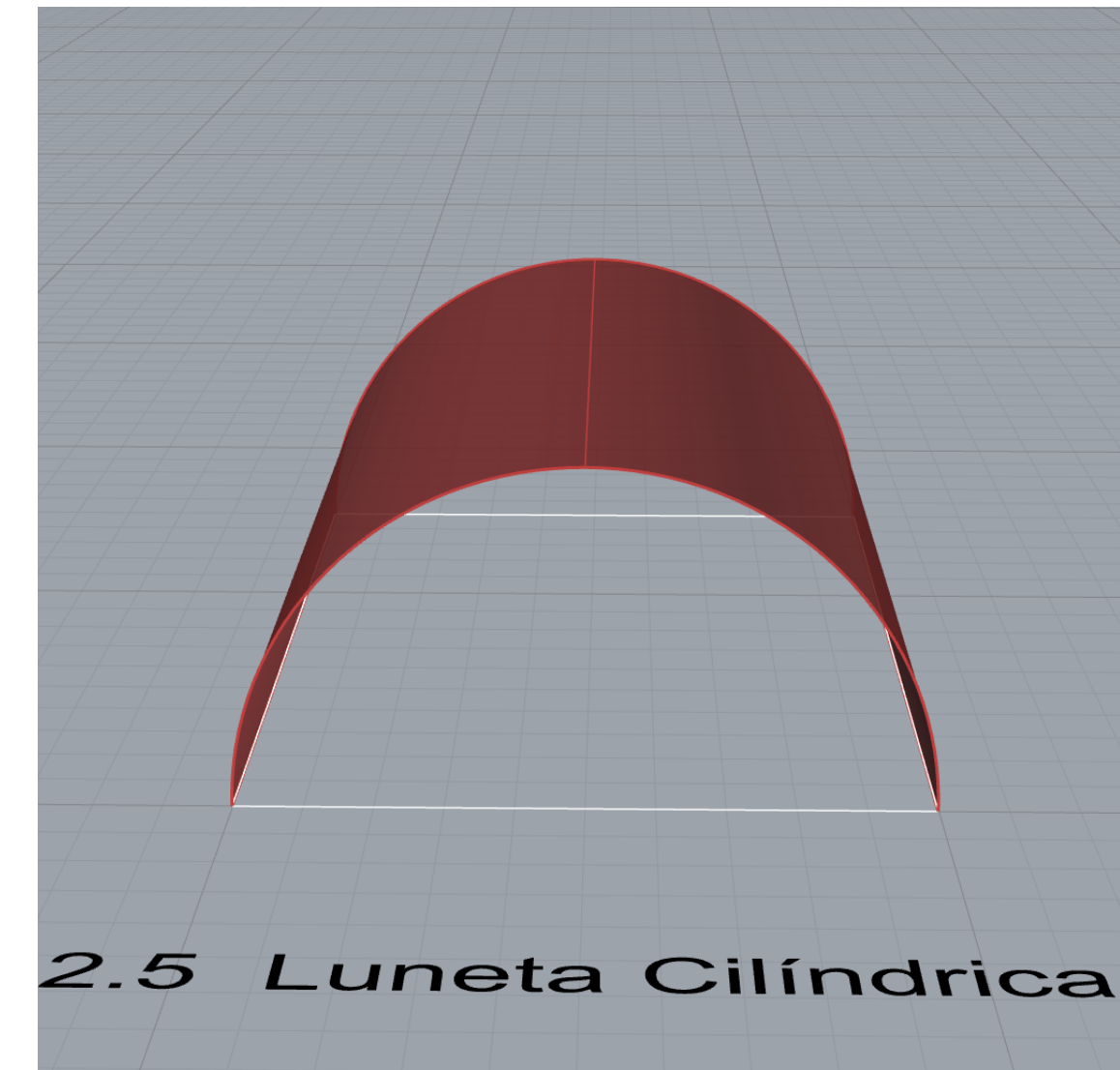
Na luneta cilíndrica, parte-se da forma da abóbada de berço. Numa das arestas mais compridas do retângulo base, desenha-se um quadrado com lado 5, encostado e centrado.

De seguida, cria-se uma circunferência utilizando o 2Points, na aresta do quadrado. Com o comando Trim, elimina-se a metade inferior da circunferência, ficando apenas com o arco superior.

Aplica-se o comando ExtrudeCrv ao arco, extrudindo-o para o interior da abóbada.

Após a interseção, utilizam-se o Trim para remover as partes excedentes: elimina-se o volume extra da forma menor e também a parede comum entre as duas formas.

O resultado final é a criação de uma luneta cilíndrica integrada na abóbada de berço.



Luneta Esférica

O processo da luneta esférica é muito parecido ao da luneta cilíndrica. Parte-se da forma da abóbada de berço já criada.

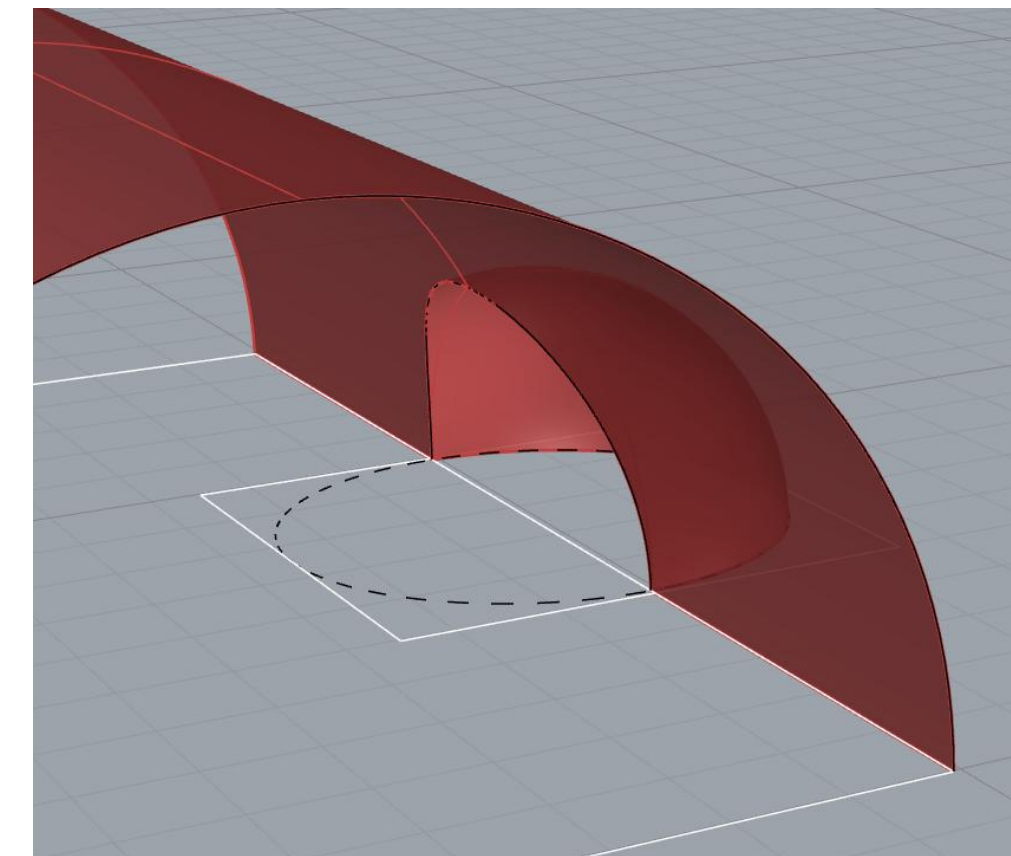
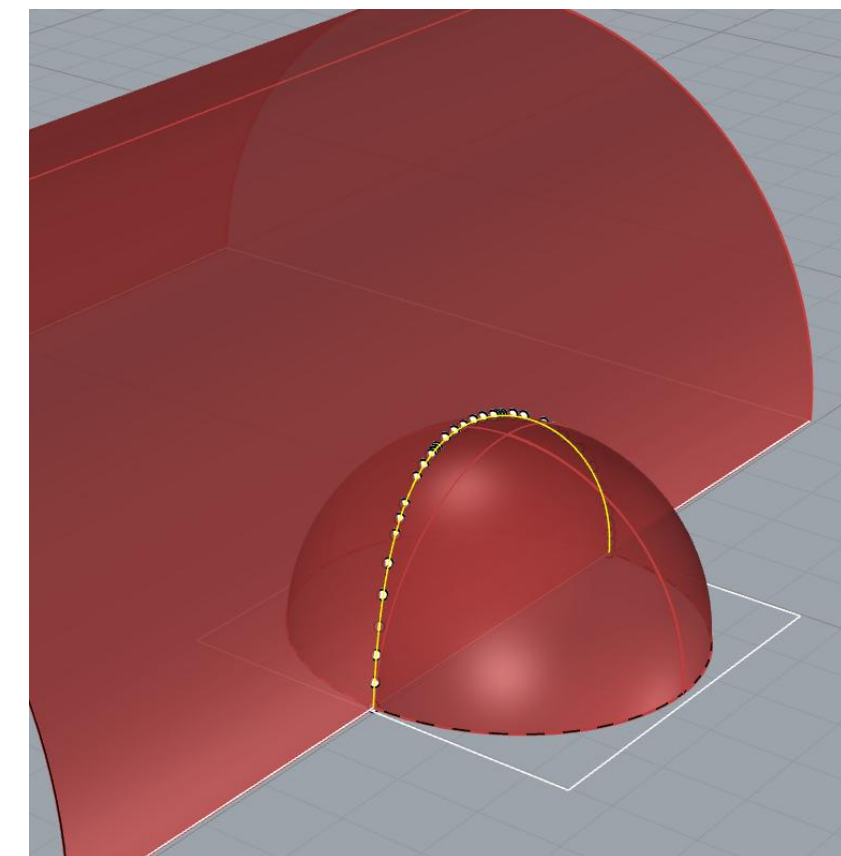
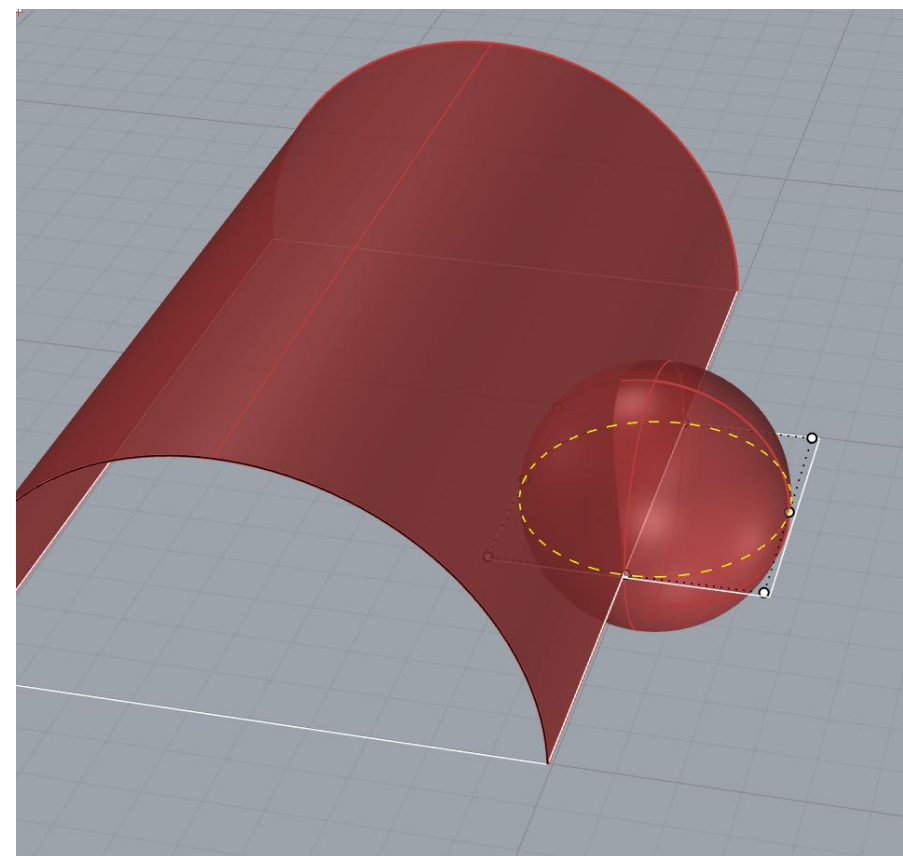
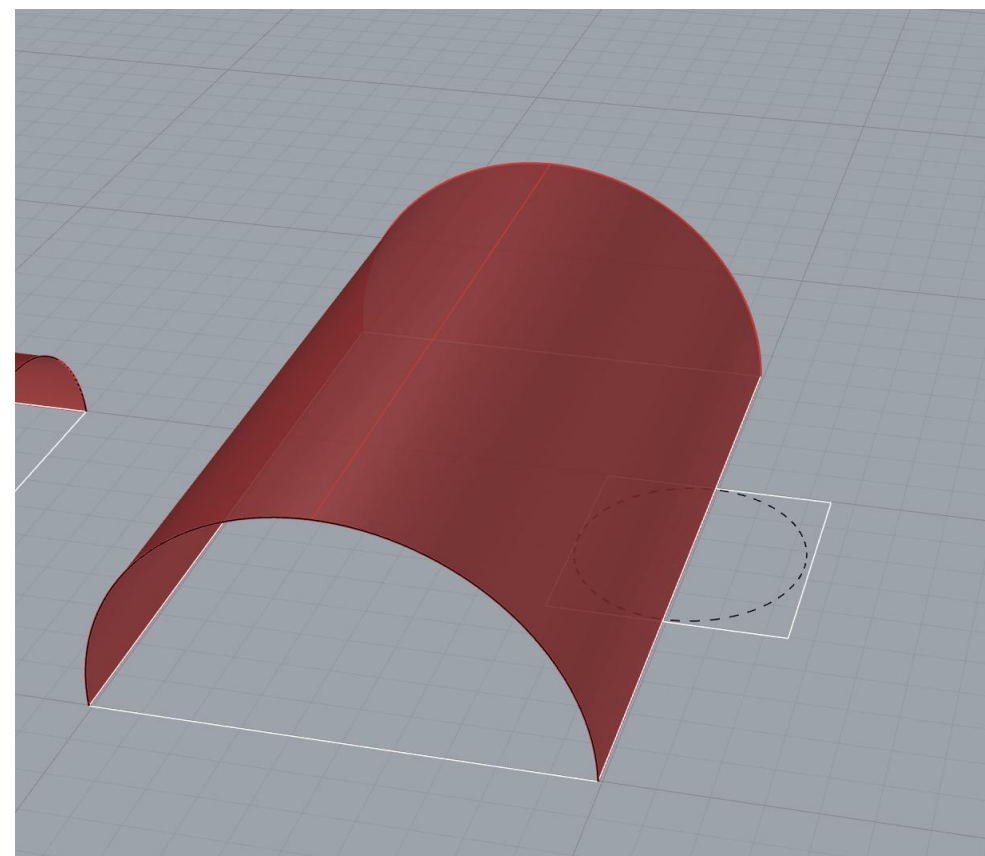
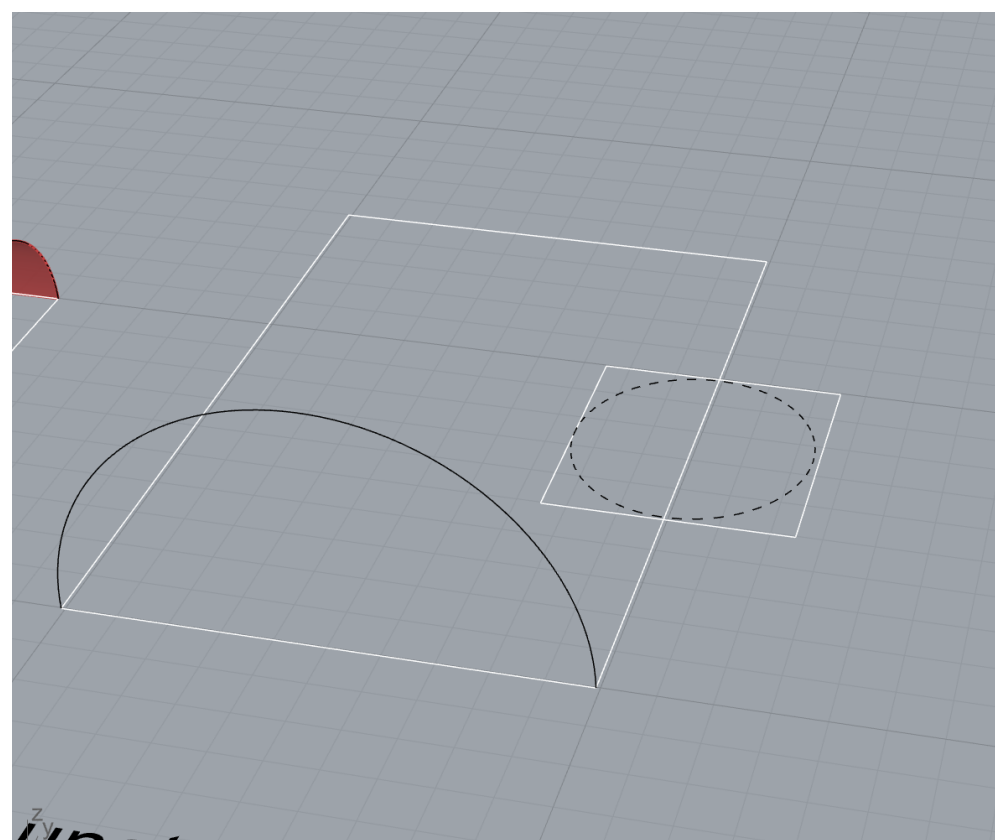
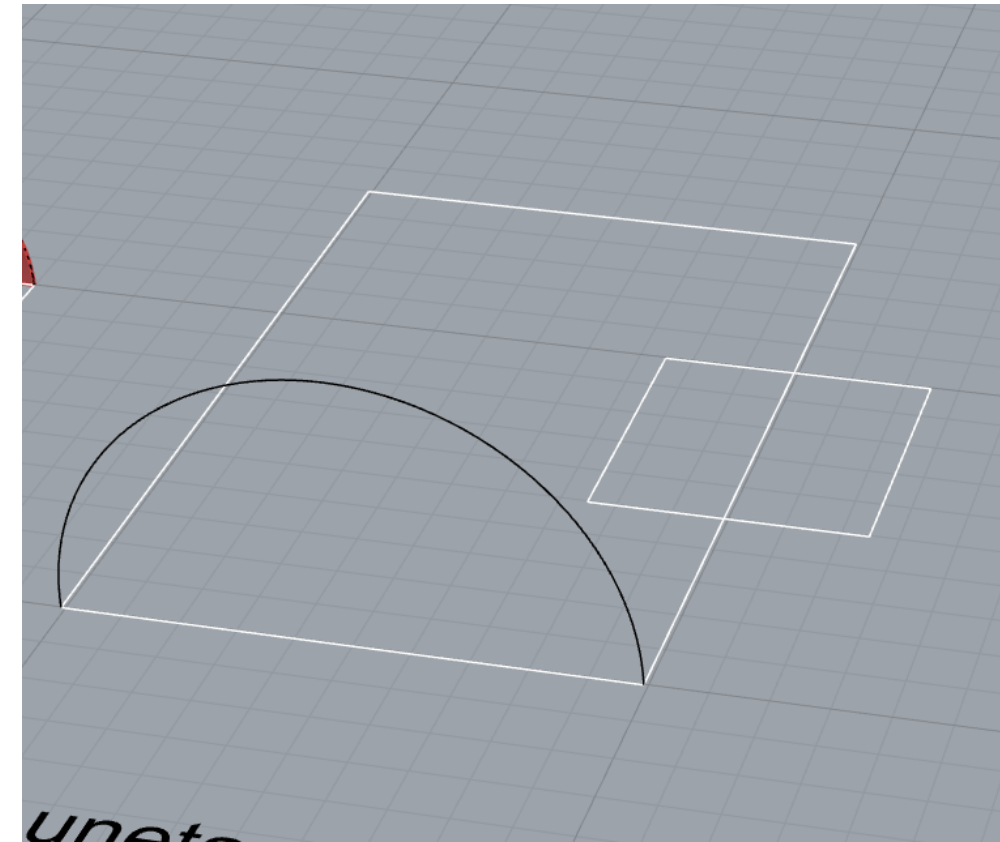
Neste caso, o quadrado de lado 5 é colocado de forma a que fique com metade dentro e metade fora do retângulo, centrado numa das arestas mais compridas.

De seguida, desenhar uma circunferência com a opção 2Points, utilizando como referência a aresta do quadrado.

Criar a esfera a partir dessa circunferência e com o Trim, elimina-se a parte inferior da esfera.

Aplica-se o ExtrudeCrv para o interior, garantindo a interseção com a abóbada principal.

Por fim, utiliza-se o Trim para remover o excesso da forma criada e eliminar a parede comum entre as duas geometrias.



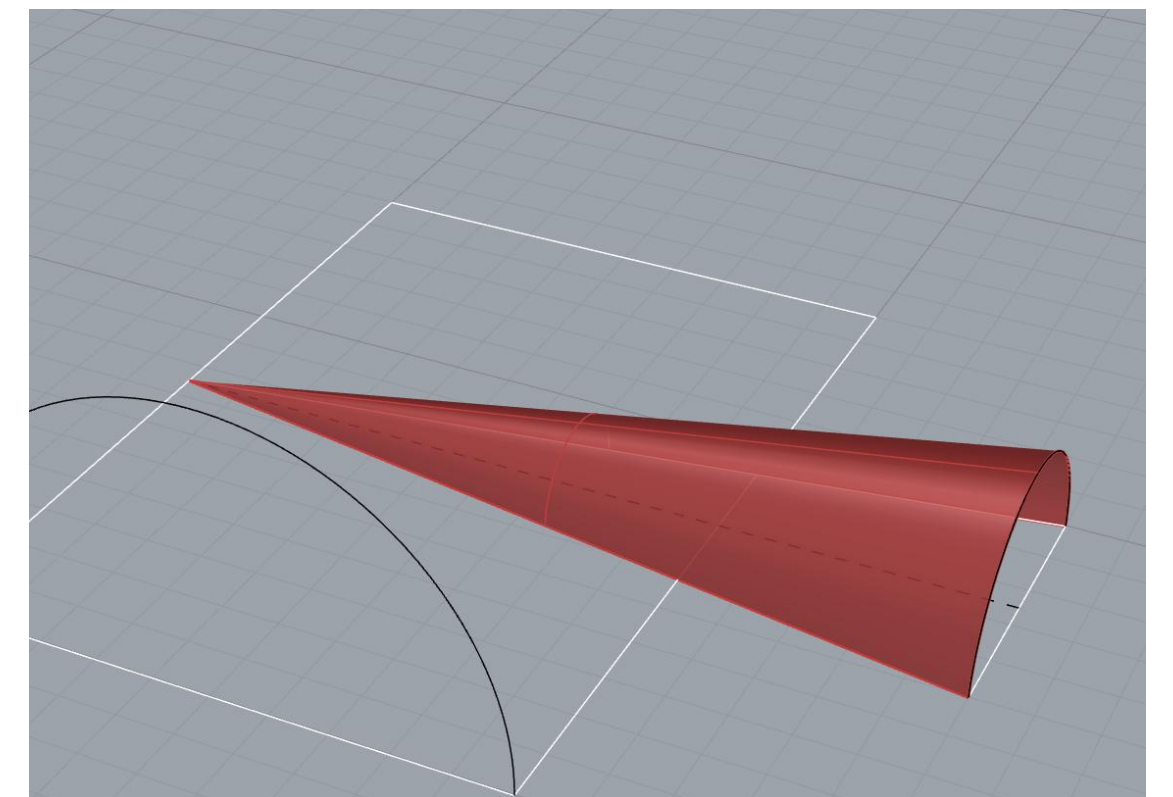
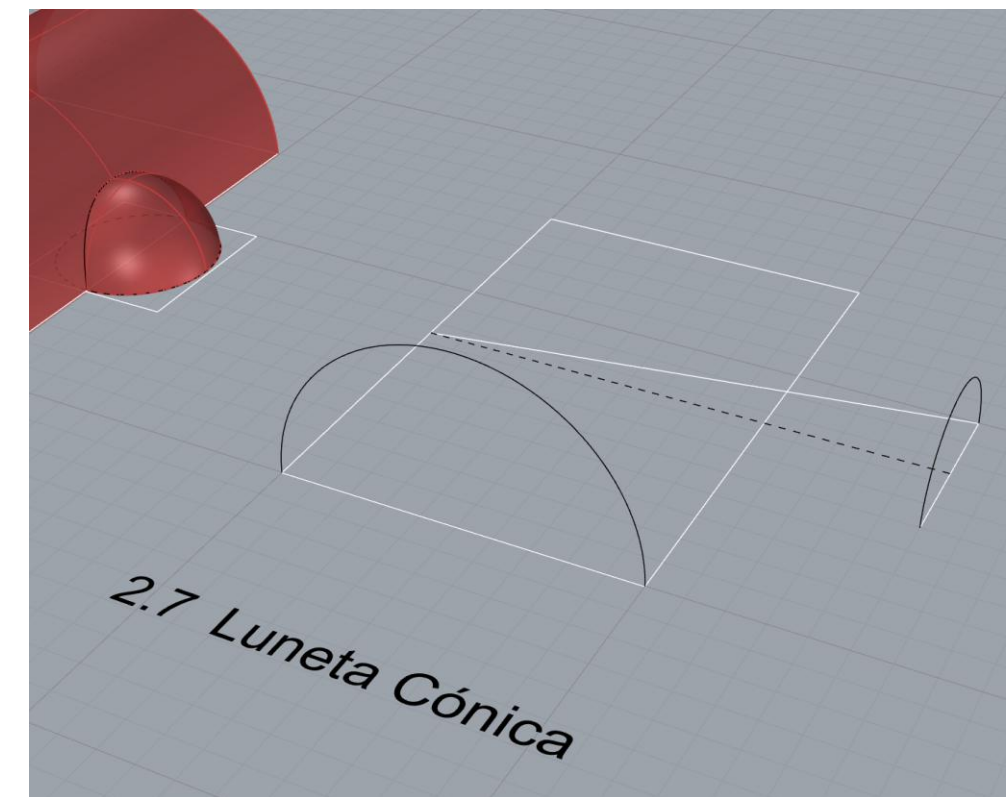
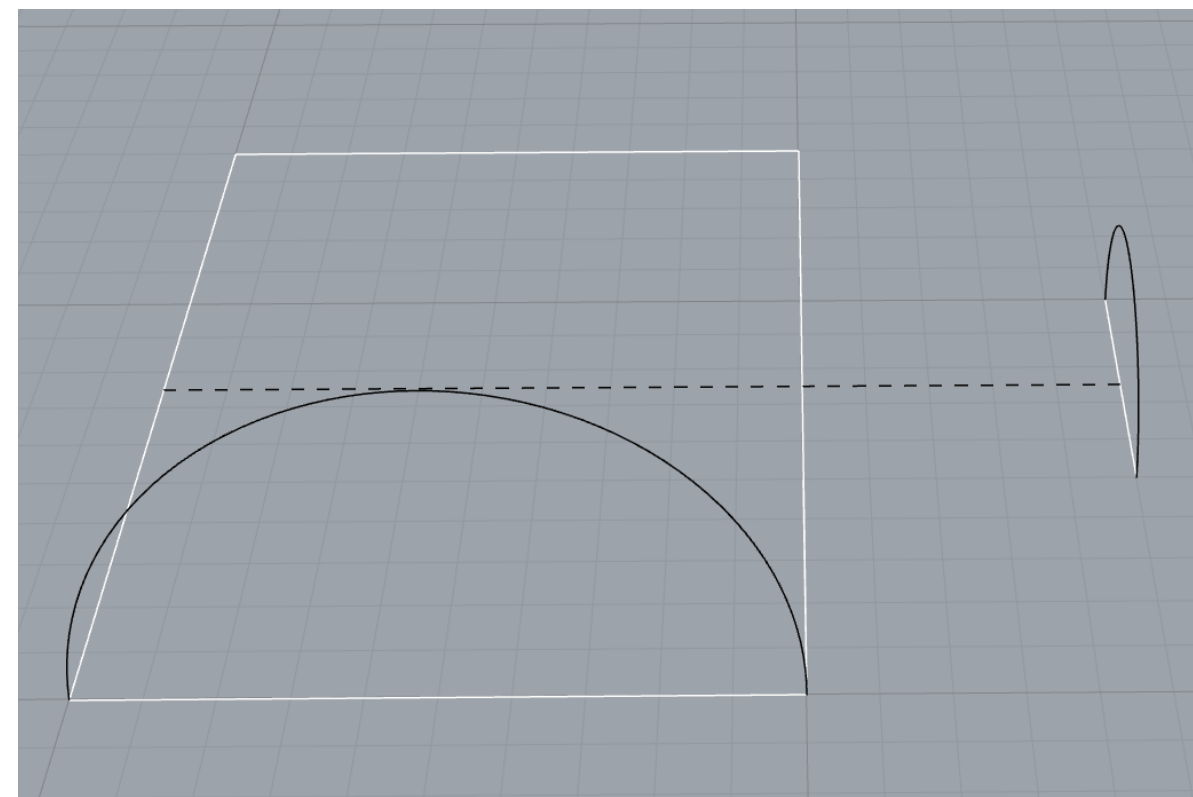
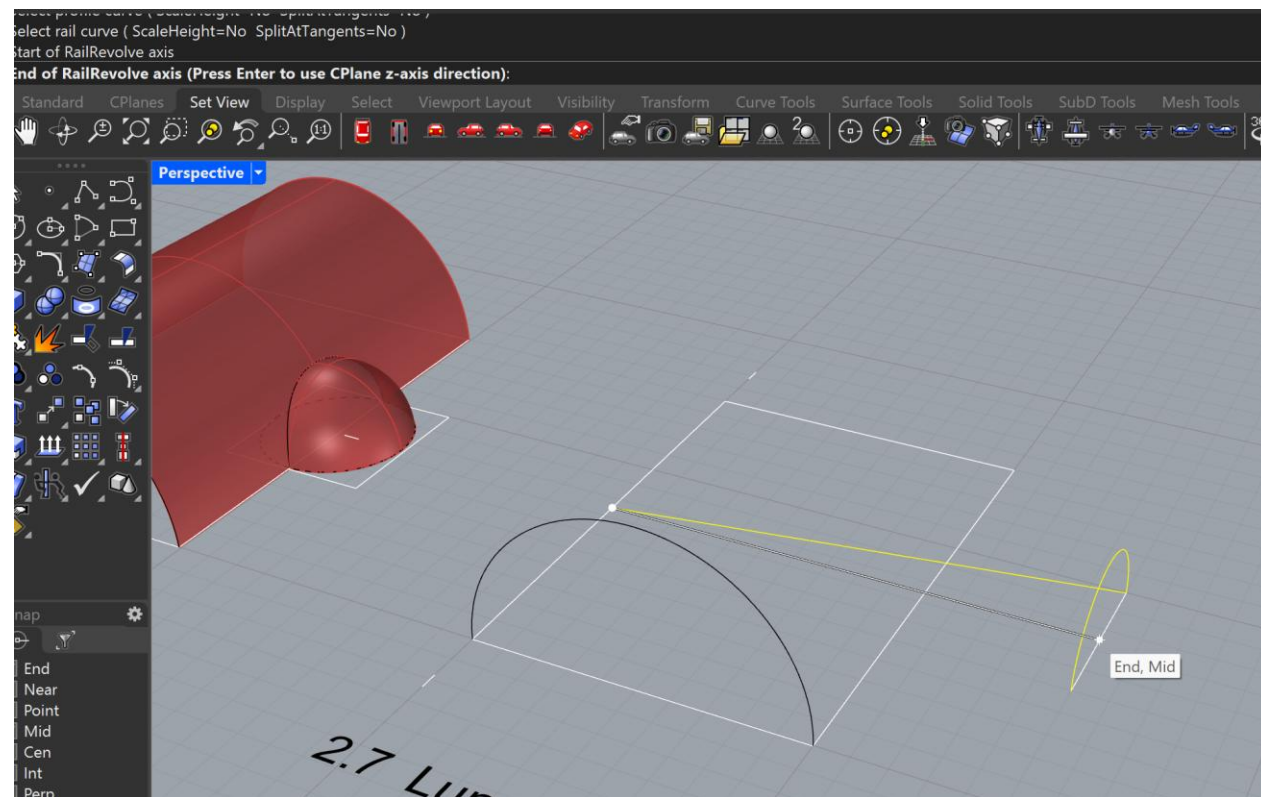
Luneta Cônica (Parte 1)

A partir da abóbada de berço, desenha-se a semicircunferência que irá gerar a forma cônica.

De seguida, define-se o eixo de rotação através de uma linha que começa na extremidade do diâmetro da circunferência menor e que se liga ao ponto médio do lado oposto do retângulo, indicando a direção da altura da abóbada.

Para gerar a forma, utiliza-se o comando *RailRevolve*. Primeiro, seleciona-se a curva de perfil. Em seguida, escolhe-se o eixo (*rail*), definido por dois pontos: o ponto inferior (na base) e o ponto superior (no topo da abóbada). Estes dois pontos determinam o eixo em torno do qual a curva será rodada.

O *RailRevolve* cria então uma superfície ao longo desse eixo, originando a forma cônica.



Luneta Cônica (Parte 2)

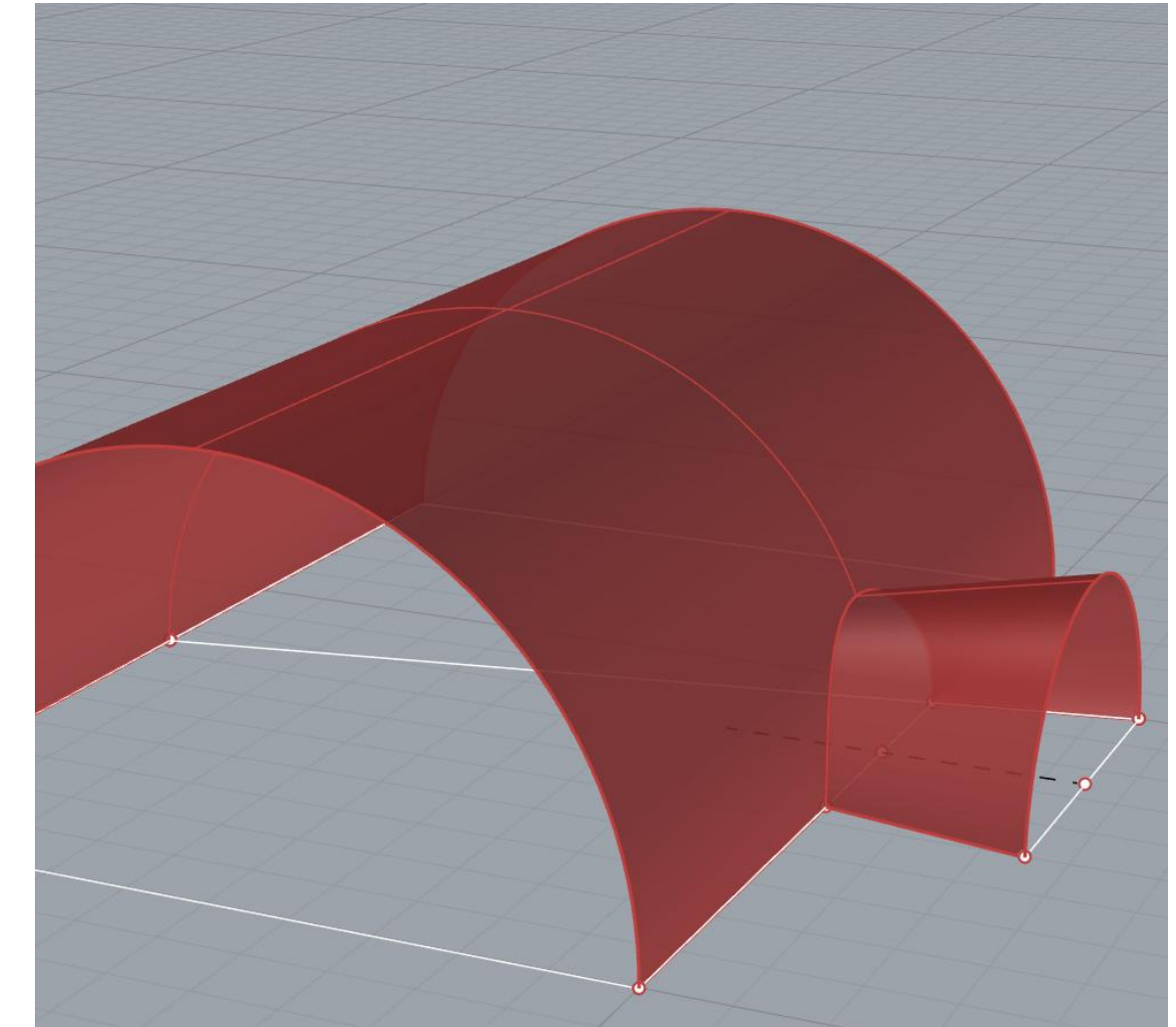
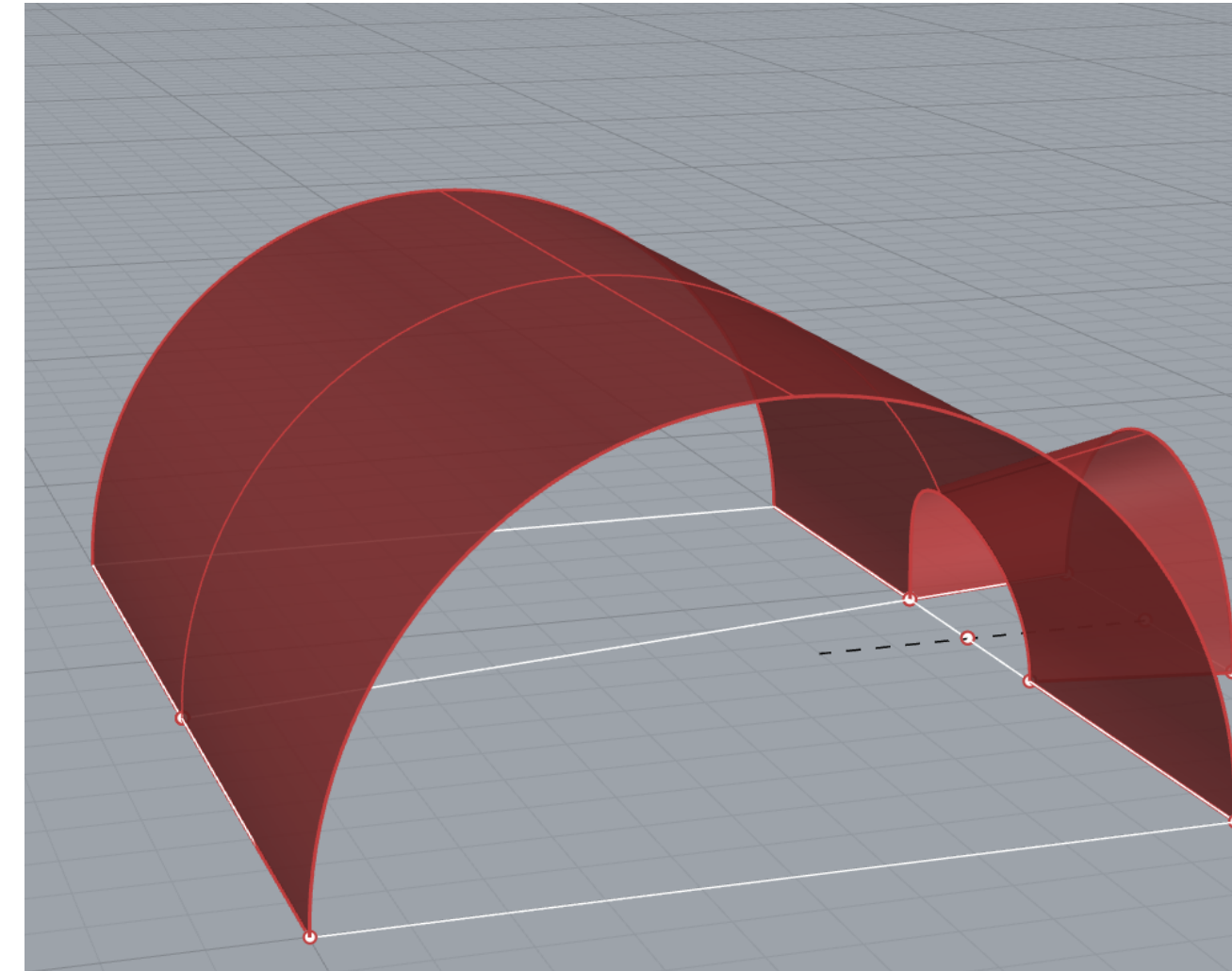
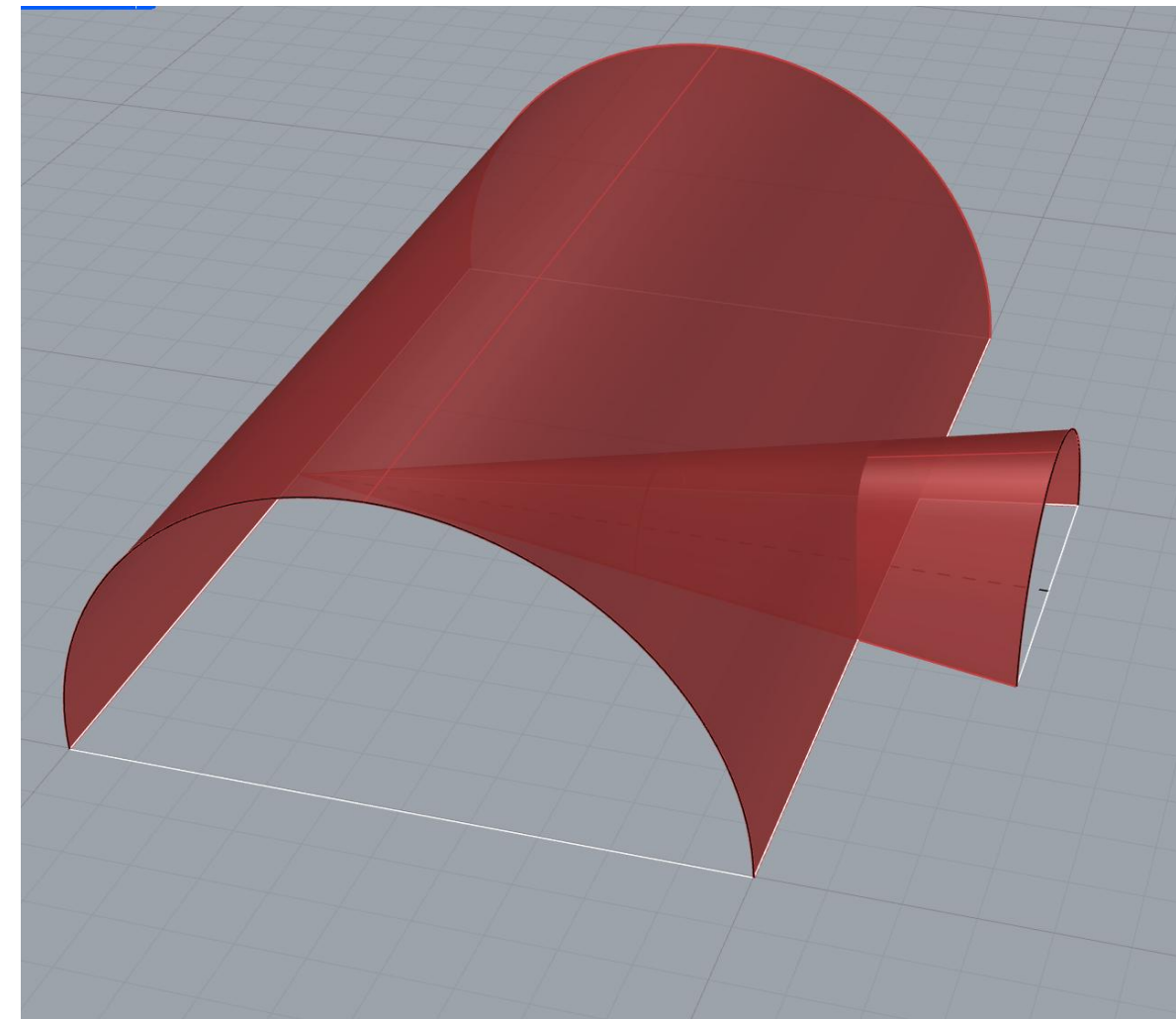
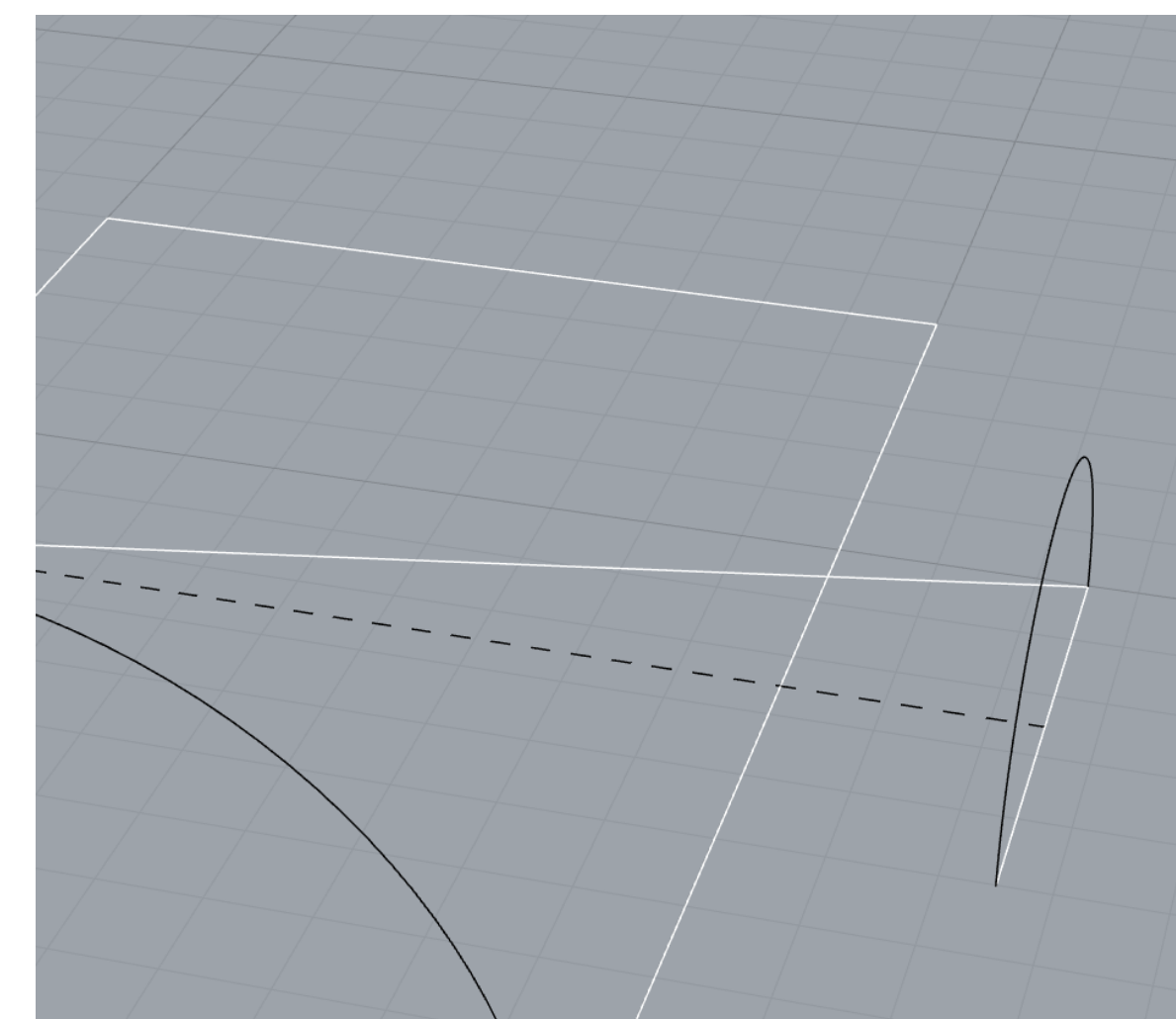
Repetimos este exercício para alterar posição da semicircunferência. Assim a distância entre a circunferência e o retângulo diminuiu.

Ao alterar esta distância, estamos a mudar a inclinação e a altura da forma cônica que já tinha sido feita. Quanto mais longe a semicircunferência estiver do retângulo, mais alongado e estreito o cone fica.

Quanto mais afastada, mais largo se torna.

O final mantém-se igual. Desenha-se a semicircunferência na nova posição, define-se o eixo de rotação, aplica-se o *RailRevolve* e utiliza-se o *Trim* para ajustar a geometria final.

Apaga-se a parte do cone que entra dentro da abóbada original e a parede entre as duas formas.



Abóbada Toral

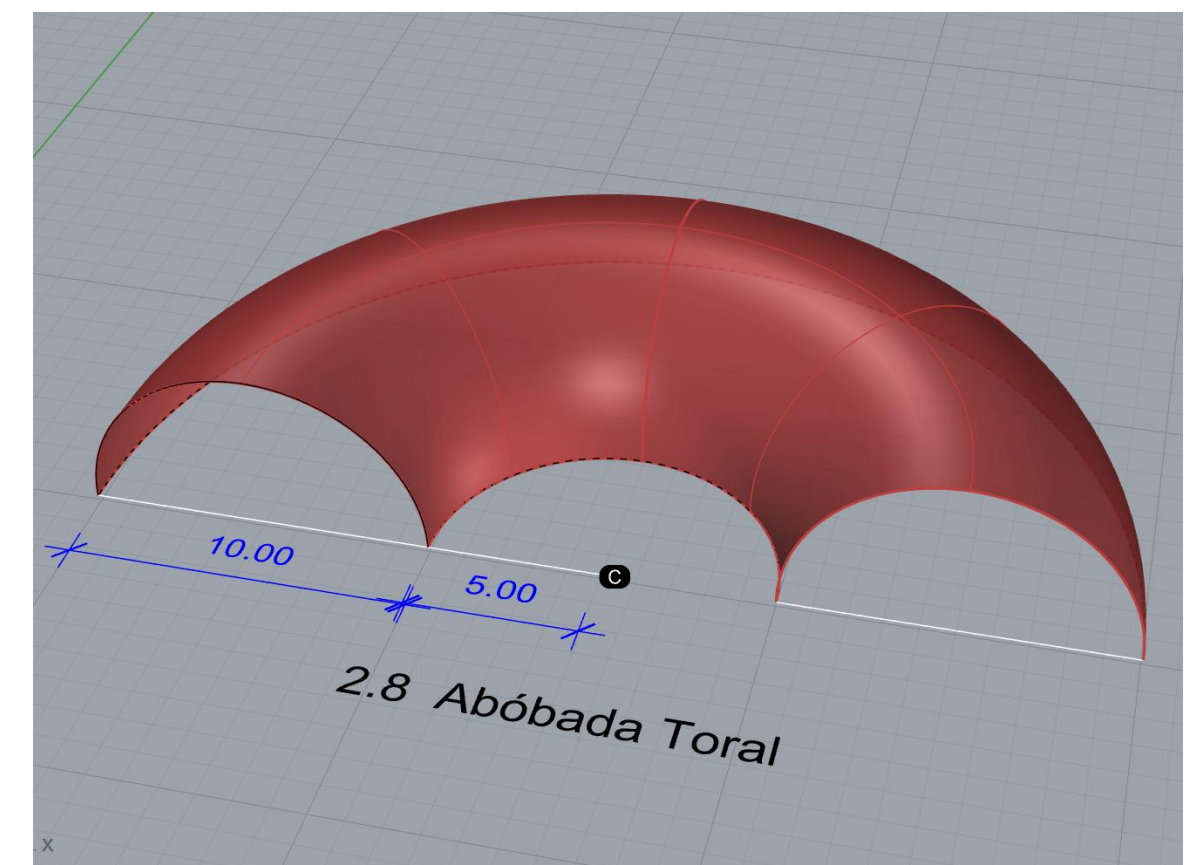
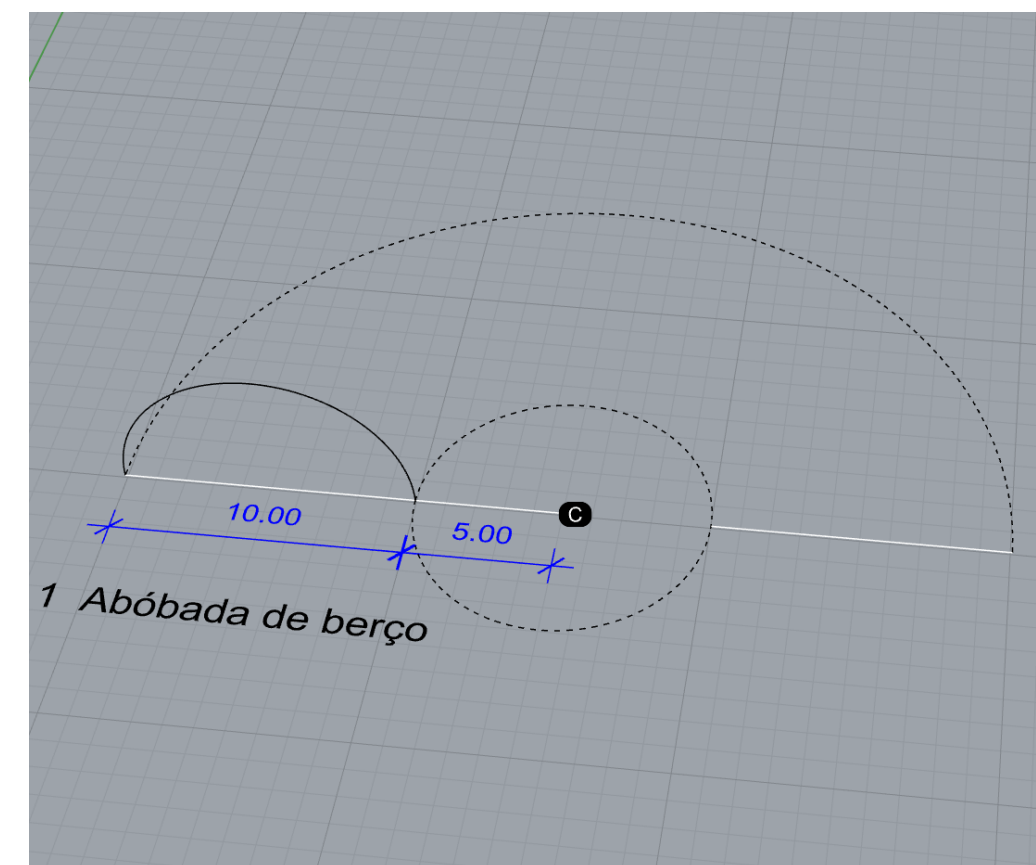
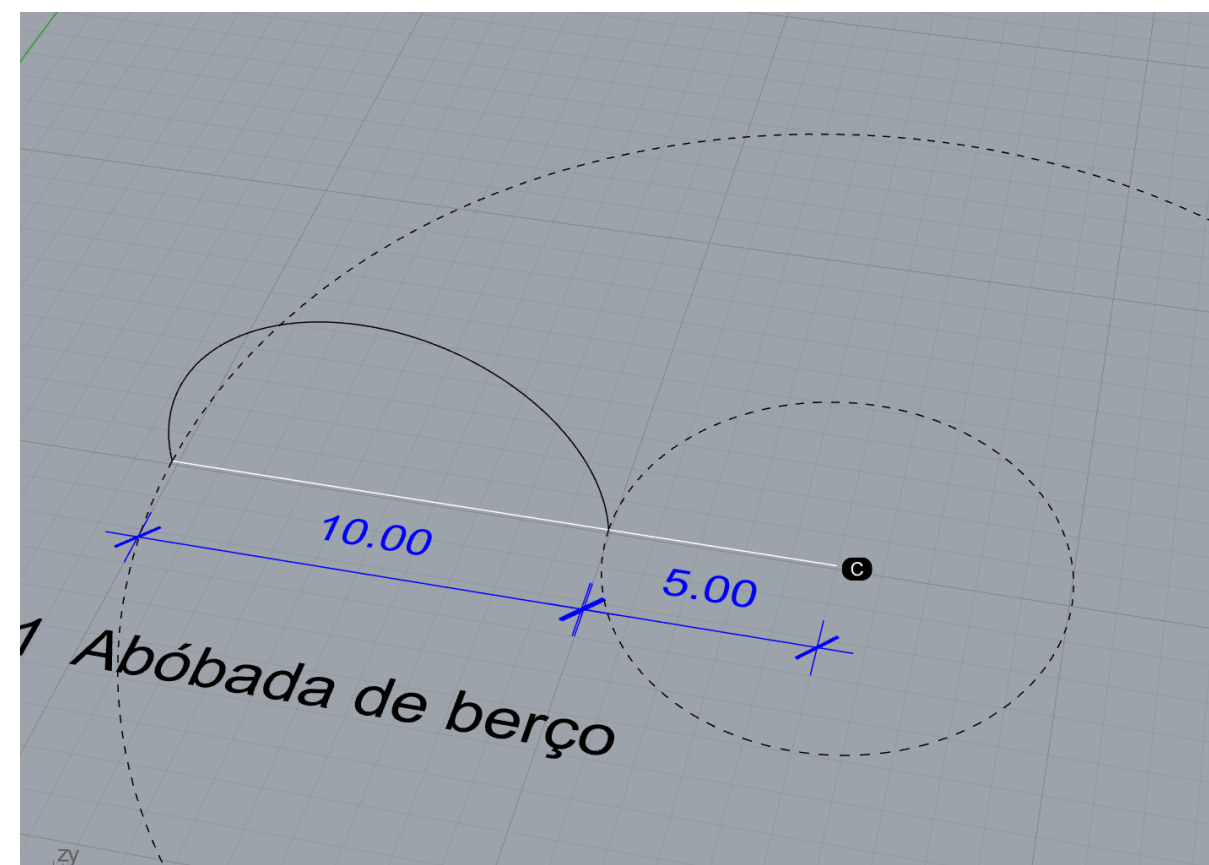
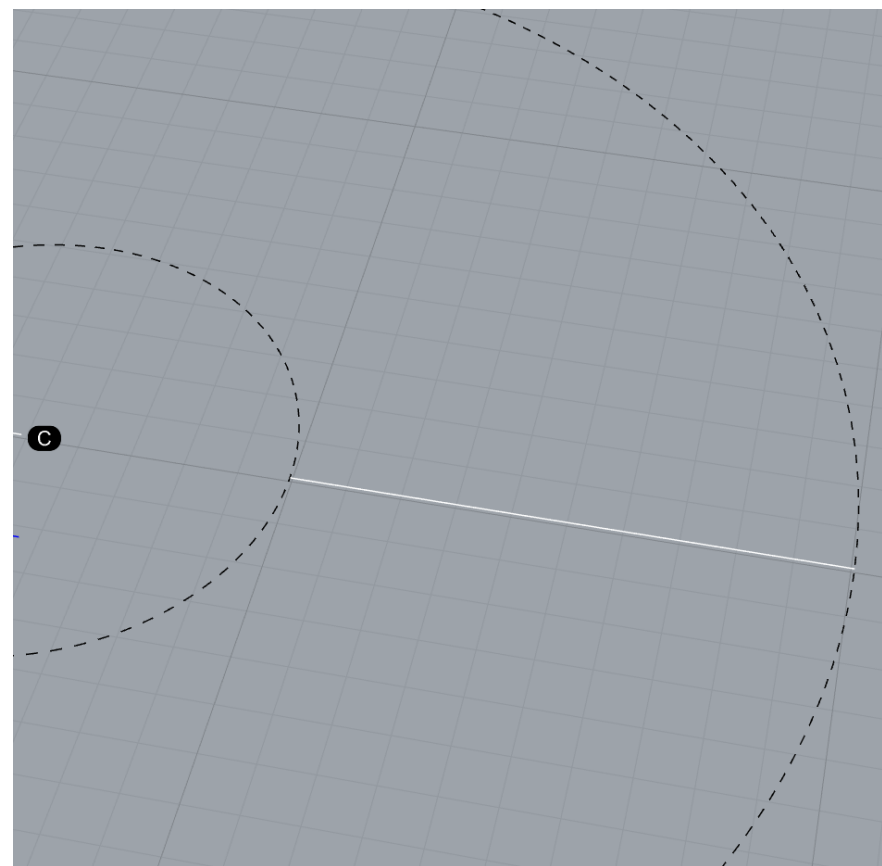
a abóbada toral começa com a aresta mais pequena do retângulo, que tem 10 unidades. Repetimos essa aresta 3 vezes para definir as dimensões das circunferências.

A circunferência inferior terá 5 de raio e a circunferência superior 15 de raio.

Em seguida, utiliza-se o *Trim* para eliminar a linha do diâmetro da circunferência menor e também as metades irrelevantes de ambas as circunferências.

Desenhar uma circunferência utilizando a opção *2Points* numa das arestas e recorta-se a parte inferior com *Trim*, mantendo apenas o arco útil.

Com estas curvas, utilizamos o comando *Sweep 2* para criar o modelo em 3D. Primeiro selecionam-se os dois *rails*, a circunferência menor e a maior. Depois escolhe-se a forma de como vai ser a superfície.



Abóbada Helicoidal Toral

Esta abóbada foi construída a partir da elevação de 5 unidades da semicircunferência da direita. Desenha-se duas linhas verticais por baixo da semicircunferência e uma linha vertical no ponto correspondente ao centro da circunferências em planta, tudo com 5 unidades verticais.

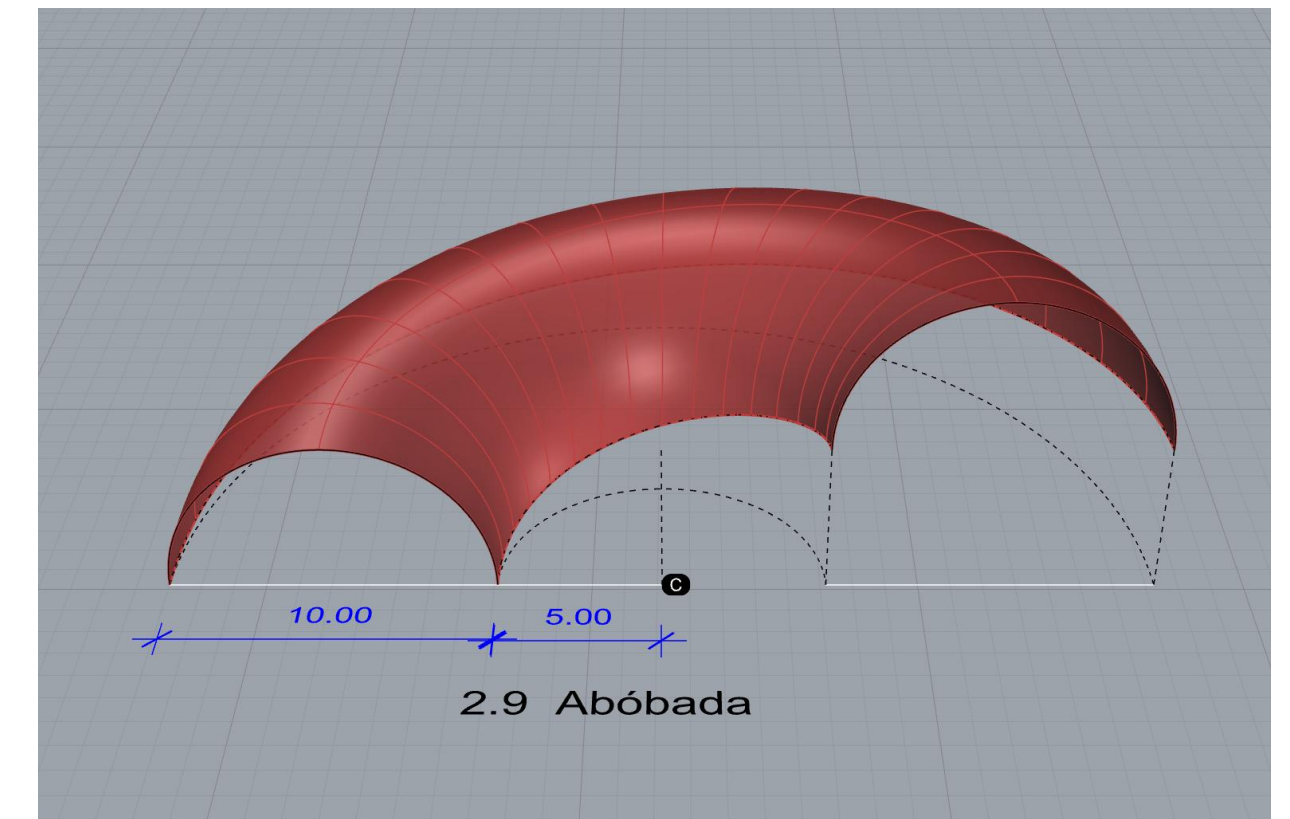
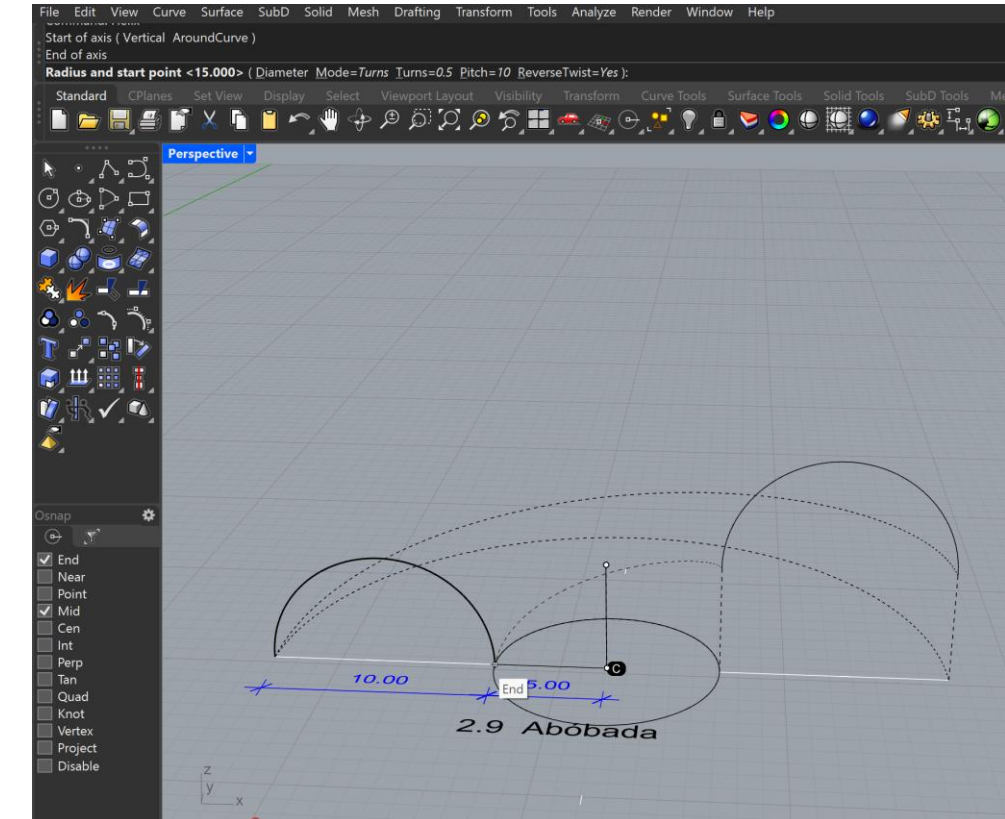
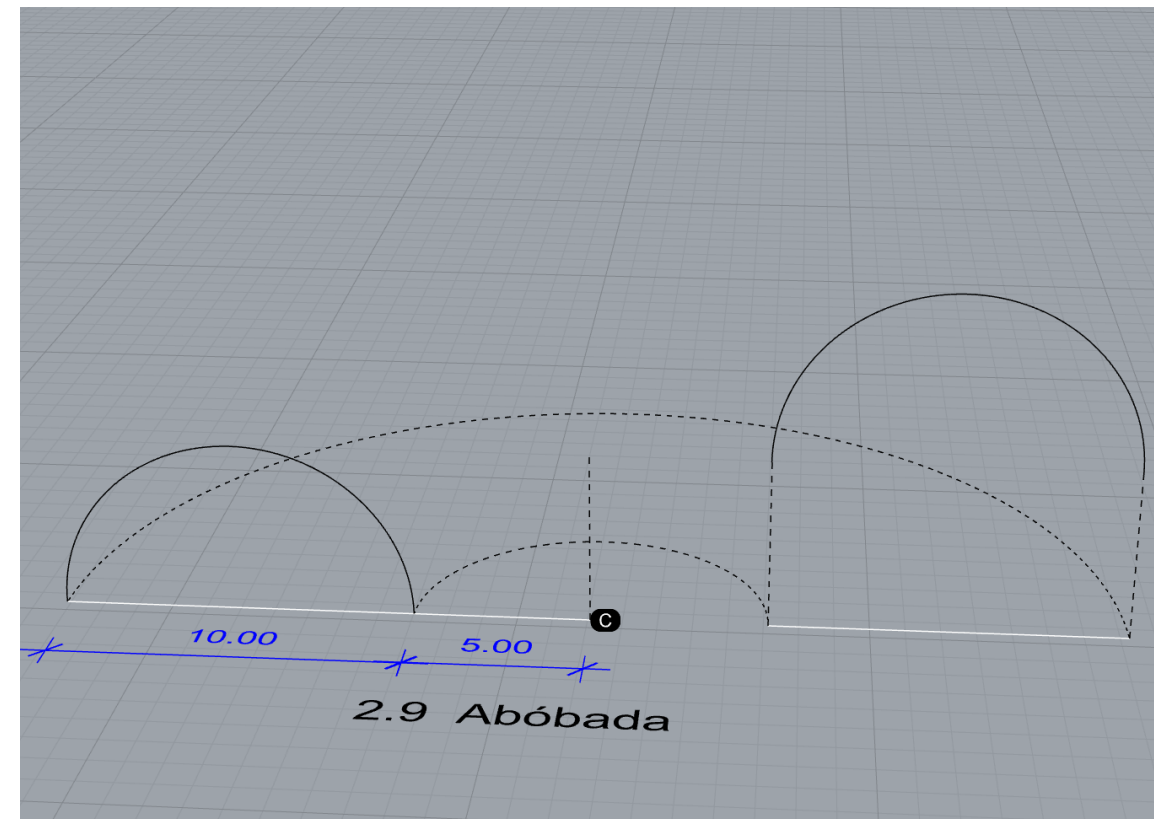
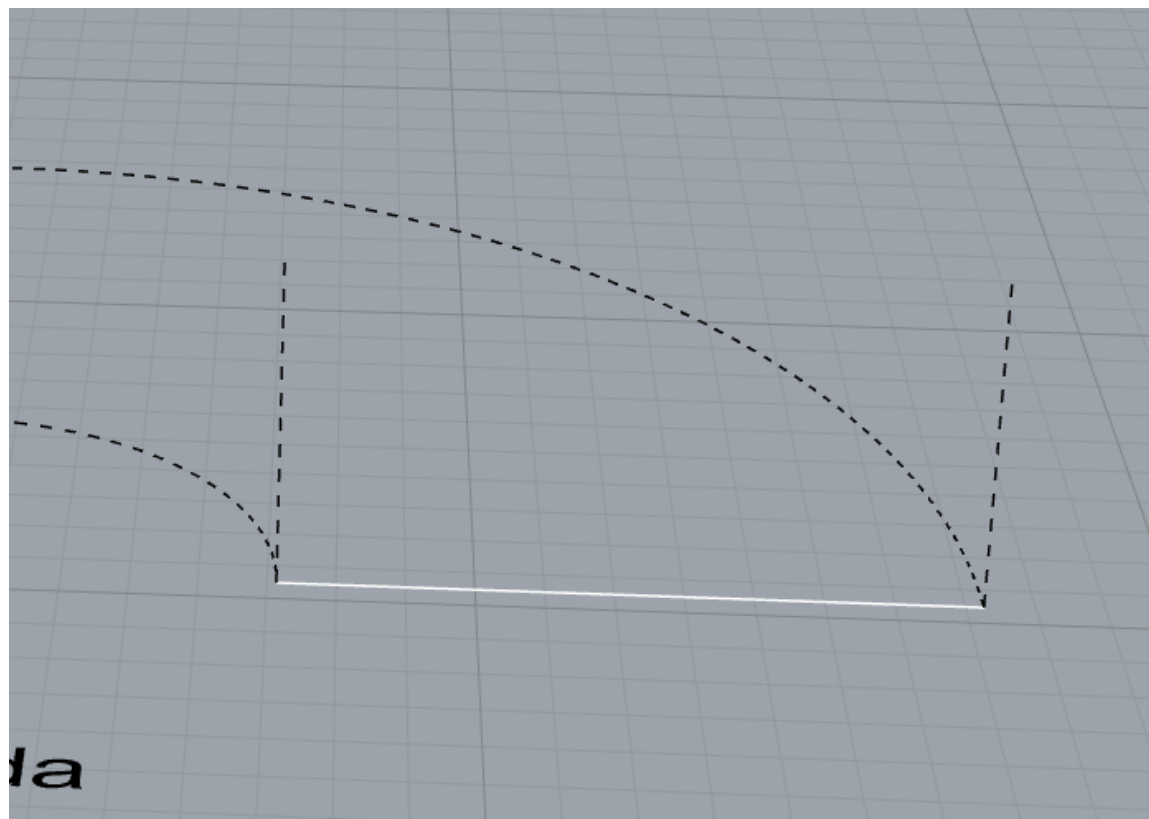
Utiliza-se o comando *Helix* para criar curvas para orientar a superfície.

Tem se de Selecionar o ponto inferior e o ponto superior do eixo, definidos pelas linhas verticais criadas.

Define-se $c = 0,5$ para só fazer em meia volta e, caso o sentido da hélice esteja invertido, ativa-se a opção *Reverse Twist*.

- O comando pede o raio da hélice, e, para isso, seleciona-se o ponto da curva interior.
- Com a hélice e a semicircunferência elevada, aplica-se o comando *Sweep 2*:

Primeiro, seleciona-se a curva de perfil da abóbada e depois, escolhem-se os dois *rails*, as hélices e a froma é a semicircunferência elevada.



Continuação da construção de Abóbadas

Abóbada de Saint-Gilles

Começa-se por criar uma linha vertical com 5 unidades de altura no meio da linha direita.

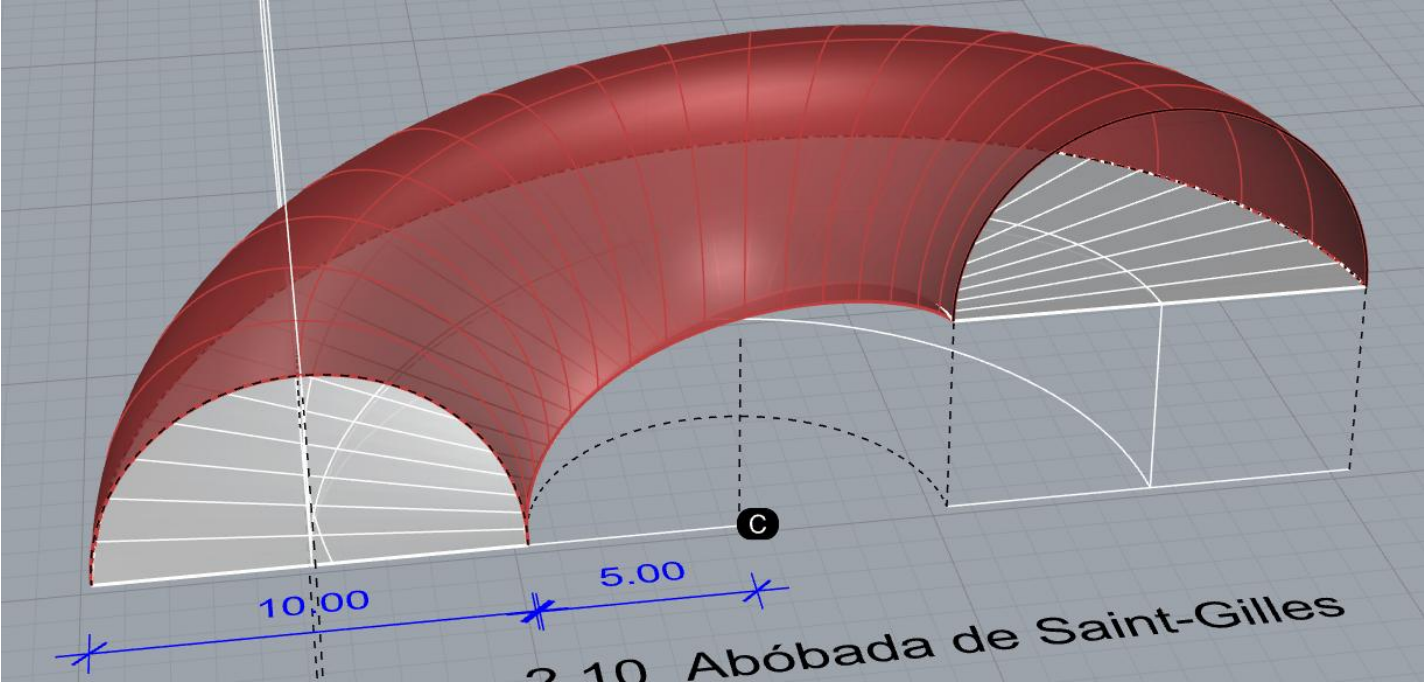
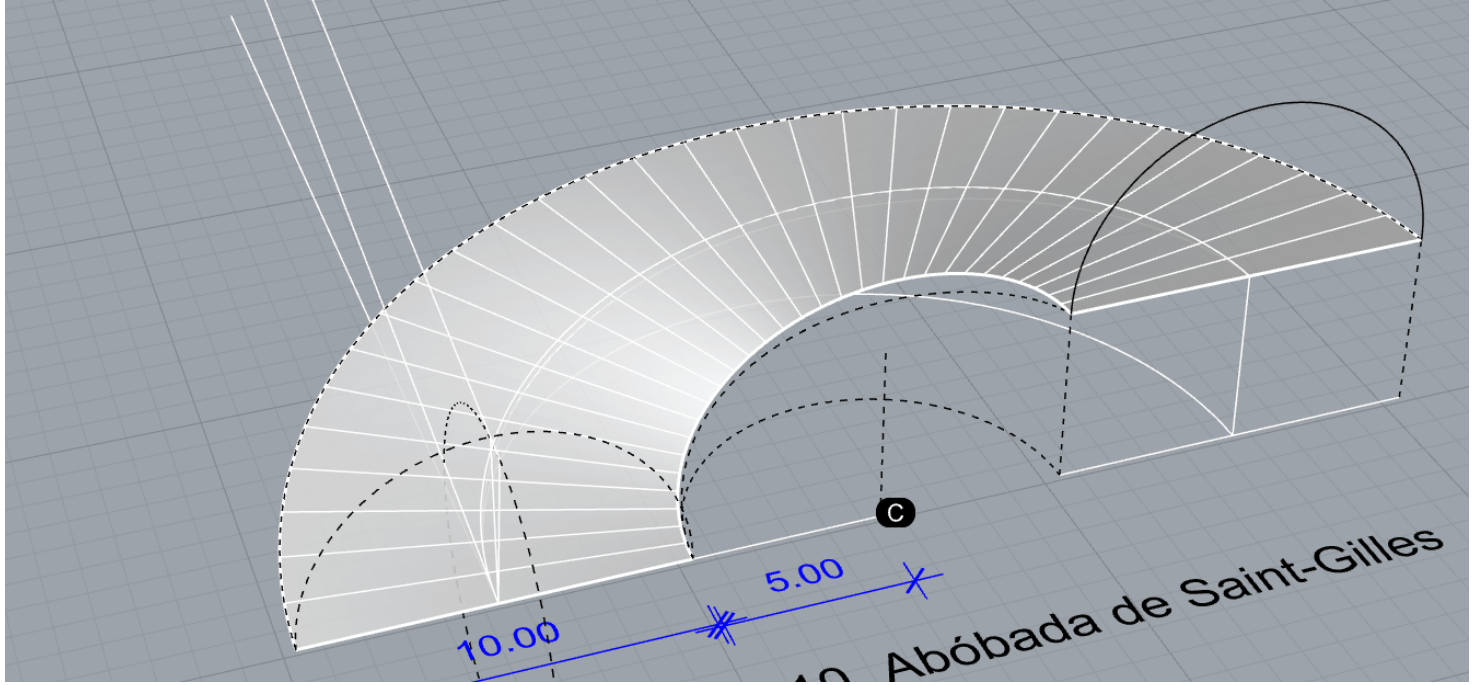
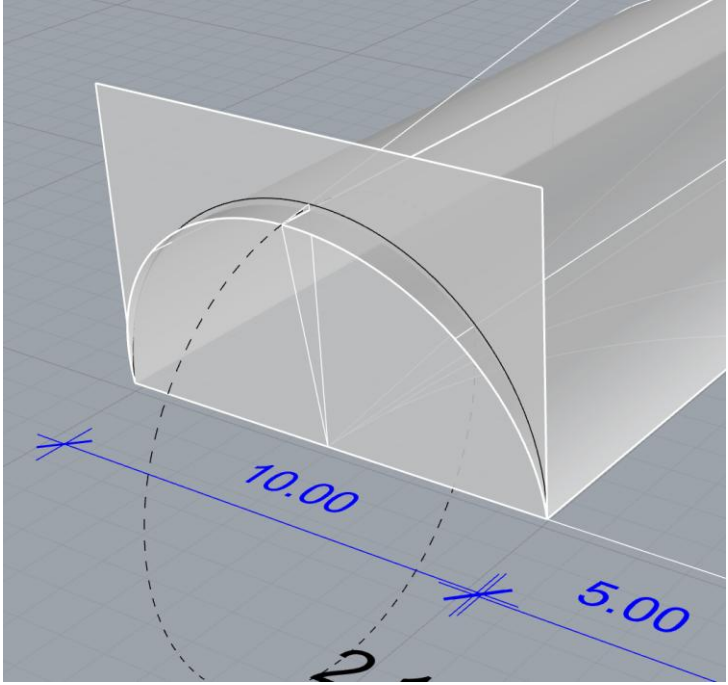
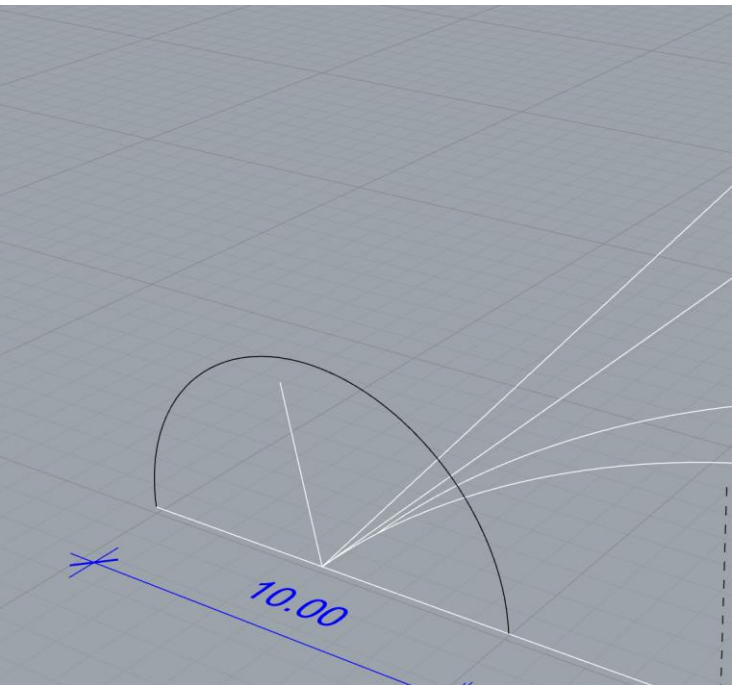
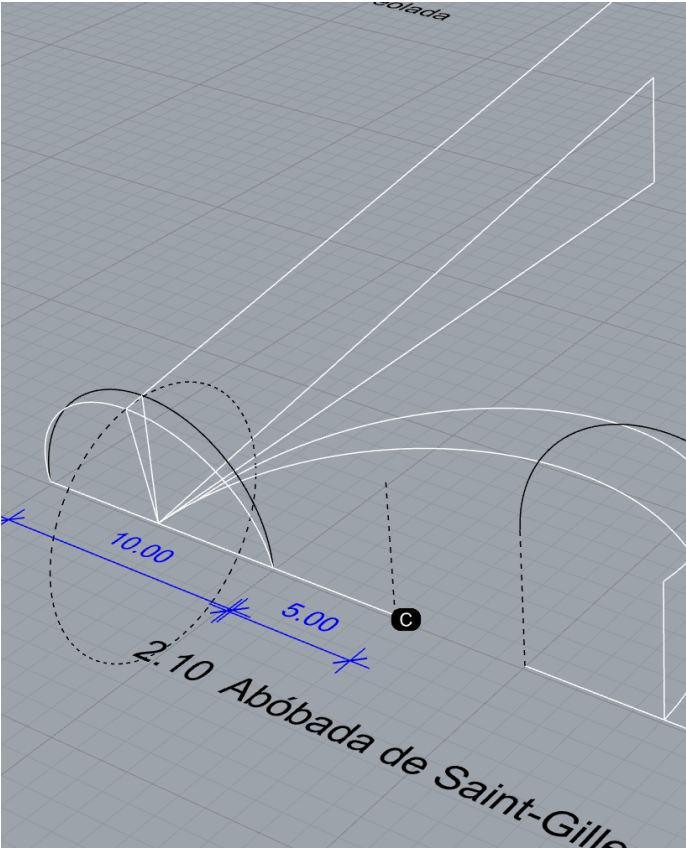
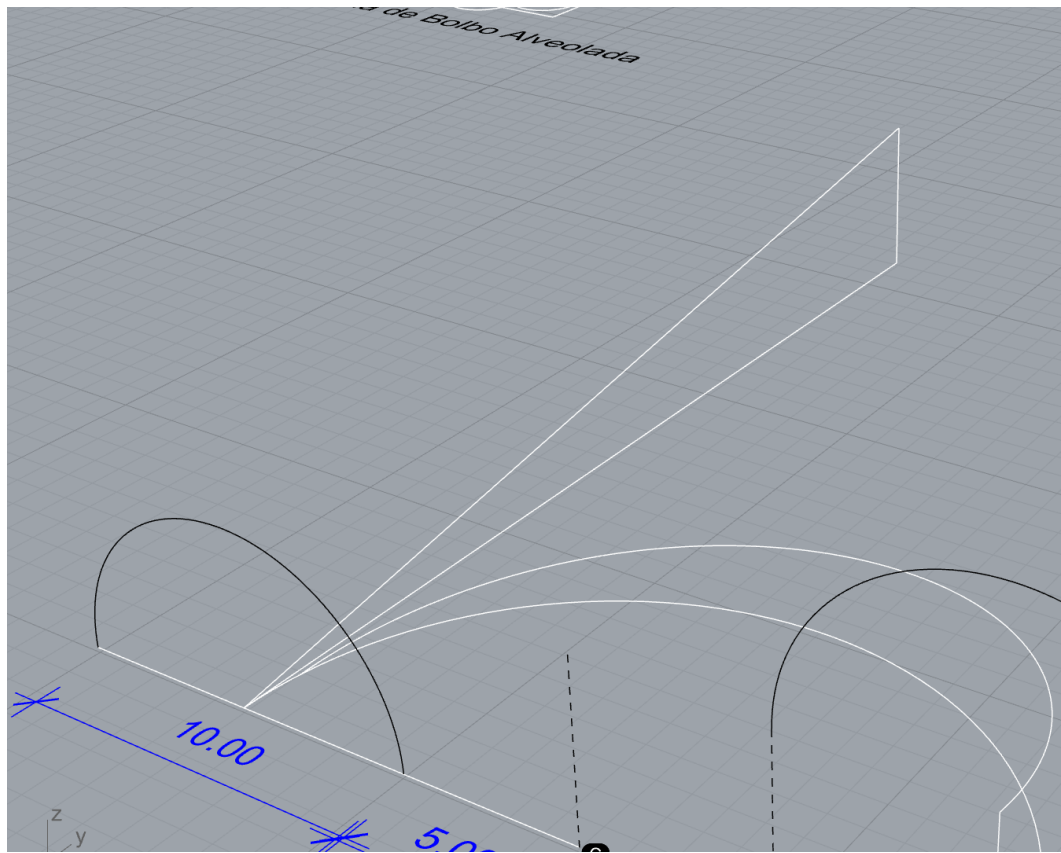
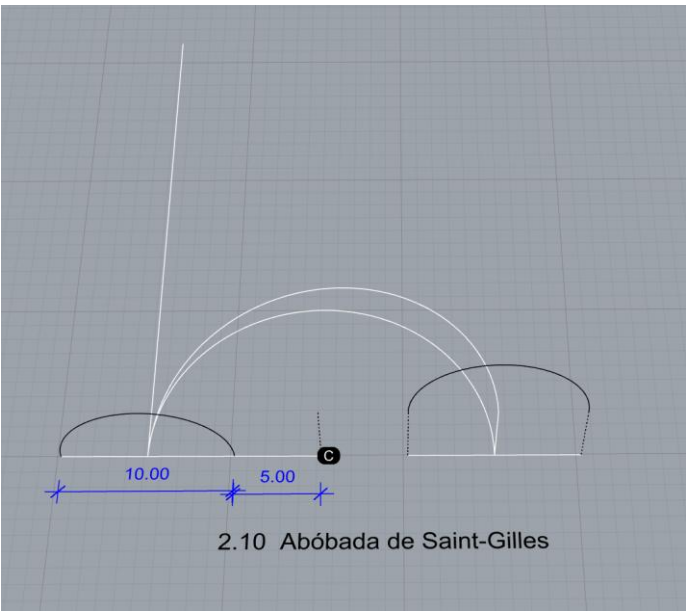
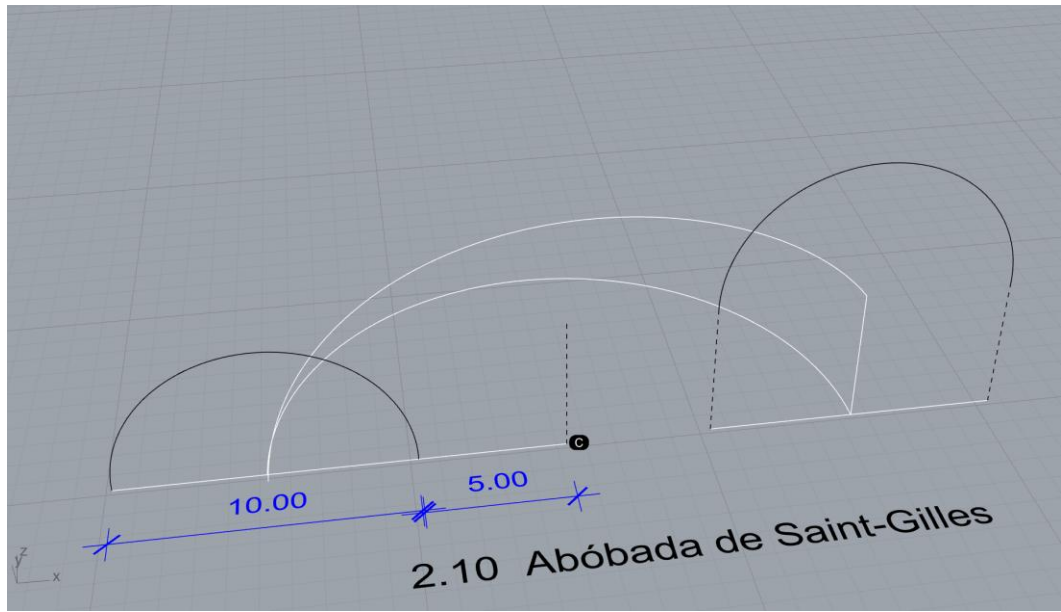
Helix- seleciona-se o ponto inferior e o ponto superior do eixo e define-se **c = 0,5** para gerar meia volta da hélice. Caso o sentido da hélice fique invertido, ativa-se a opção **Reverse Twist**. O raio da hélice é definido pelo ponto da curva interior.

Com a hélice aplicamos o **Sweep 2**. seleciona-se o perfil da abóbada da forma anterior e, depois, escolhem-se como rails as hélices. A superfície resultante segue a mesma forma semicircular elevada da abóbada anterior.

Para ajustar o comprimento da hélice, utiliza-se **length** para obter o seu comprimento. Copia-se a linha vertical de 5, mete-se no fim da mais comprida e desenha-se a hipotenusa do triângulo. De seguida, cria-se uma reta perpendicular a esta reta inclinada, passando pelo ponto de interseção entre o ângulo reto do triângulo.

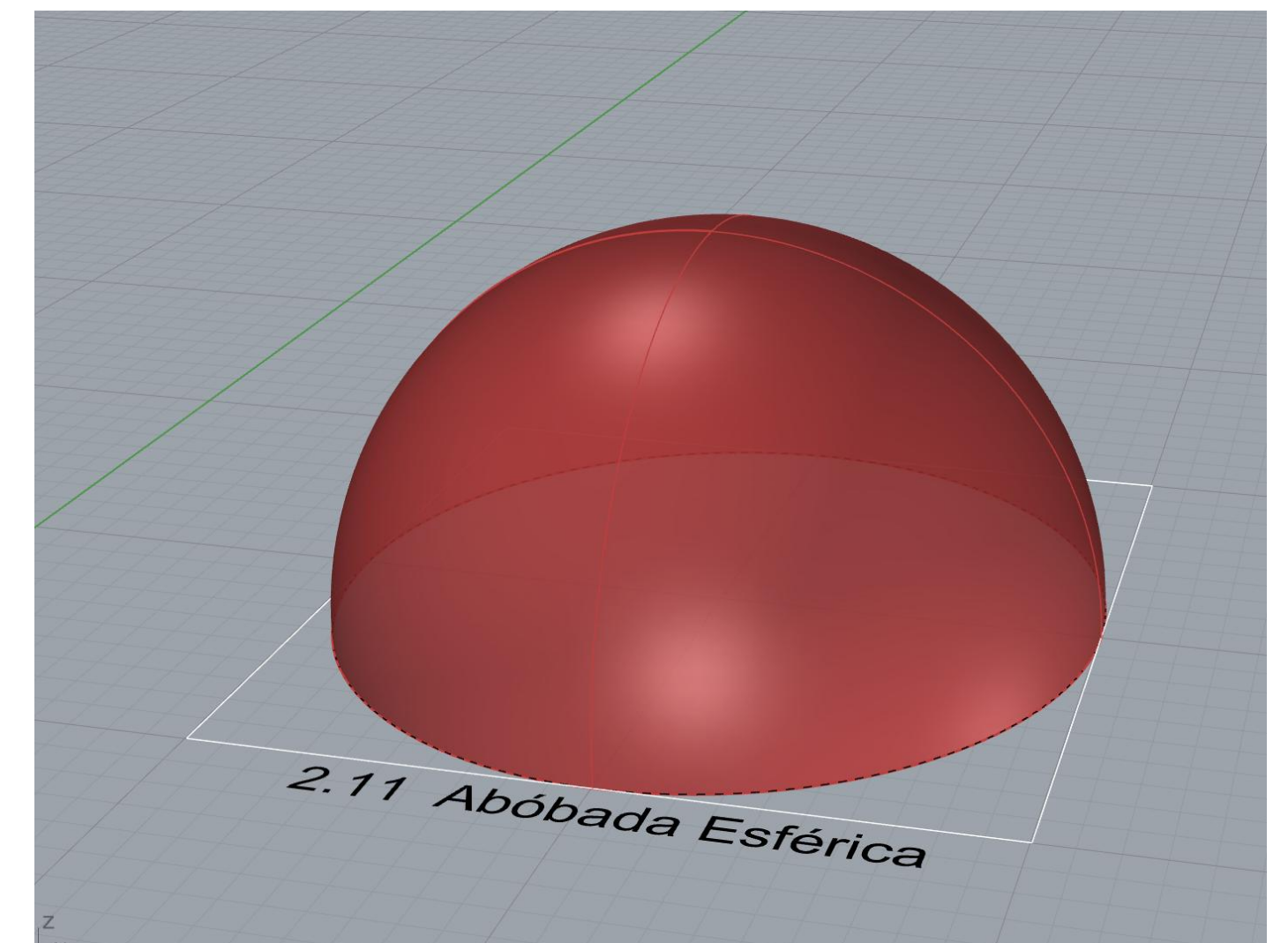
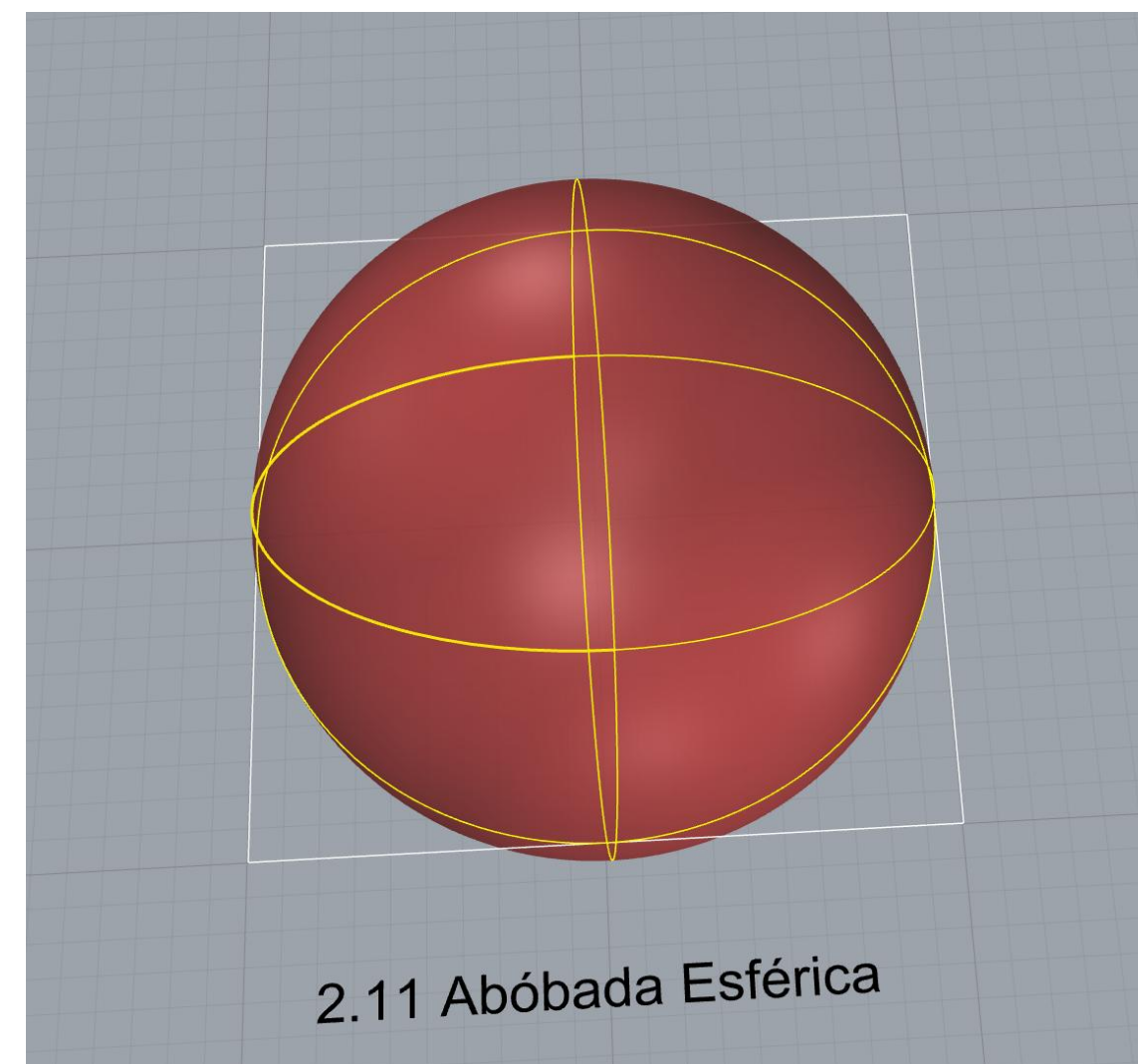
Deslocar a reta perpendicular para o centro da semi circunferência inicial. Desenha-se uma semi circunferência perpendicular à original, e com raio definido pela interseção da nova reta inclinada.

Aplica-se **Sweep 2** utilizando a circunferência inclinada.



Abóbada Esférica

A Abóbada esférica é feita a partir de um quadrado de 10 unidades e de uma circunferência inscrita nele. A abóbada esférica é a mais básica, tendo só a forma de meia esfera. Assim, os únicos comandos necessários são a criação de uma esfera a partir do centro da circunferência e do ponto onde esta intersecta o quadrado e, para concluir, utiliza-se o comando trim, selecciona-se a circunferência original e apaga-se a metade inferior da esfera.

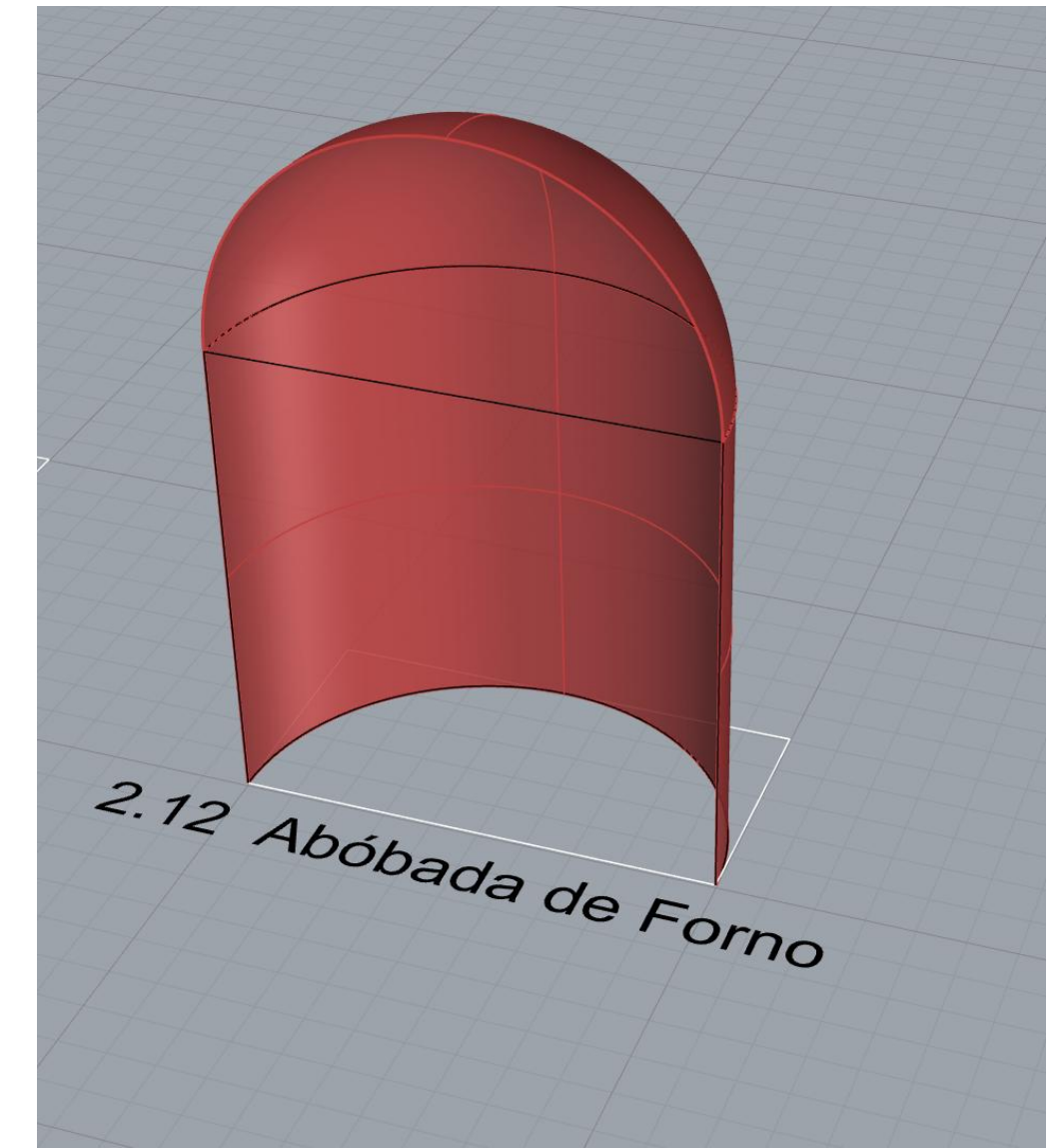
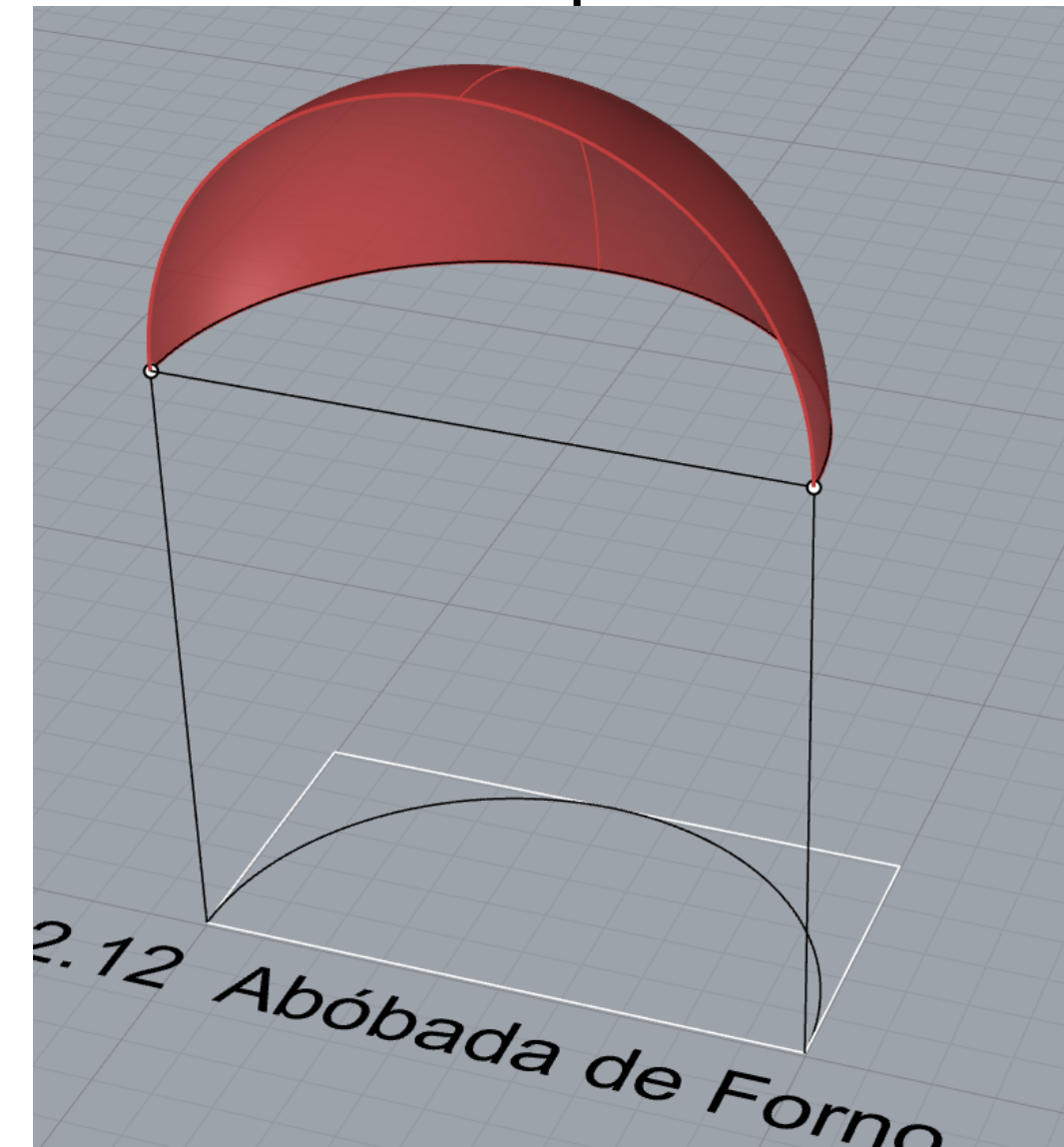
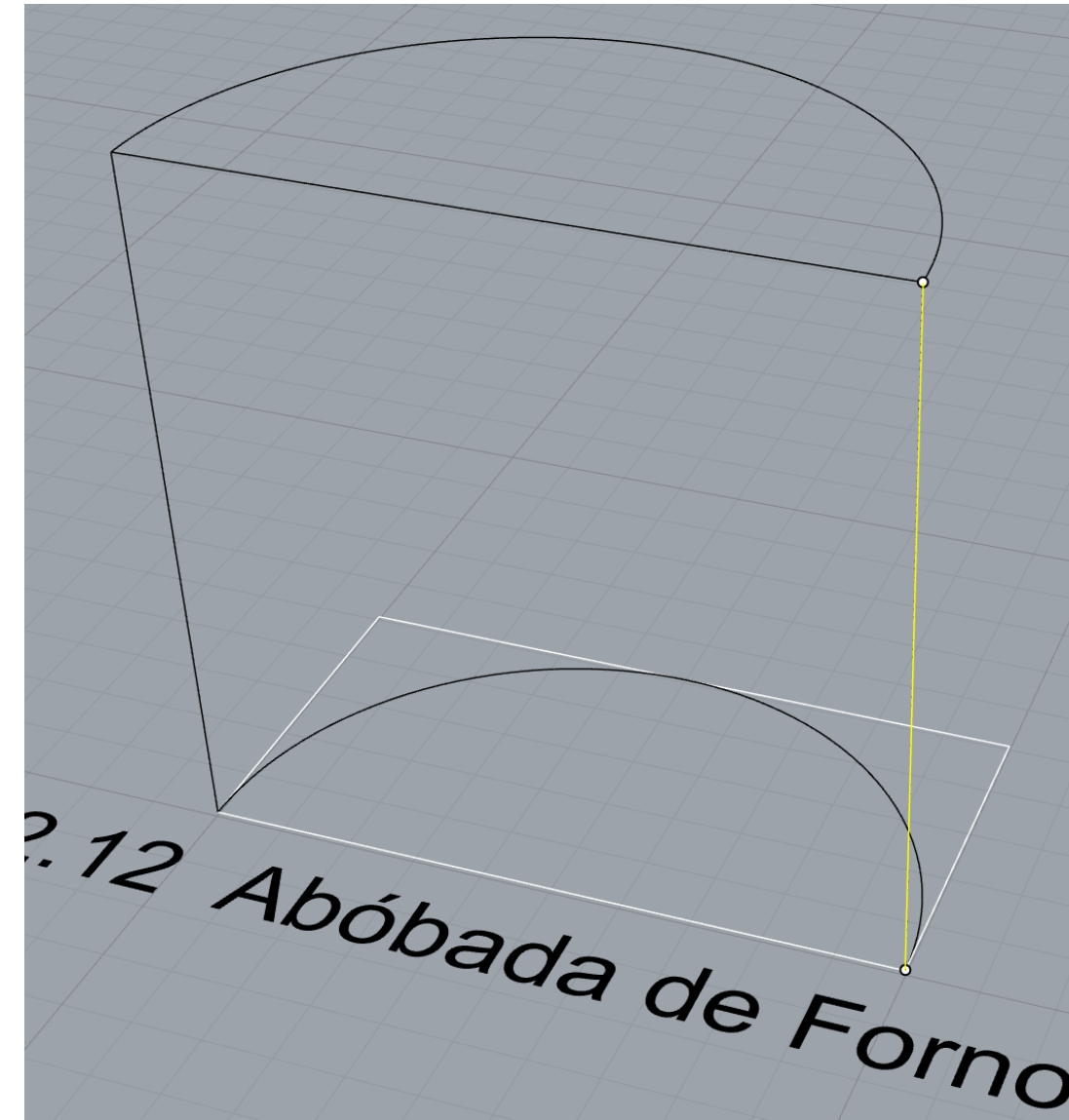
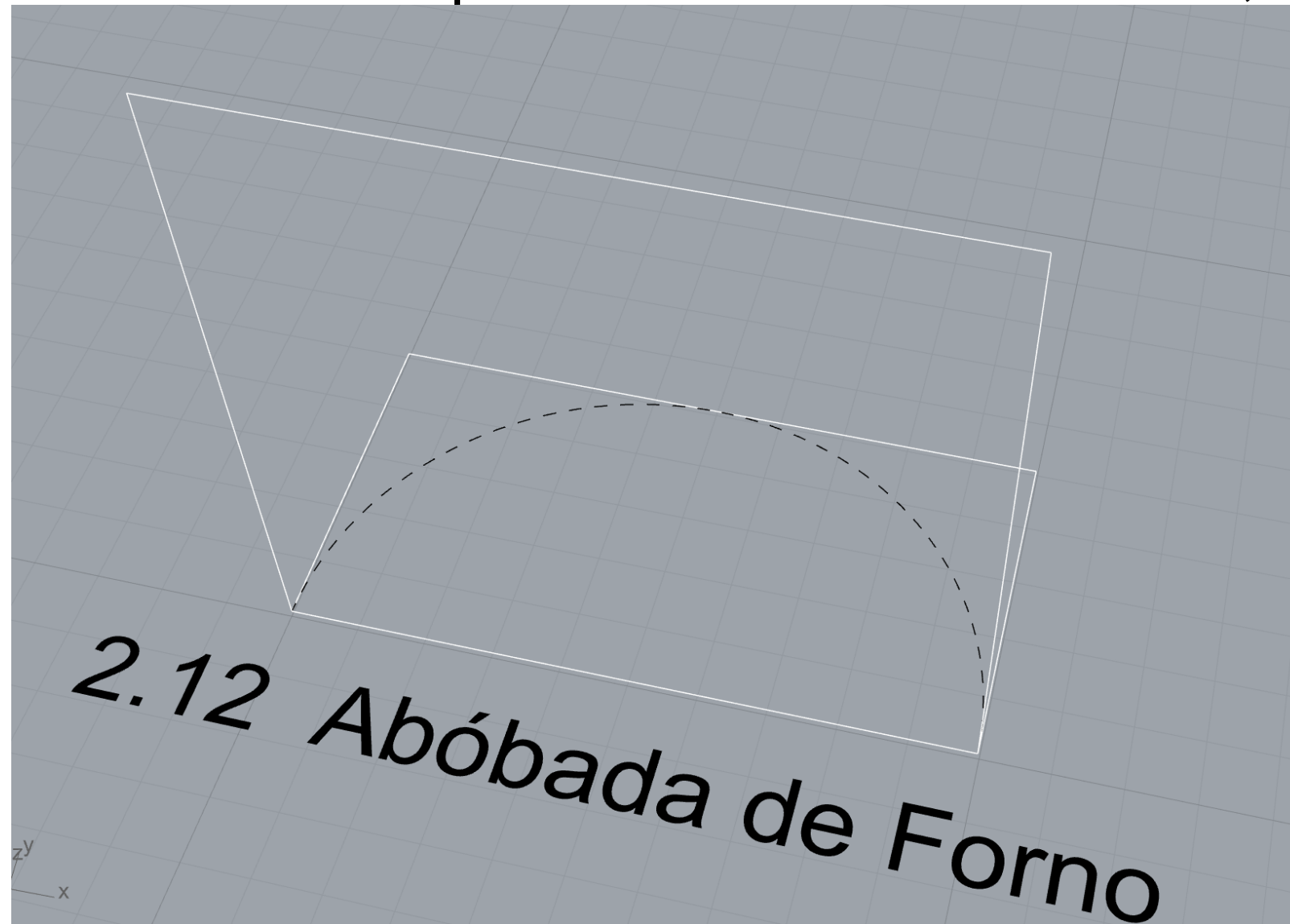


Abóbada de Forno

A abóbada de forno tem uma forma de base diferente das abóbadas anteriores: é construída a partir de um retângulo de 10 por 5 unidades. Dentro desse retângulo, cria-se uma circunferência e utiliza-se o comando trim para remover a parte que fica fora.

Em seguida, cria-se um quadrado vertical com 10 unidades para transportar essa meia circunferência verticalmente. A partir dessa semicircunferência, cria-se uma esfera e, com o comando trim, mantém-se apenas $\frac{1}{4}$ da esfera.

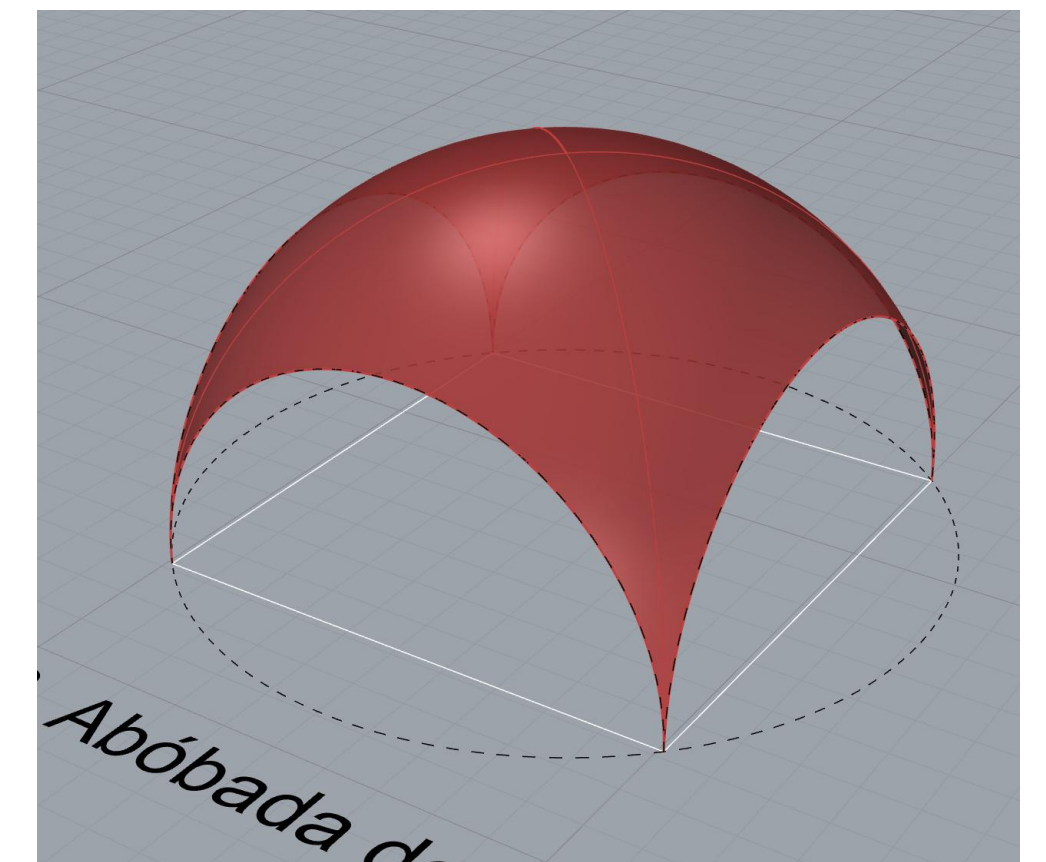
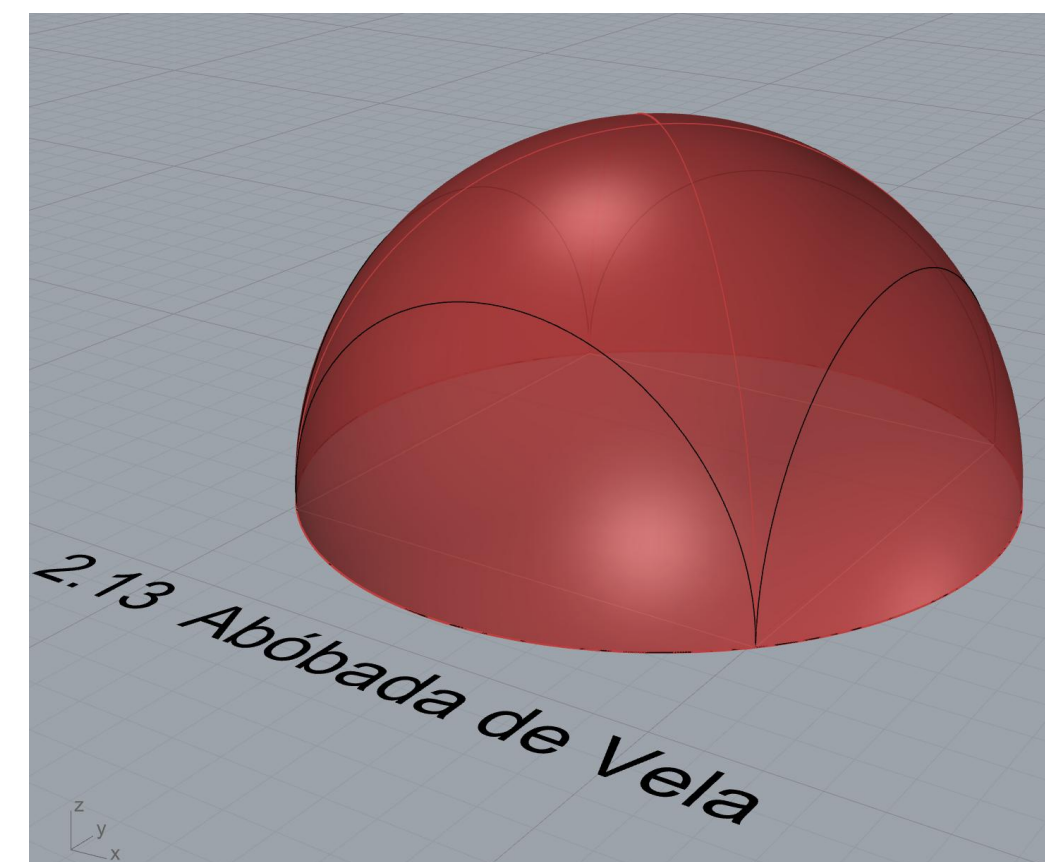
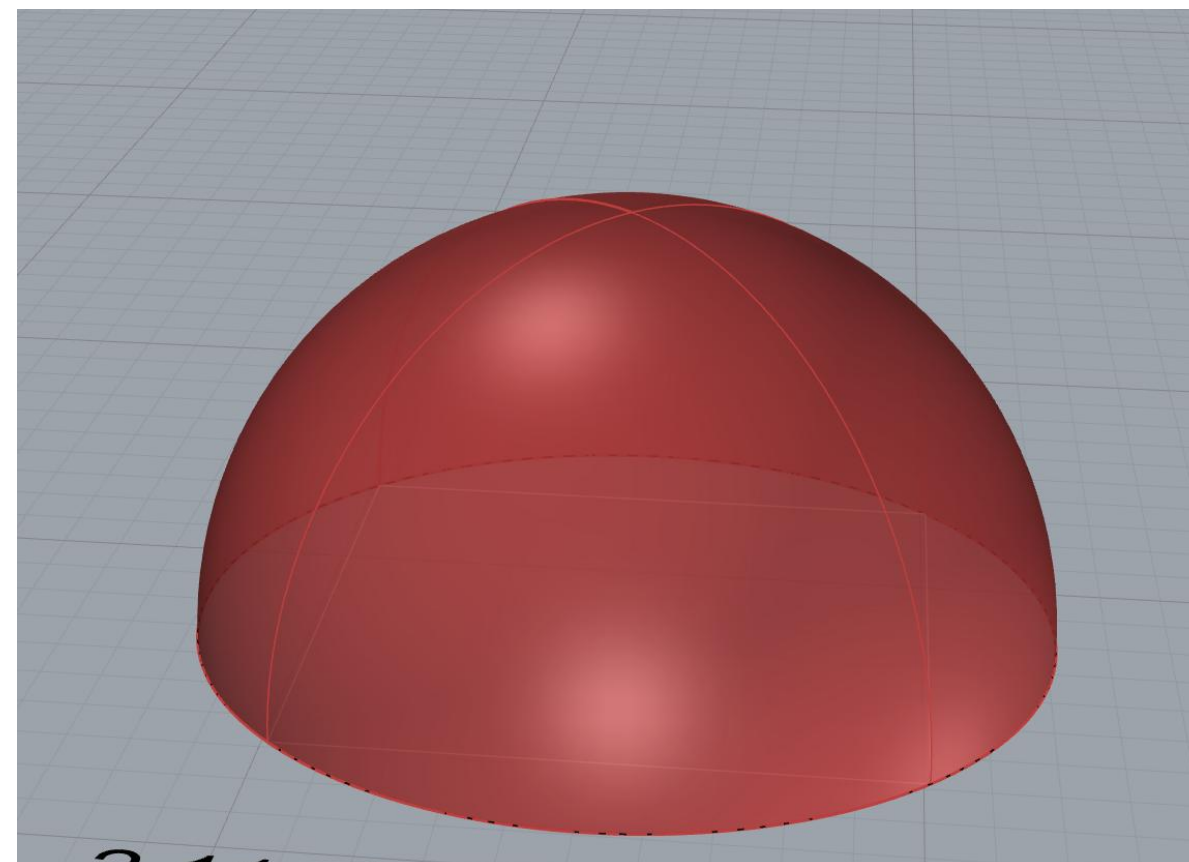
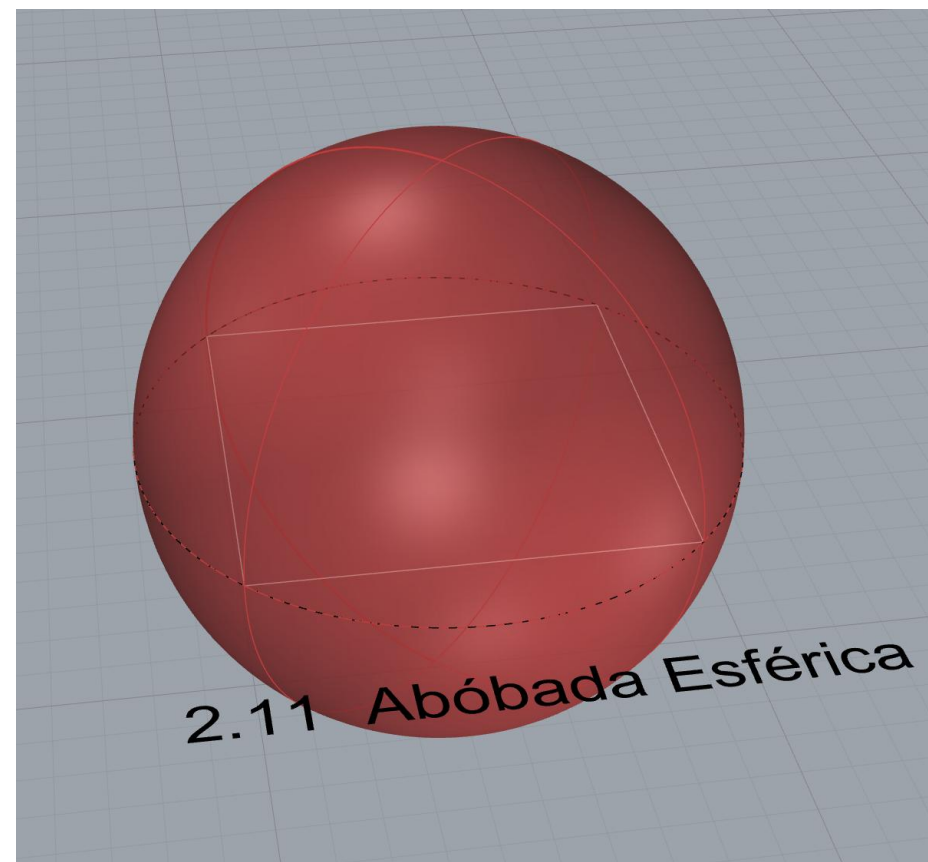
Para formar a parte do tronco da abóbada, utiliza-se o comando loft entre a curva inferior e superior.



Abóbada de Vela

A abóbada de vela começa a partir de uma abóbada esférica. Nessa semiesfera, cria-se uma circunferência exterior ao quadrado de 10 unidades. Em seguida, cria-se a esfera e, com o comando trim, corta-se a metade inferior.

Com o quadrado inicial, utiliza-se o comando project para o projetar na semiesfera superior. Esta ferramenta define as zonas que serão cortadas. Por fim, com o comando trim, removem-se as quatro interseções inferiores entre o quadrado projetado e a esfera.

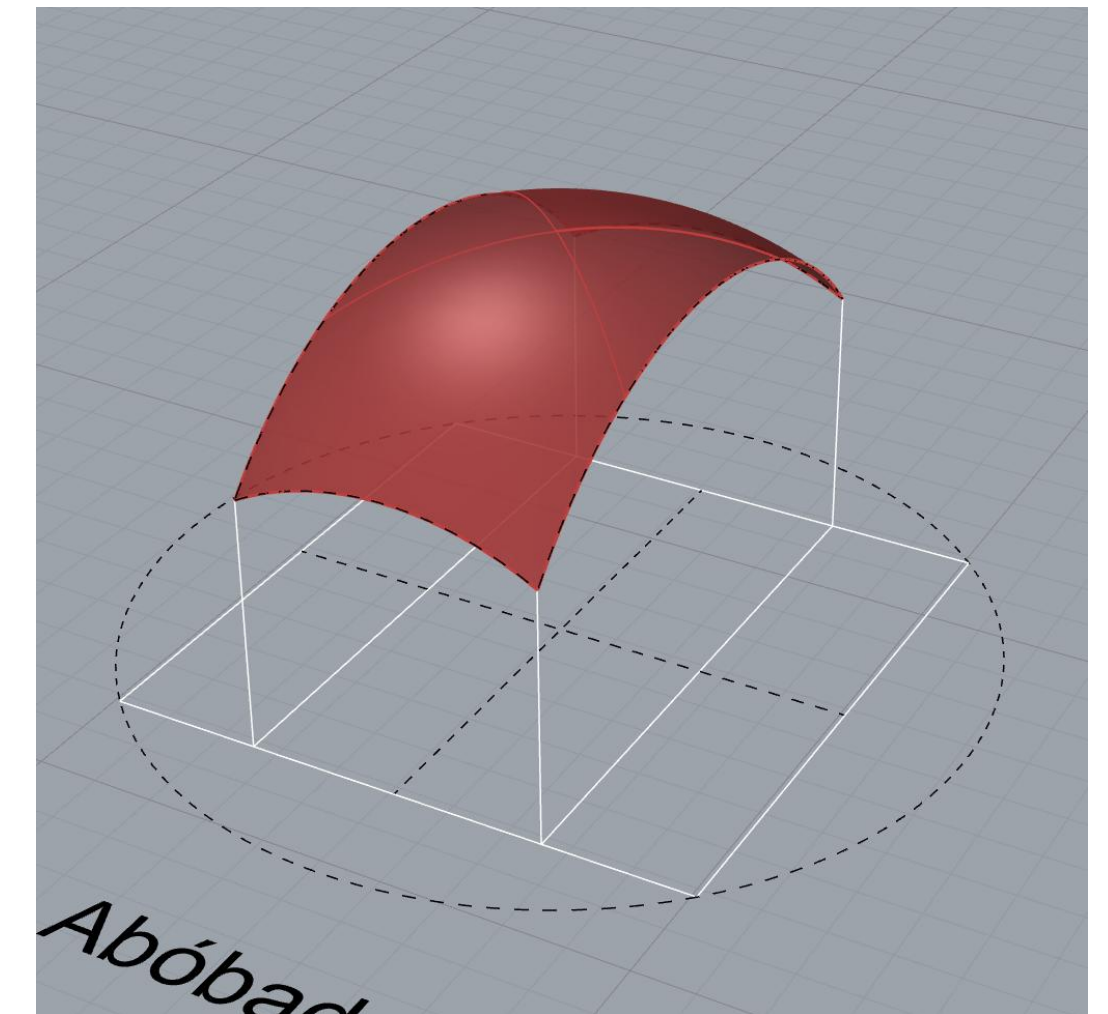
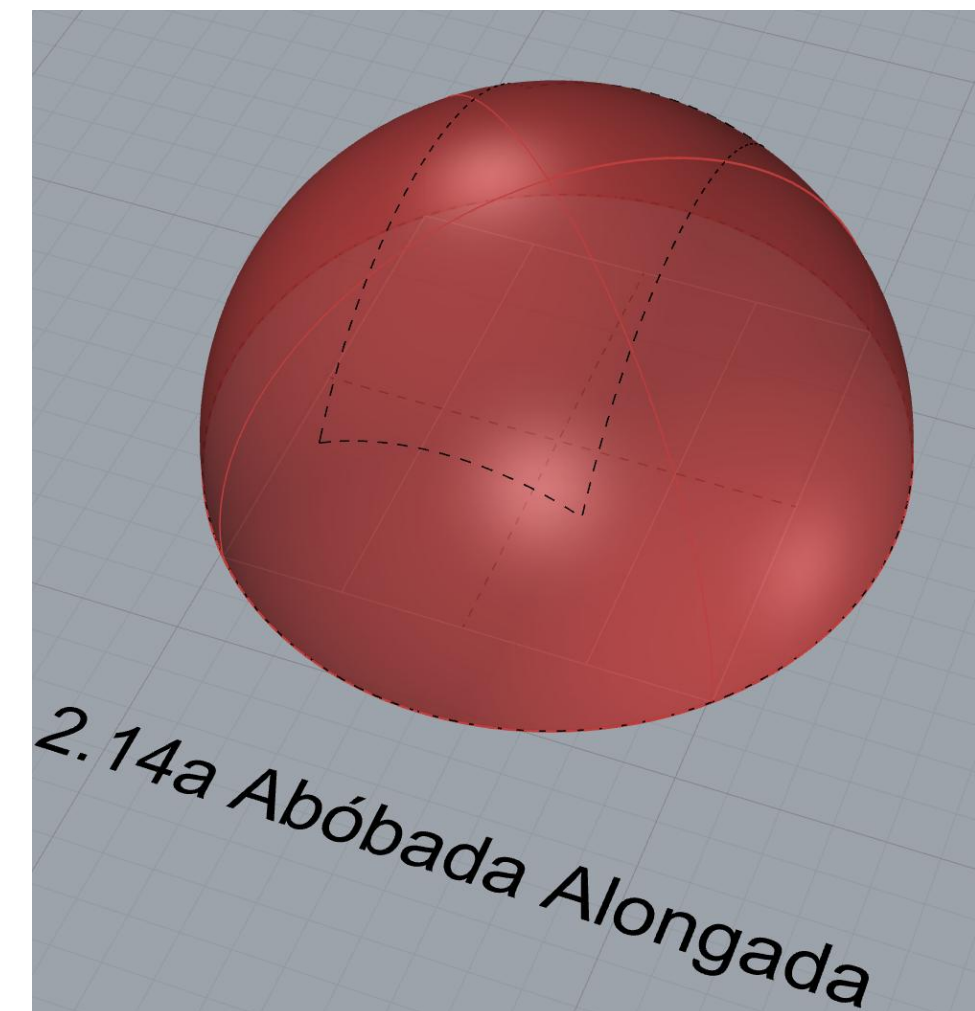
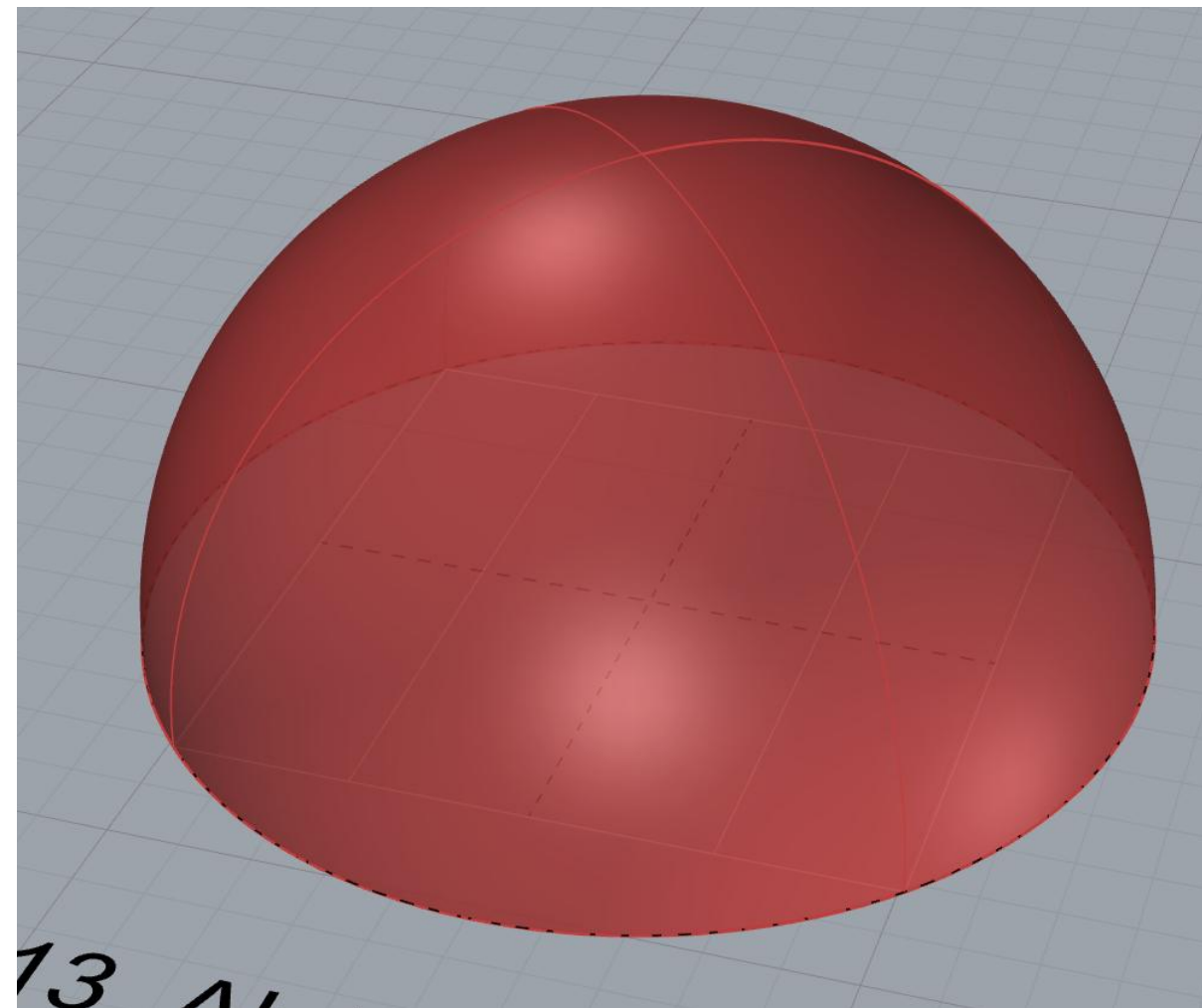
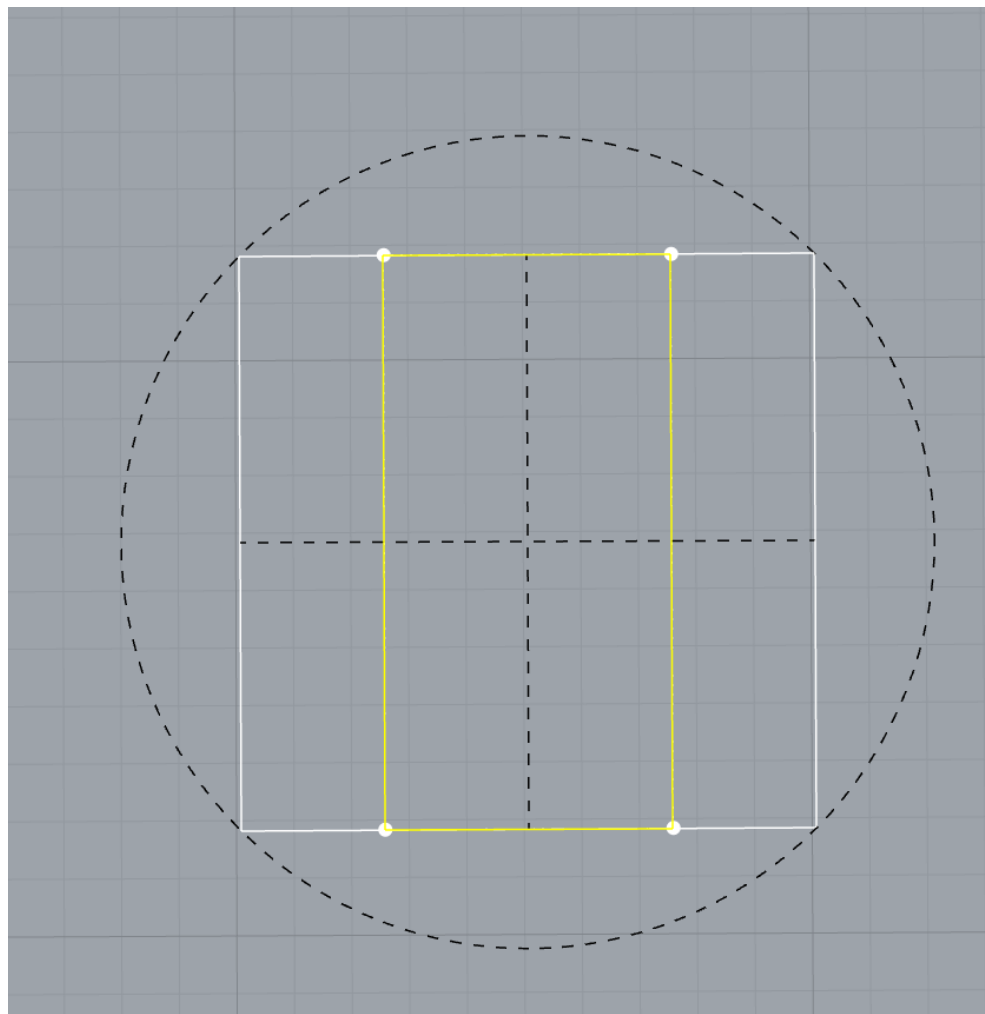


Abóbada Alongada a)

A abóbada alongada tem um processo parecido ao da abóbada de vela, mas, desta vez, utiliza-se um retângulo projetado em vez de um quadrado. Mantém-se a base quadrangular de 10 unidades e a semiesfera obtida com o comando trim.

Cria-se um retângulo centrado no quadrado. Com o comando project, esse retângulo é projetado na superfície esférica, e cria as curvas de interseção que orientam a forma.

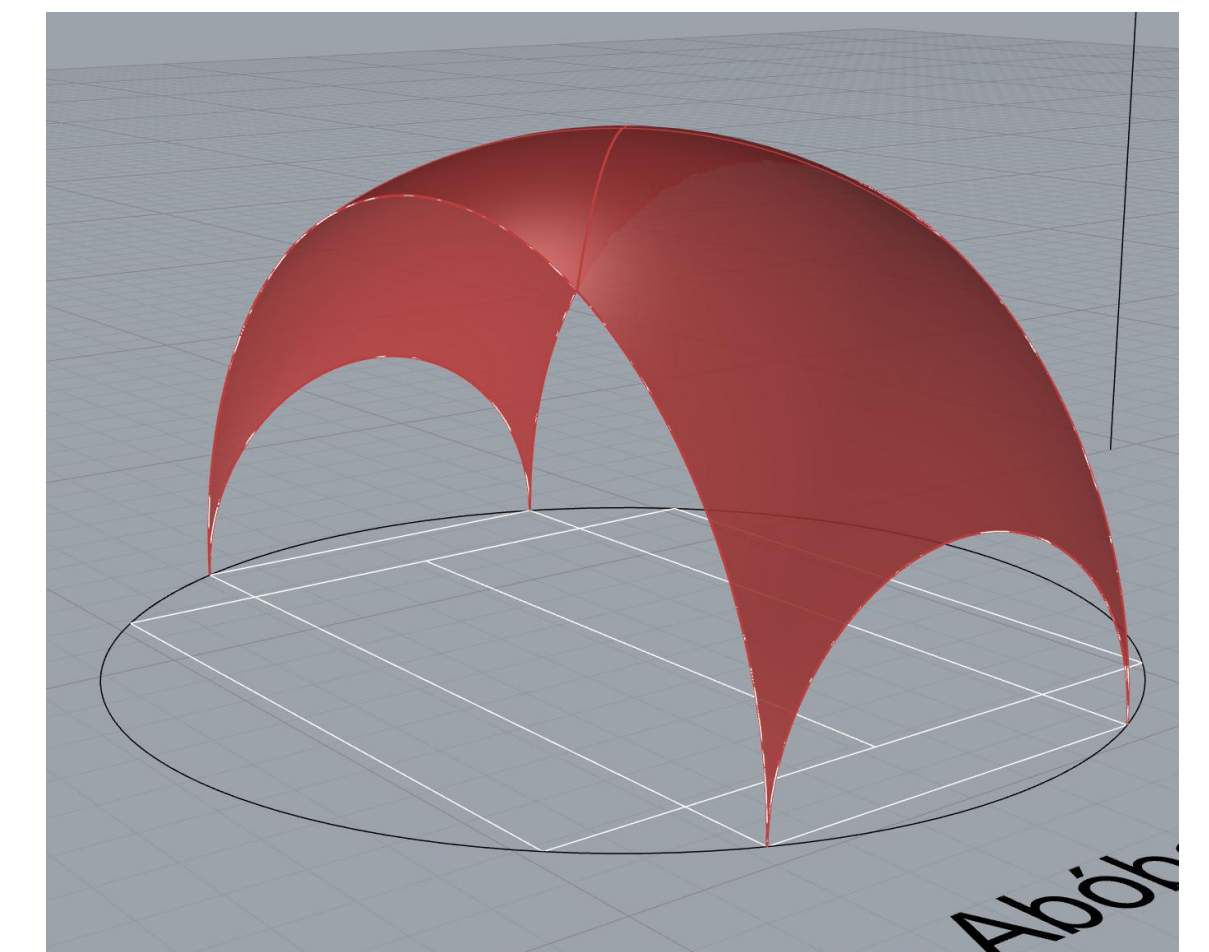
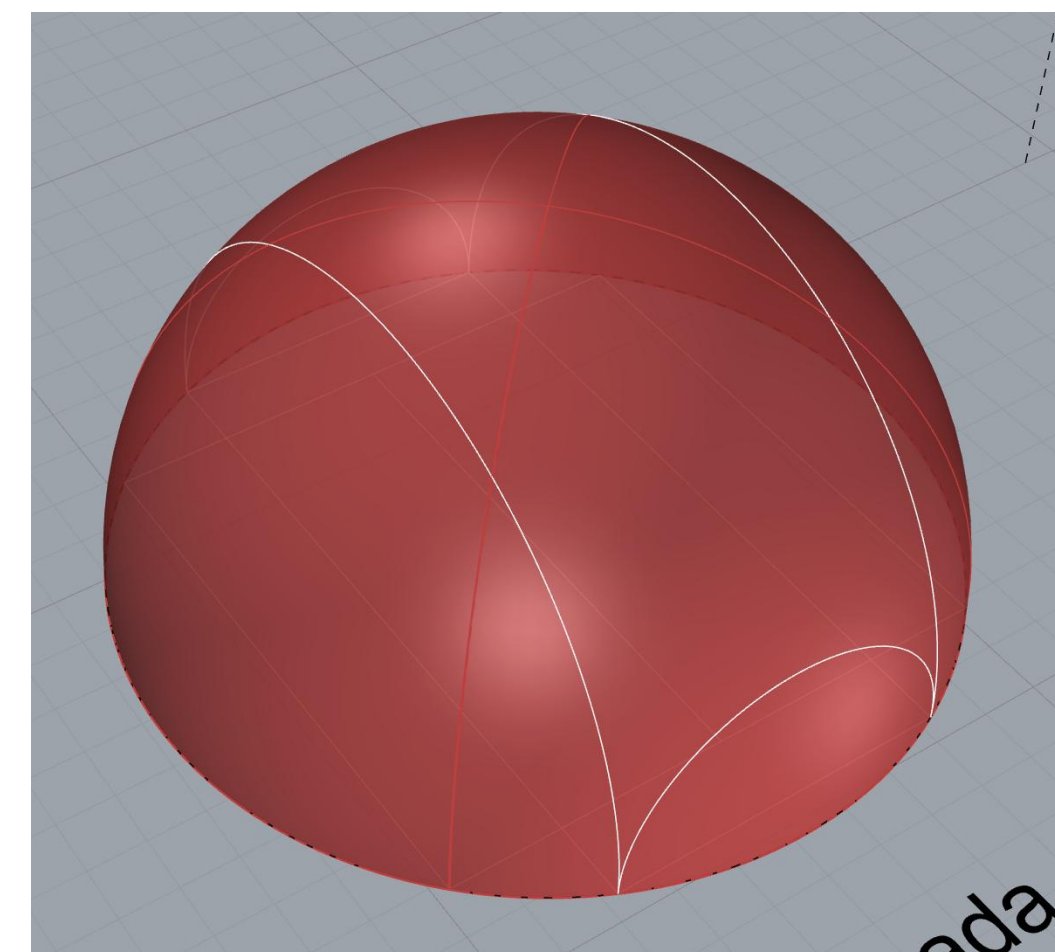
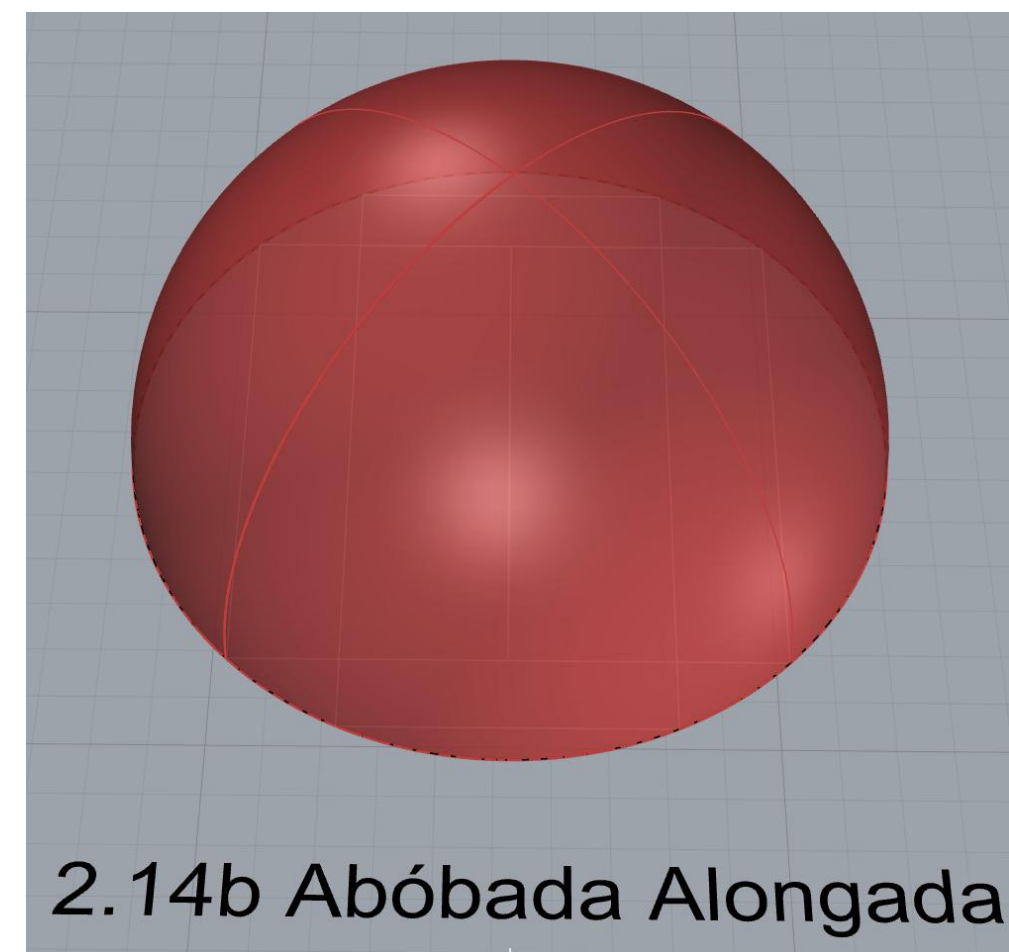
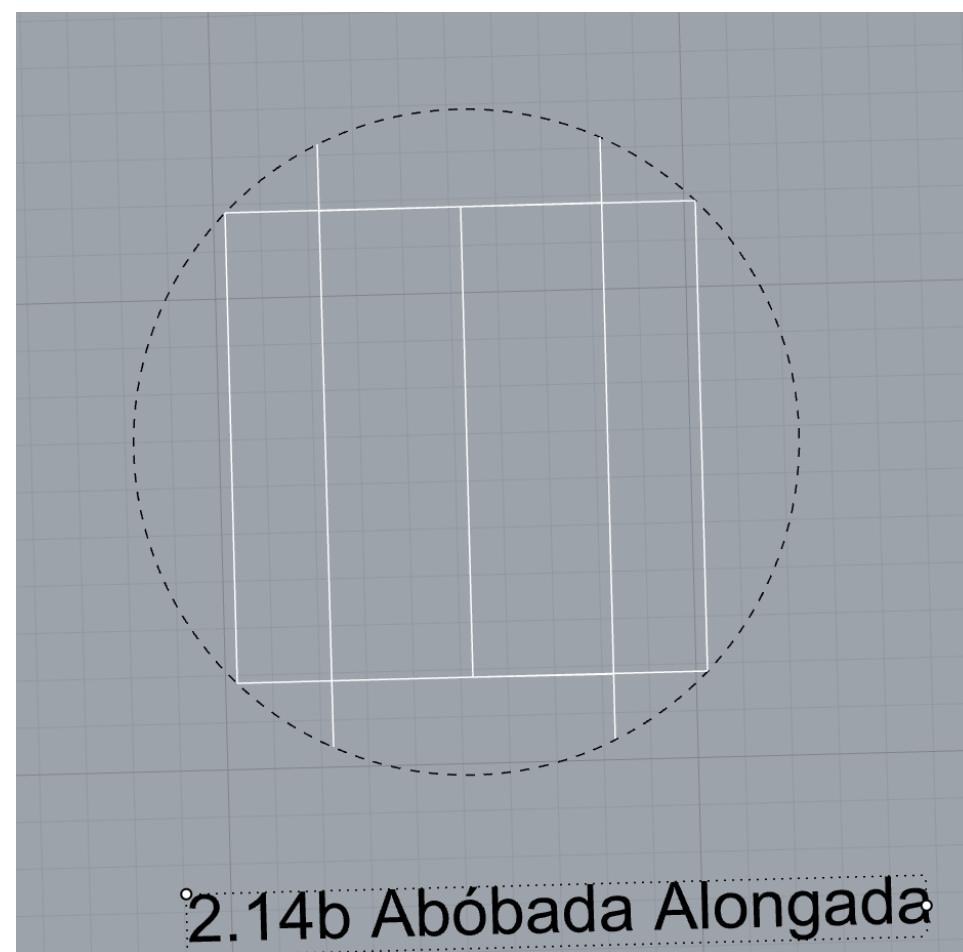
De seguida, com o comando trim, remove-se o excesso da esfera com base nessas interseções, deixando apenas a abóbada final.



Abóbada Alongada b)

A abóbada seguinte é semelhante à anterior, mas com dimensões diferentes do retângulo. No quadrado inicial, cria-se um retângulo com 6 unidades. Em seguida, selecionam-se os lados mais compridos do retângulo e, com o comando extend, prolongam-se essas linhas até tocarem na circunferência, formando assim um novo retângulo.

Depois, cria-se a semiesfera e projeta-se o retângulo na superfície esférica com o comando project. Por fim, com o comando trim, removem-se as partes excedentes para obter a forma final da abóbada.



Abóbada Catalã

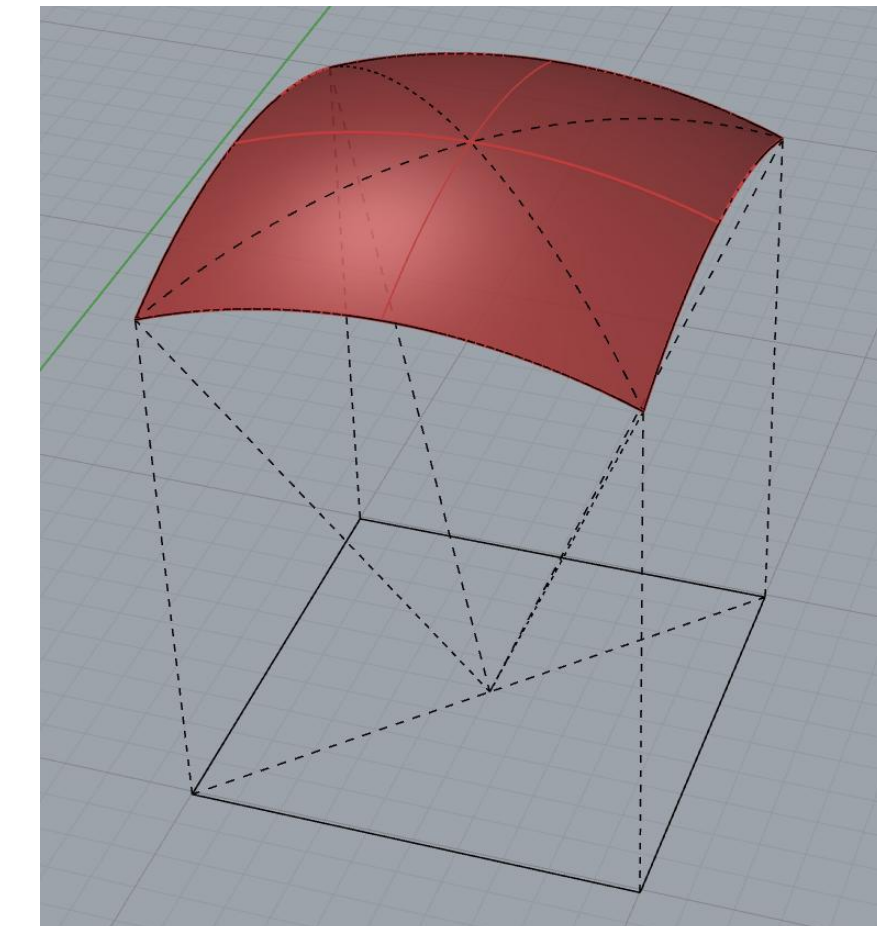
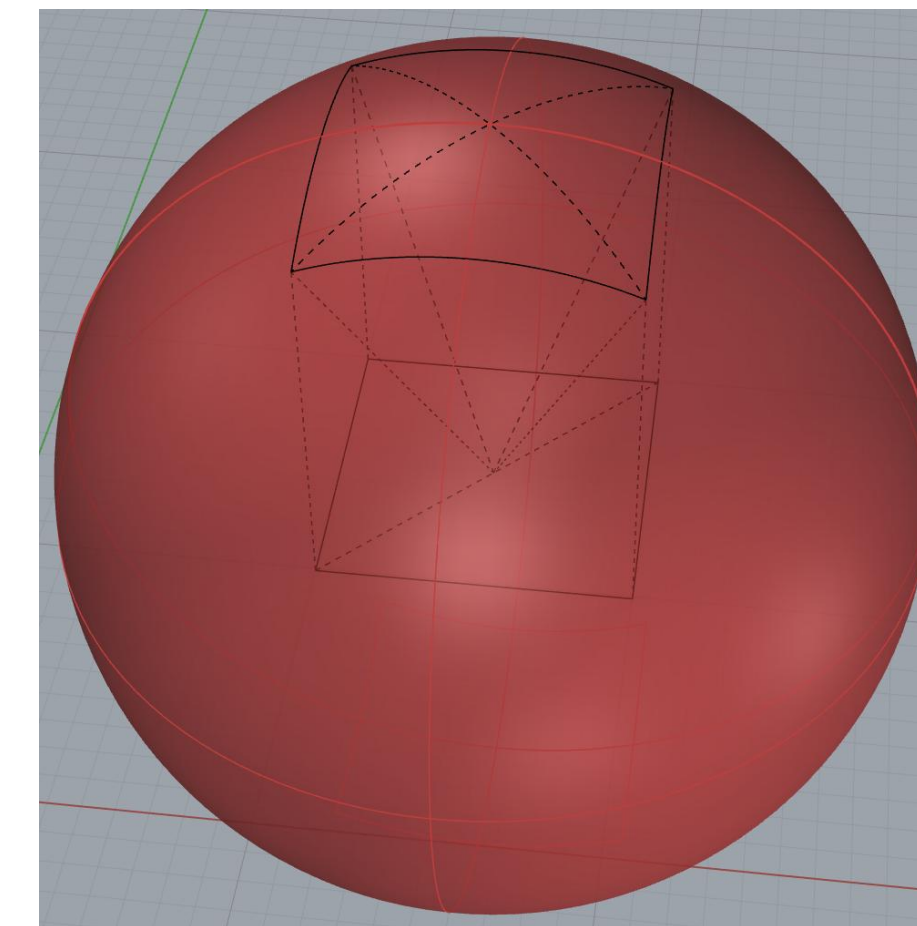
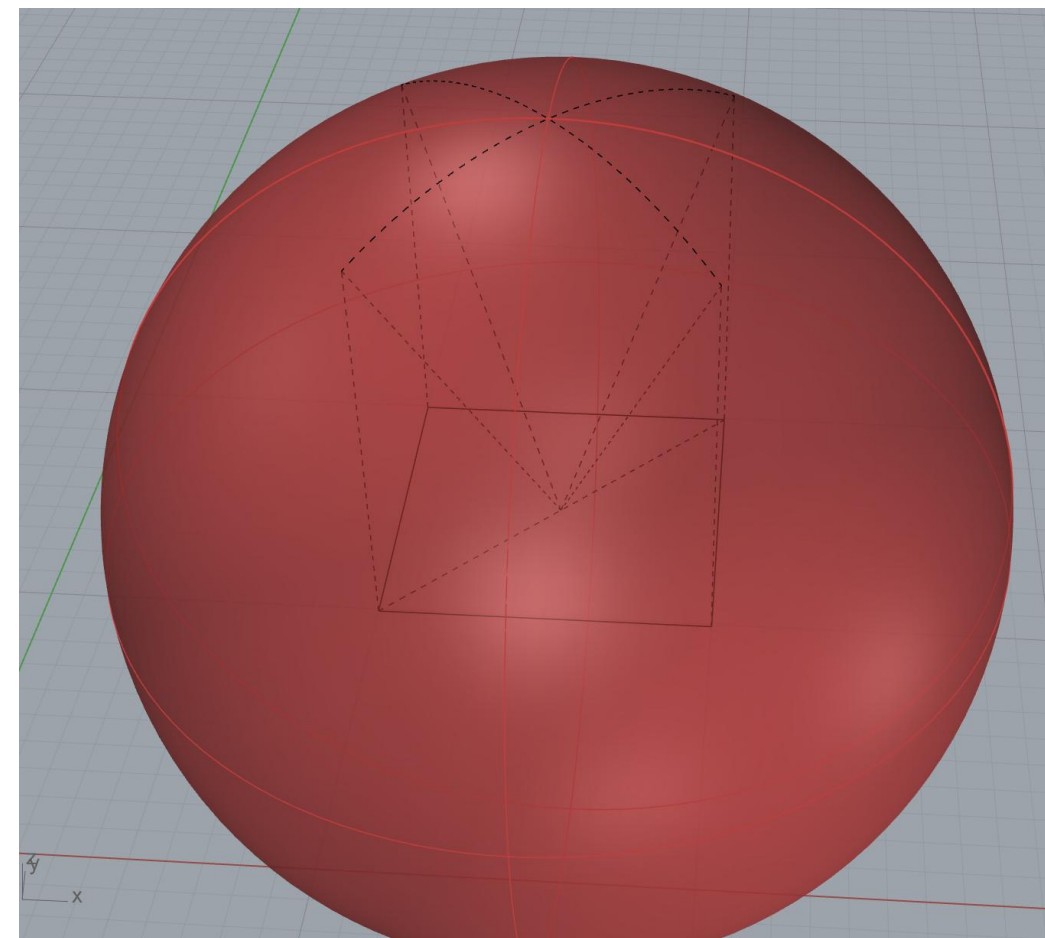
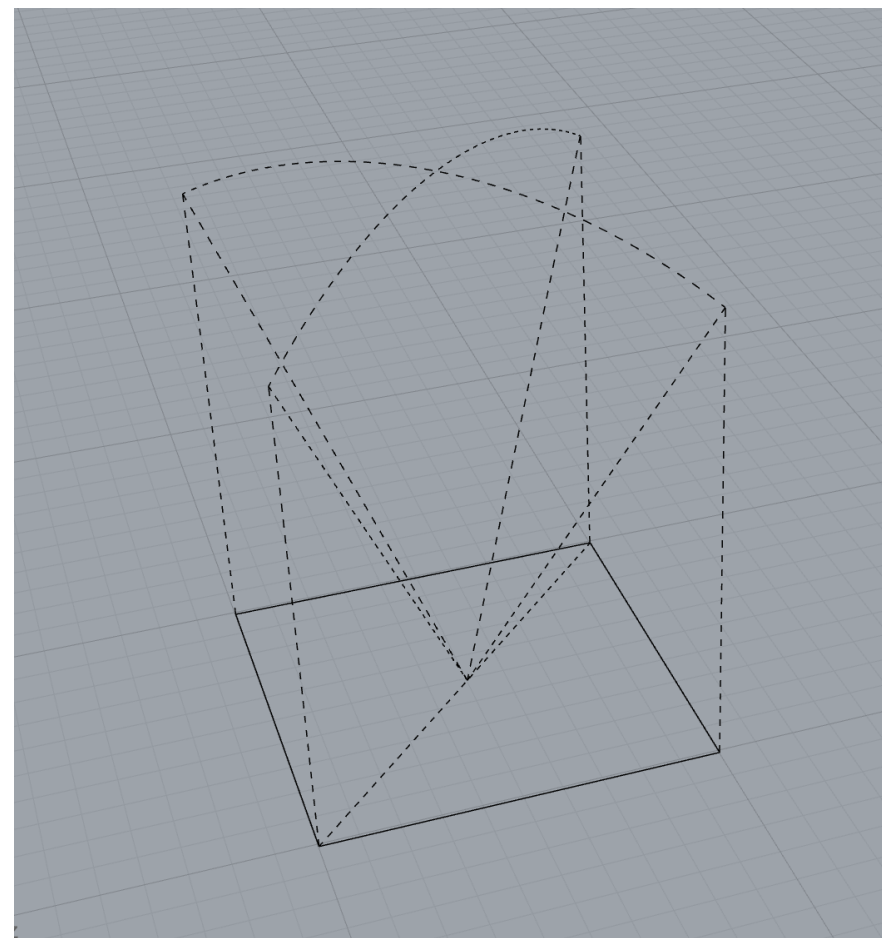
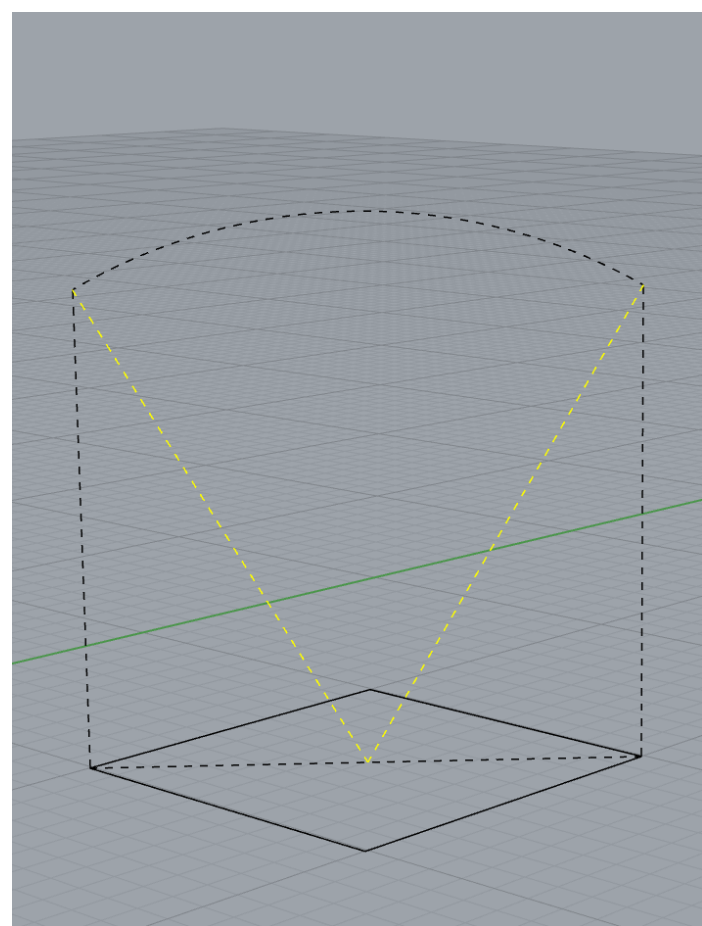
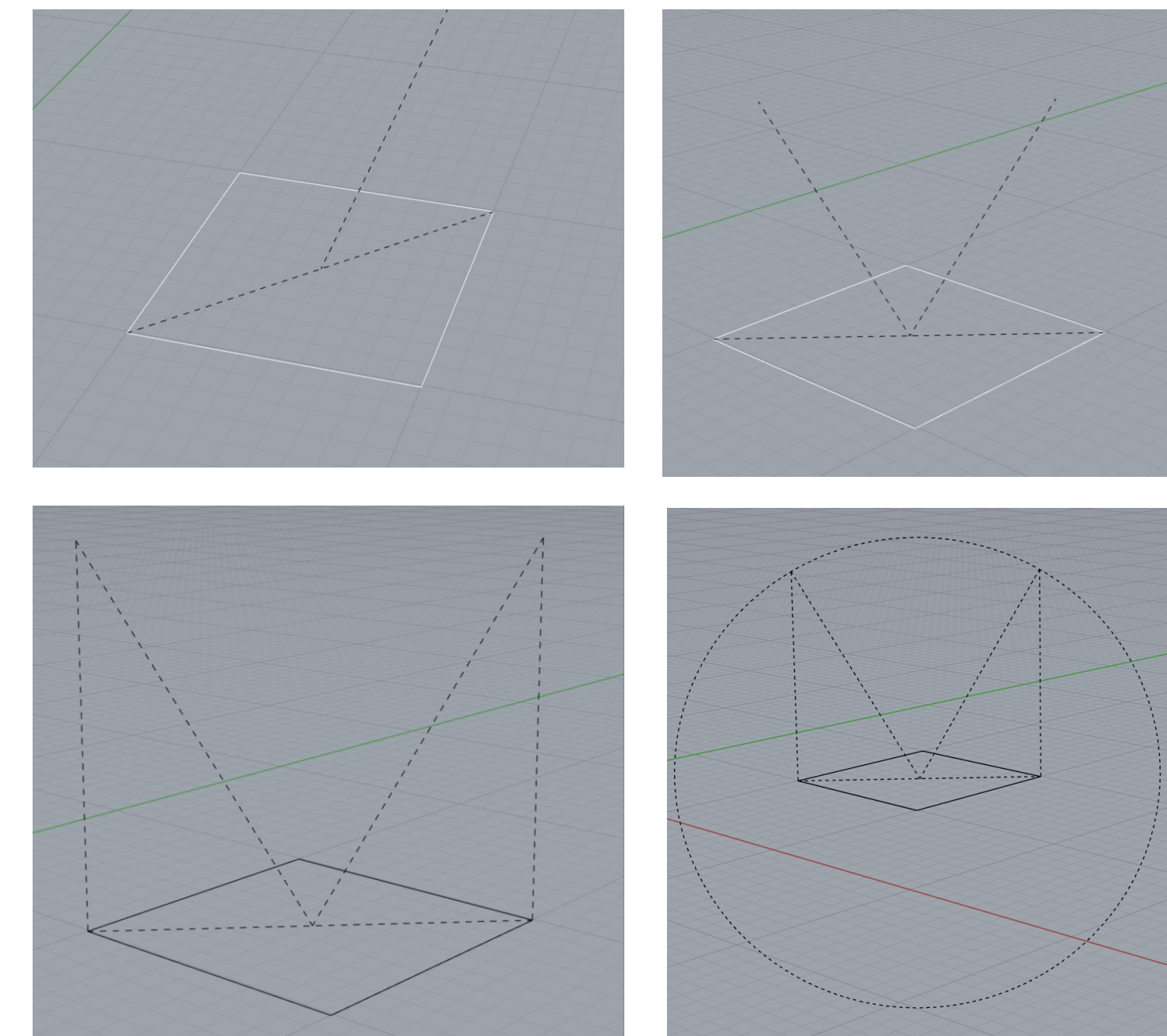
A abóbada catalã tem como base o quadrado de 10 unidades. Começa-se por traçar a diagonal do quadrado. Cria-se duas linhas em cantos opostos do quadrado utilizando coordenadas polares (@10<45<60), que serão projetadas horizontalmente sobre essa diagonal.

Depois, criam-se duas linhas verticais em cada canto da diagonal e utiliza-se o comando fillet para unir essas novas linhas às linhas das coordenadas.

Desenha-se uma circunferência com centro no centro do quadrado, passando pelos pontos de interseção. Com o comando trim, remove-se a parte da circunferência que não se encontra entre esses dois pontos.

Aplica-se o comando mirror para replicar as linhas (as das coordenadas e as verticais) para a outra diagonal do quadrado, formando assim uma cruz.

Por fim, cria-se a esfera, projeta-se o desenho no quadrado inicial com o comando project e, com o comando trim, elimina-se o excesso para obter a forma final da abóbada.



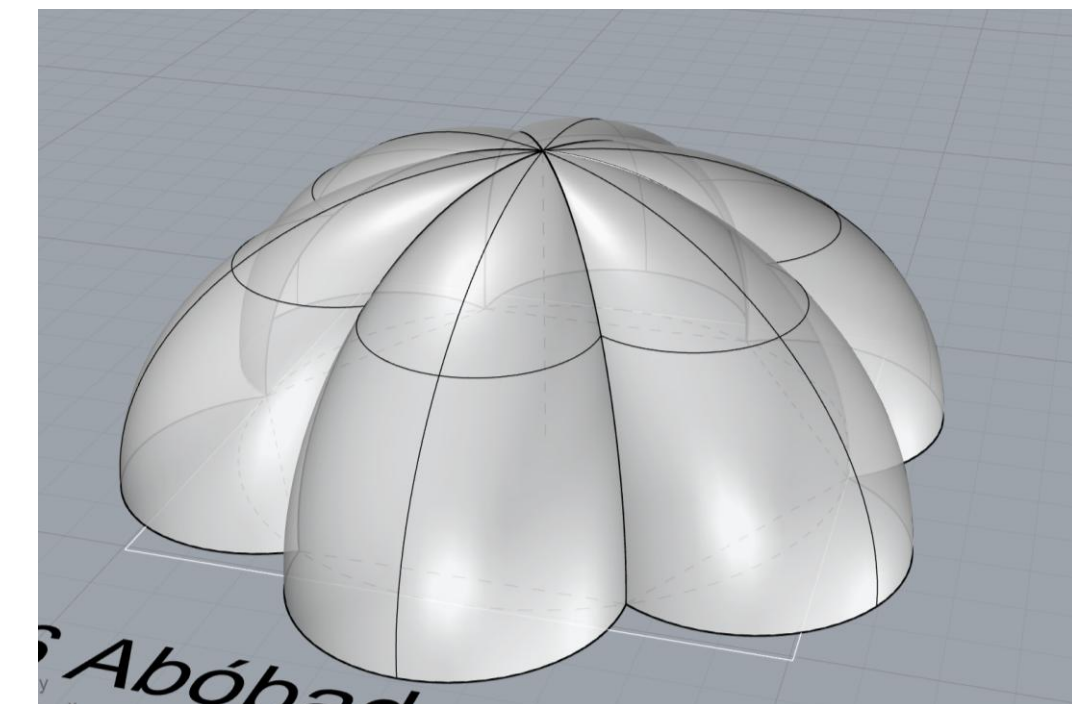
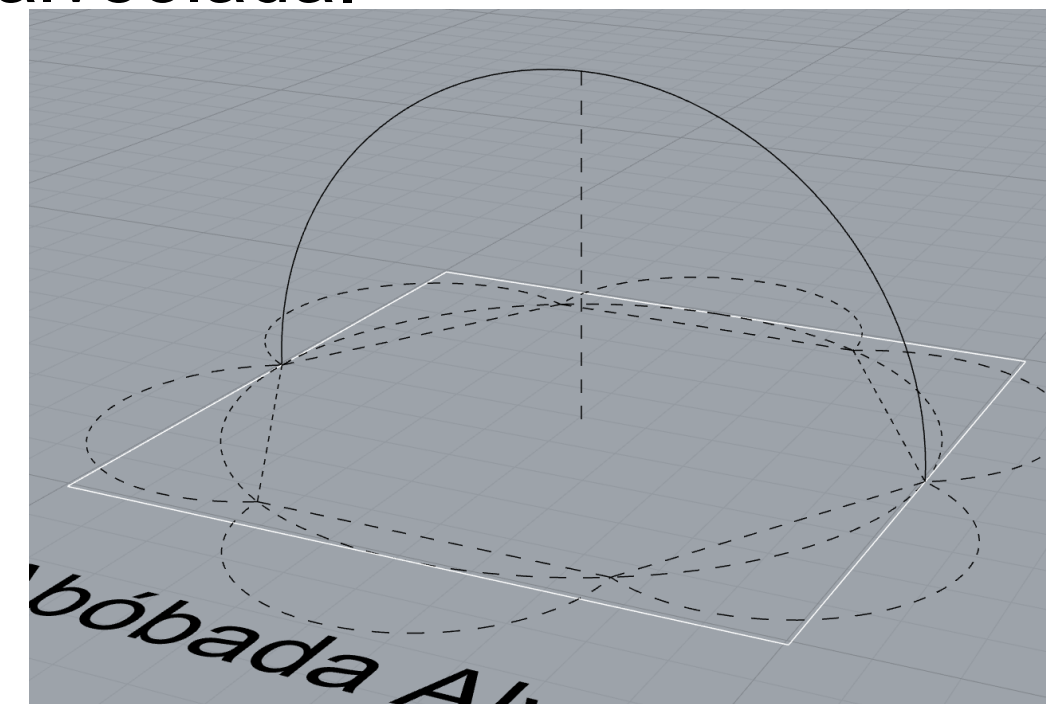
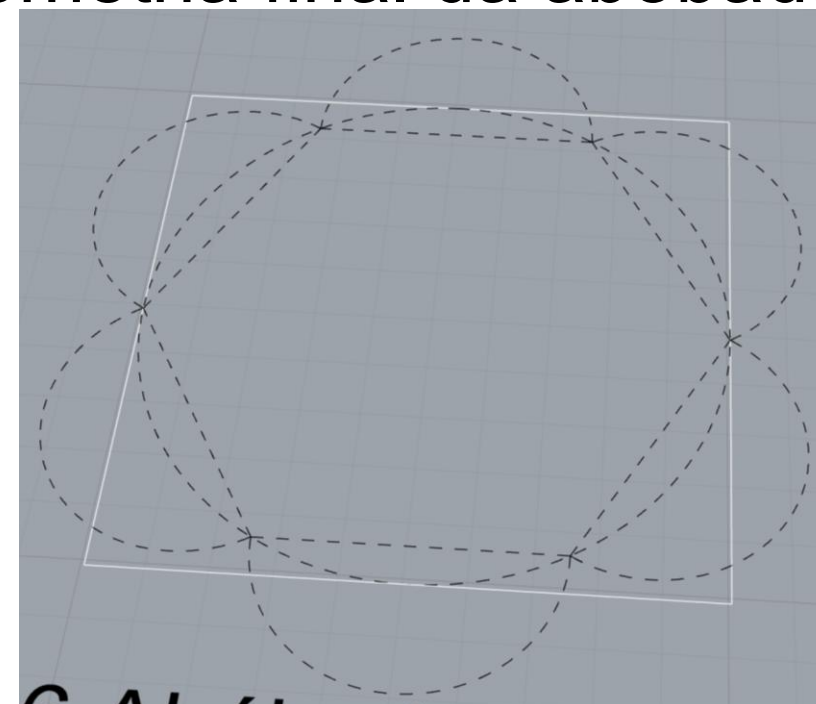
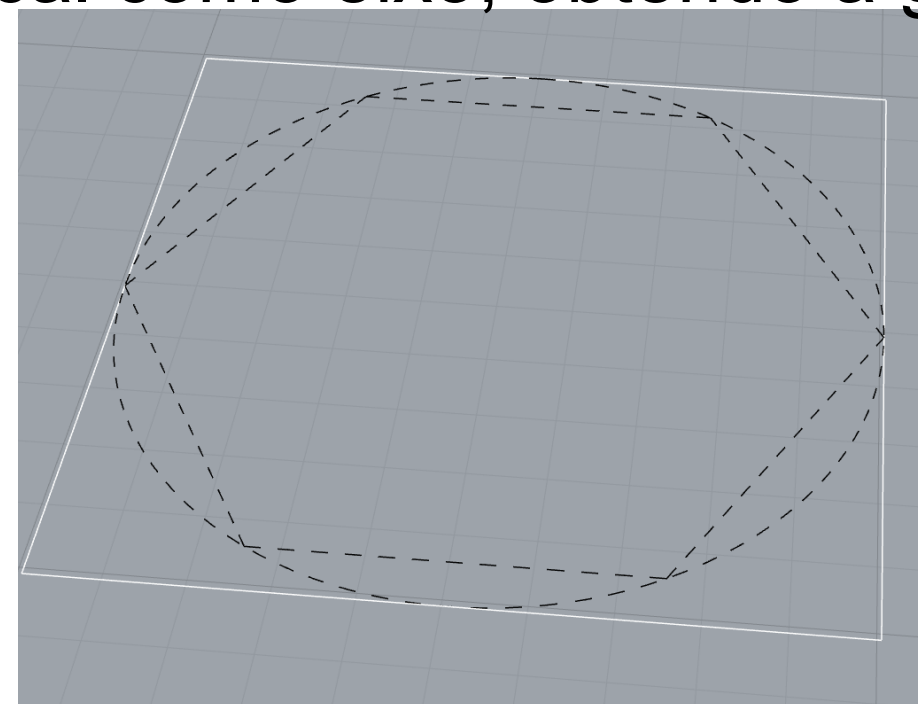
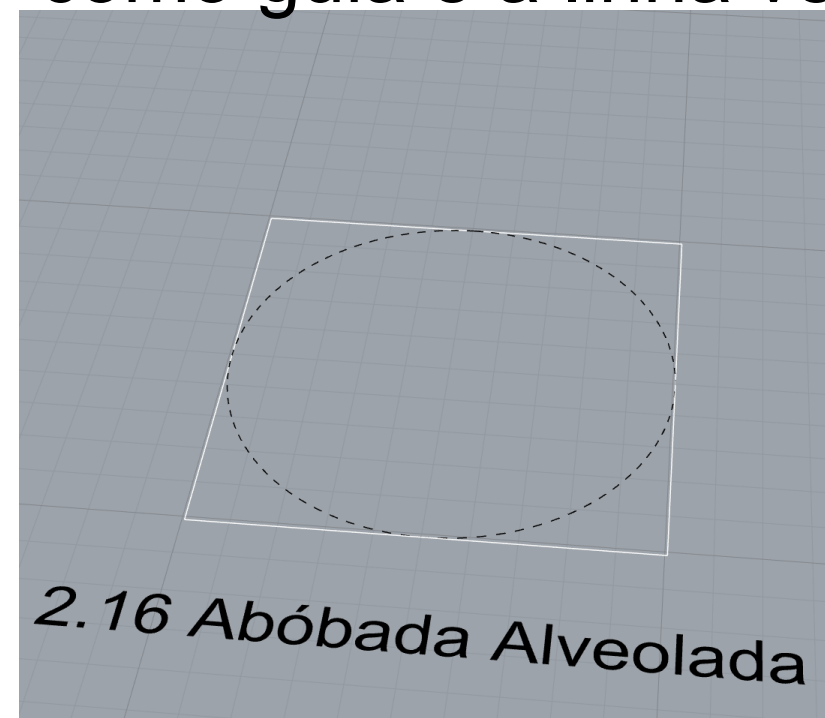
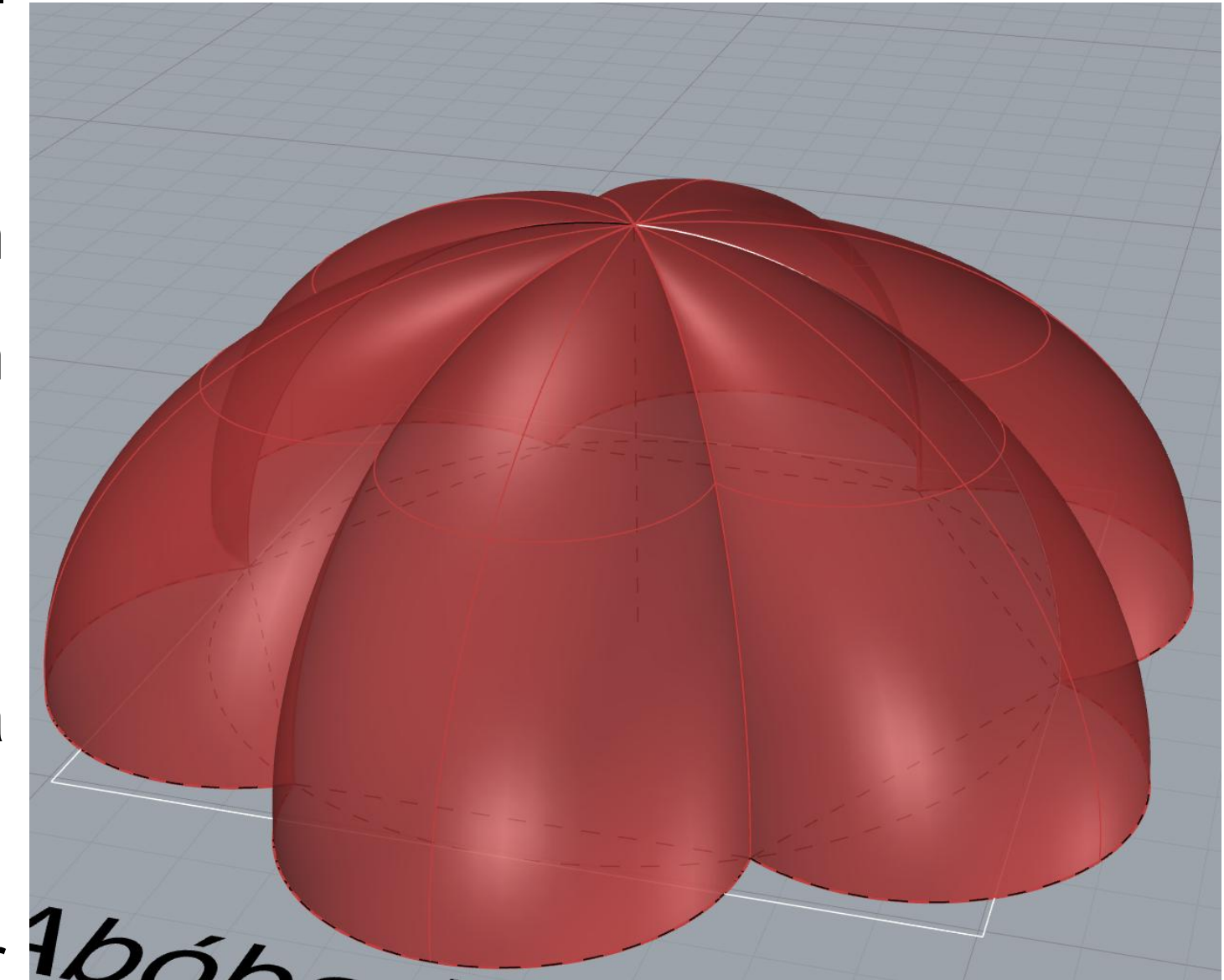
Abóbada Alveolada

A abóbada alveolada começa com um quadrado e a circunferência inscrita no seu interior. Utiliza-se o comando polygon com 6 lados para criar um hexágono centrado na circunferência.

Depois, desenha-se uma circunferência numa aresta do hexágono e utiliza-se o comando trim para retirar as metade interior. Aplica-se um array polar de 6 elementos para repetir o padrão em torno do centro e usa-se o comando join para unir todas as curvas.

De seguida, cria-se uma circunferência vertical a partir do diâmetro da circunferência inicial. Traça-se uma linha vertical desde o centro até à circunferência e utiliza-se o comando split para dividir essa linha com base na circunferência.

Por fim, utiliza-se o comando rail revolve, seleccionando metade da circunferência, a forma da flor como guia e a linha vertical como eixo, obtendo a geometria final da abóbada alveolada.

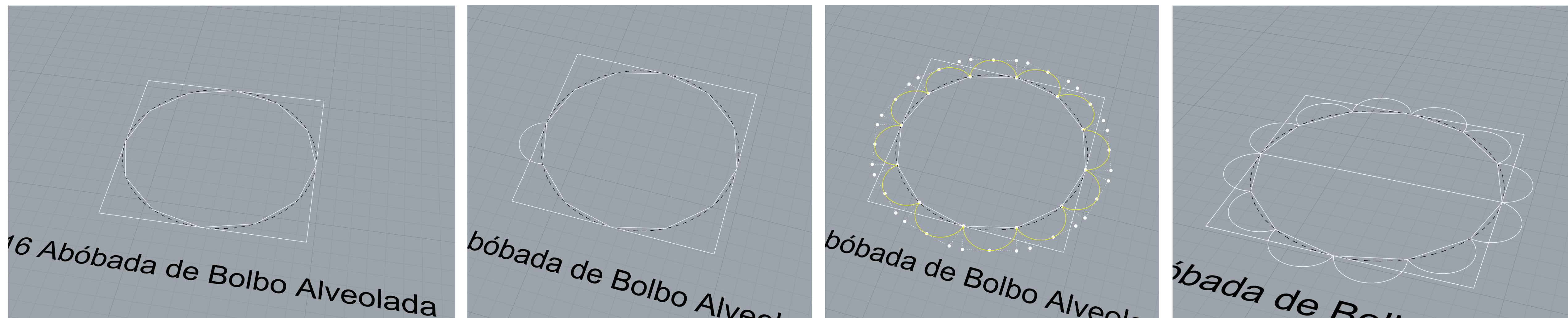


Abóbada de Bolbo Alveolada (Parte 1)

A abóbada de bolbo alveolada segue o mesmo processo da anterior, mas com mais lados no polígono inicial. Em vez de um hexágono, utiliza-se o comando polygon com 12 lados, formando um dodecágono.

Em seguida, desenha-se uma semicircunferência numa das arestas do polígono e aplica-se um array polar com 12 elementos, de modo a repetir essa forma em todas as arestas. Depois, utiliza-se o comando join para unir todas as curvas.

Traça-se uma linha correspondente ao diâmetro da circunferência e a construção vai ser finalizada na próxima aula.



Continuação da abóbada da aula
anterior
GrassHopper

Abóbada de Bolbo Alveolada (Parte 2)

A partir da reta horizontal da aula anterior, liga-se a hipotenusa formada entre essa reta e o raio do polígono. Divide-se essa reta em duas partes e constrói-se uma curva que irá gerar a abóbada (a *shape* ou geratriz).

Constrói-se um triângulo equilátero e outro triângulo simétrico com o mirror.

Forma-se uma curva em S, a partir de dois arcos entre cada metade da diagonal.

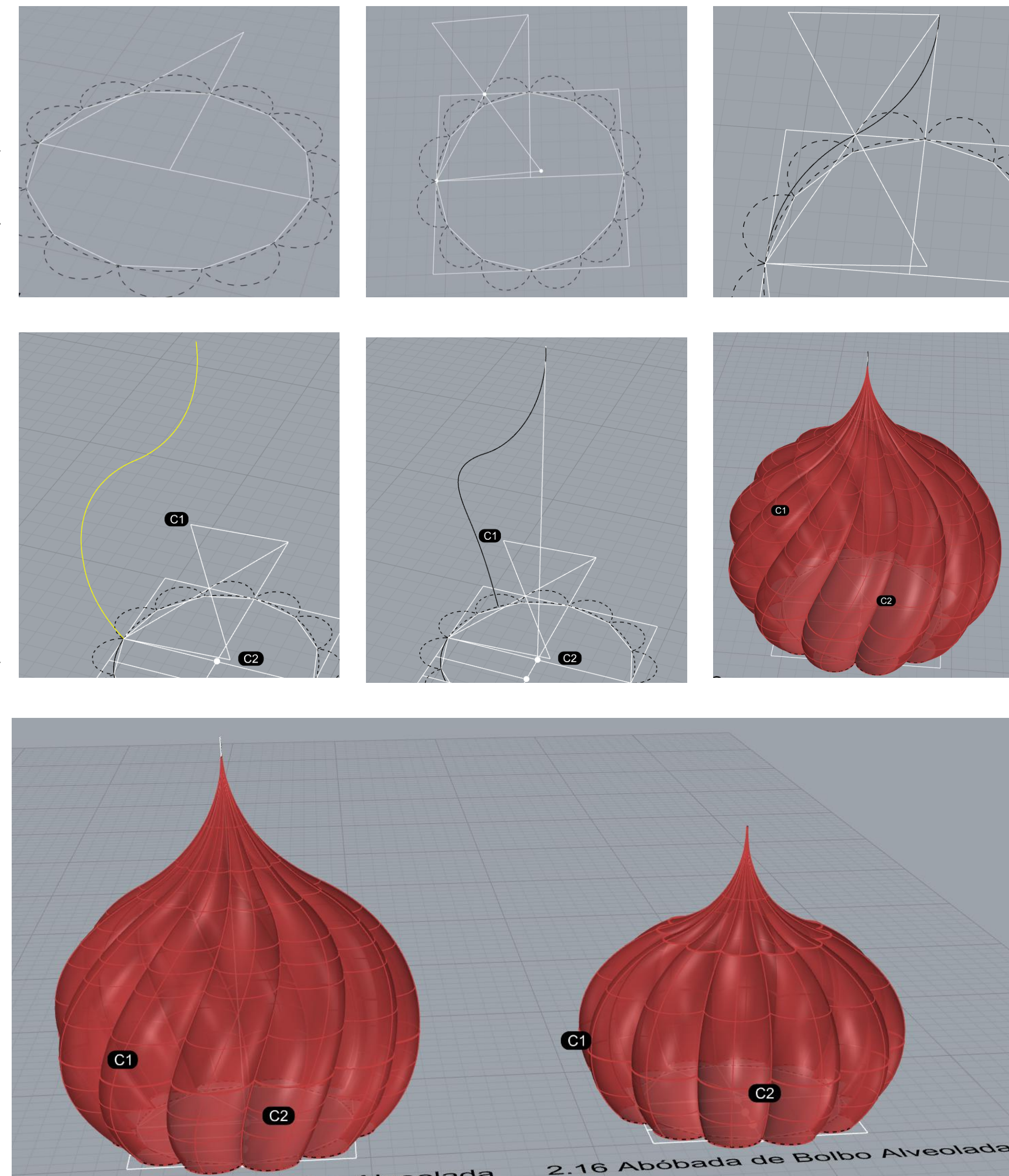
Depois, divide-se o raio inferior em três partes e traçam-se linhas horizontais de um lado ao outro do quadrado.

Constrói-se outro arco com centro no ponto central, terminando na interseção da reta correspondente ao terço inferior do raio com o polígono. Unem-se os três arcos.

Aplica-se o comando *rotate3D*, a um eixo paralelo ao eixo X e rotação de 90 graus, para levantar a curva.

Por fim, utiliza-se o comando *twist* com eixo vertical a 45°, e o *rail revolve* da curva em torno do eixo vertical para gerar a forma final da abóbada.

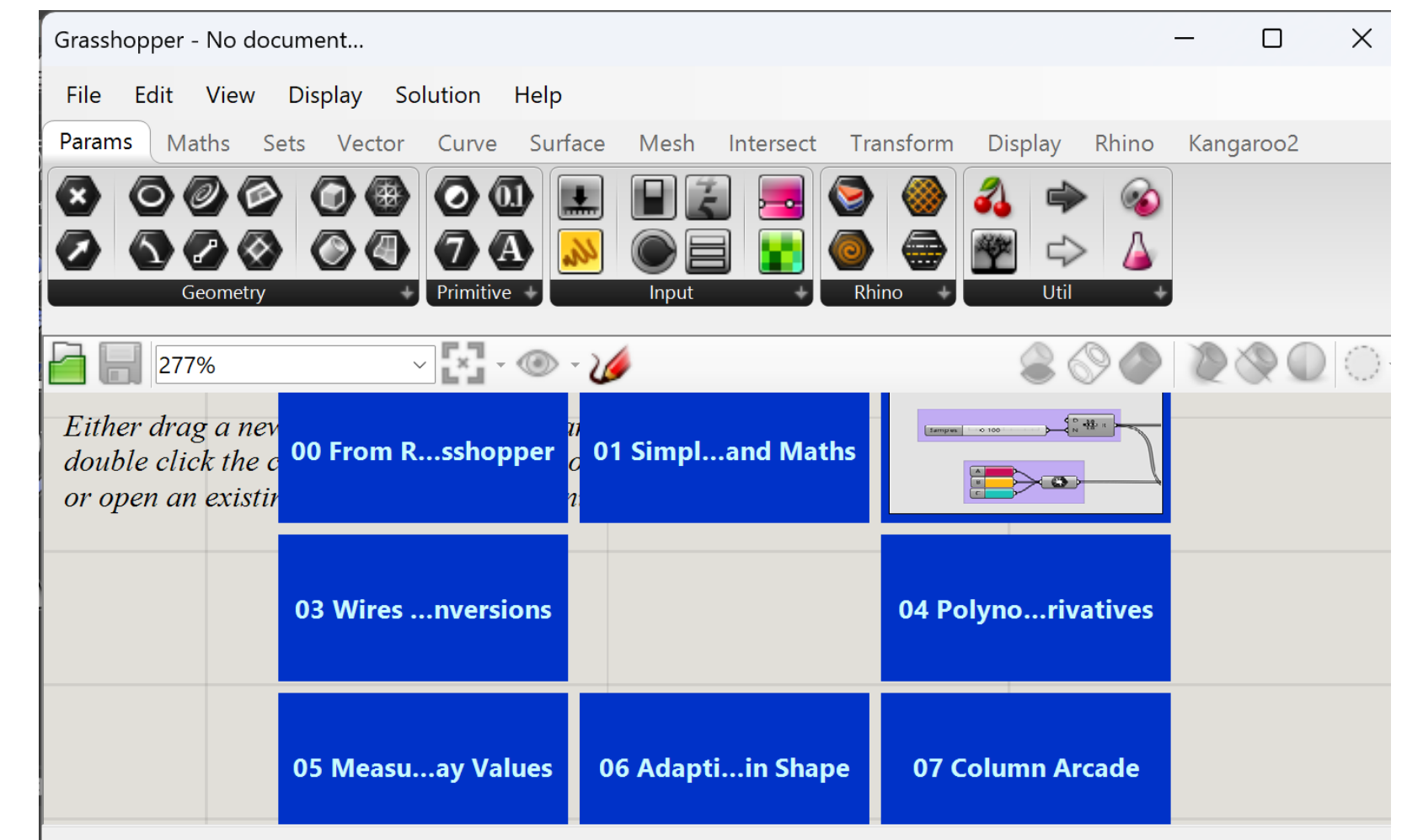
A última imagem exemplifica o que aconteceria se não tivéssemos utilizado o twist.



Grasshopper

O Grasshopper, está integrado no Rhinoceros (Rhino).

é uma ferramenta de programação visual na modelação que é composta por componentes que se ligam entre si através de setas, e que parecem um circuito elétrico. Cada pecinha processa informação através dos inputs e outputs e envia-a para o seguinte. Em vez de trabalhar diretamente com formas fixas, o Grasshopper trabalha com regras e parâmetros. Isto significa que pequenas alterações num valor podem gerar variações completas na geometria final. Quando se volta para o Model as formas criadas no GrassHopper estão bloqueadas.



Esfera

A esfera é definida por dois parâmetros principais:

B (Base): plano XY, que define a localização do centro da esfera

R (Raio): determina o tamanho da esfera

Para alterar o valor do raio clica-se com o botão direito sobre o parâmetro R, seleciona-se Set Number e introduz-se o valor 5.

É necessário fazer Commit Changes porque se não o programa não guarda.

Para criar um Number Slider clica-se duas vezes no canvas e escreve-se “raio” e o slider é criado automaticamente.

Pode-se ajustar o intervalo (de 0 a 10) e alterar o valor com o cursor.

Liga-se o output do Number Slider ao R (raio) da esfera.

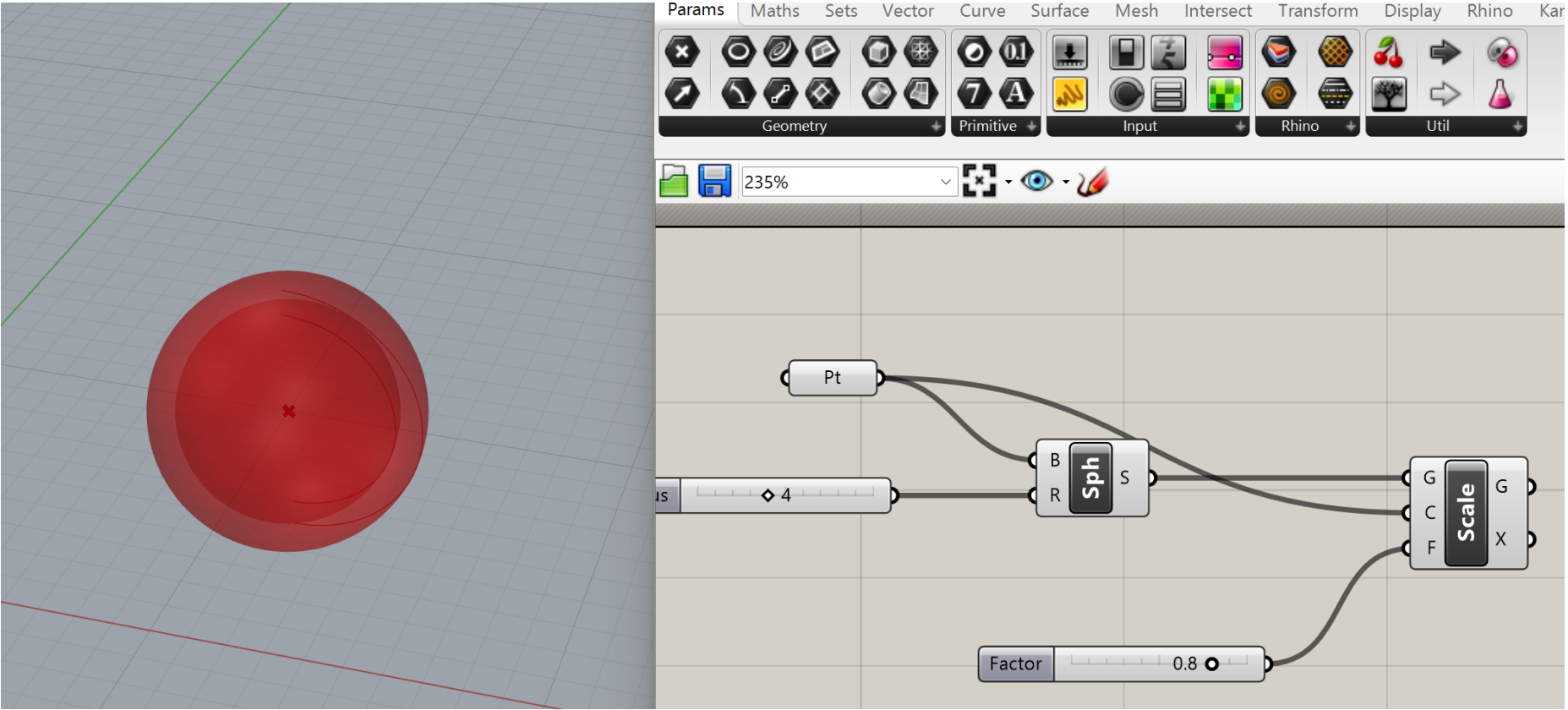
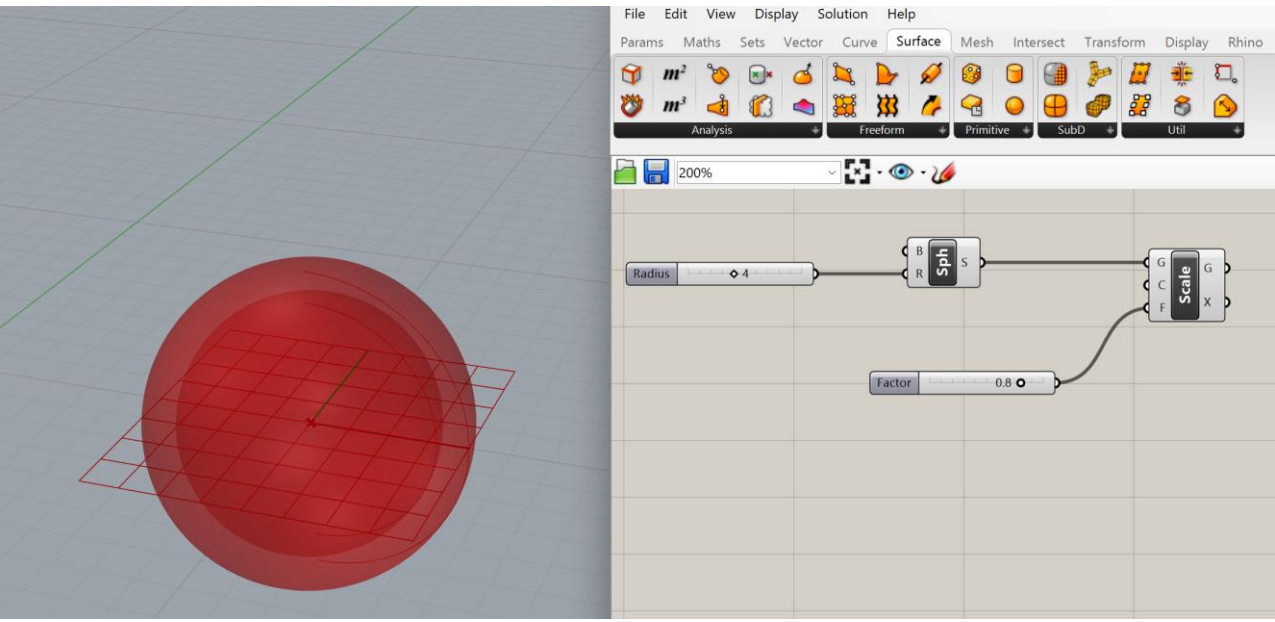
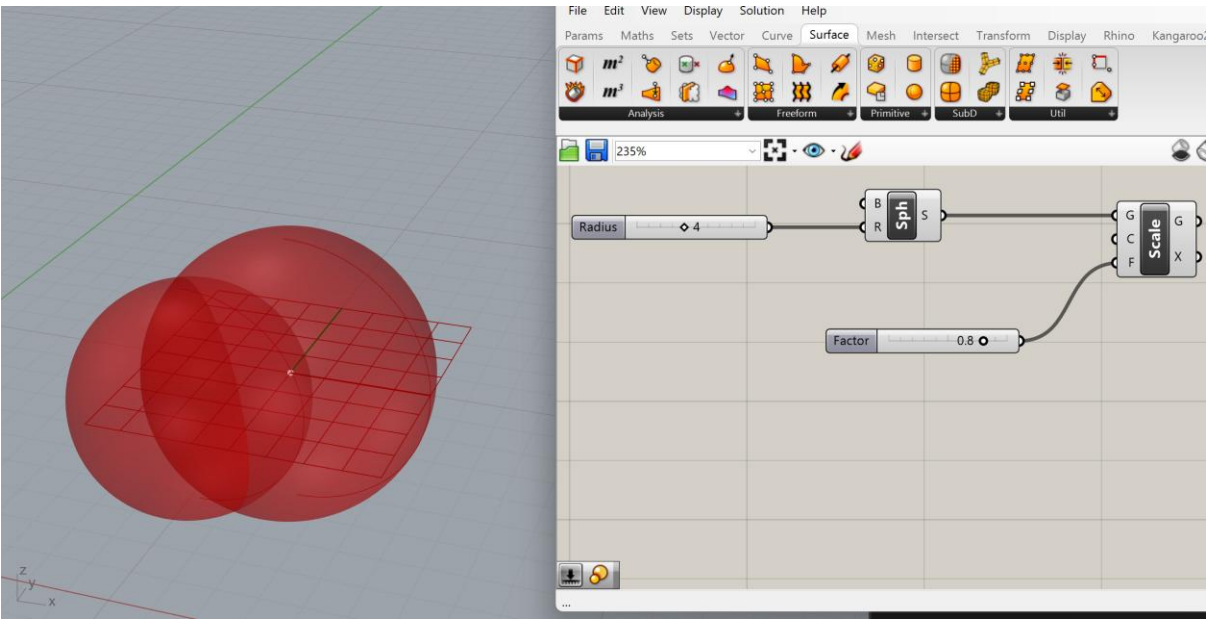
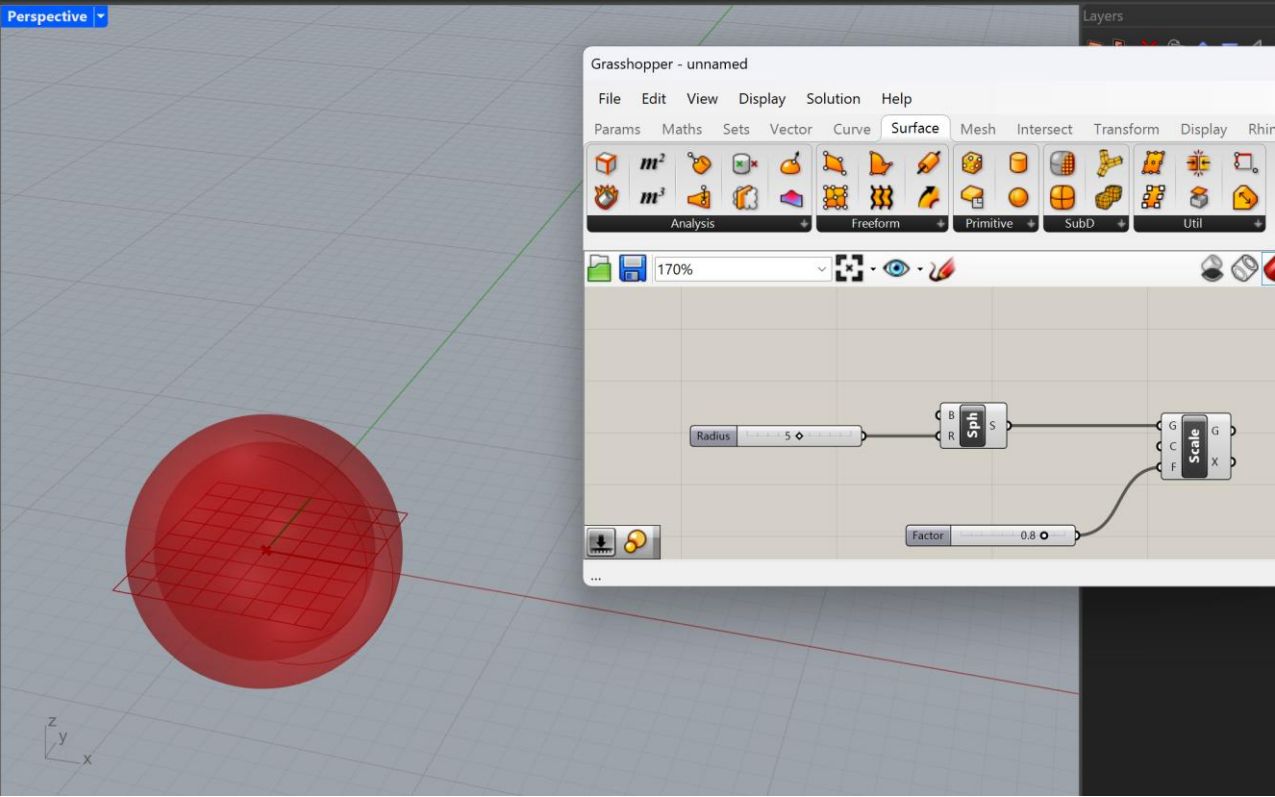
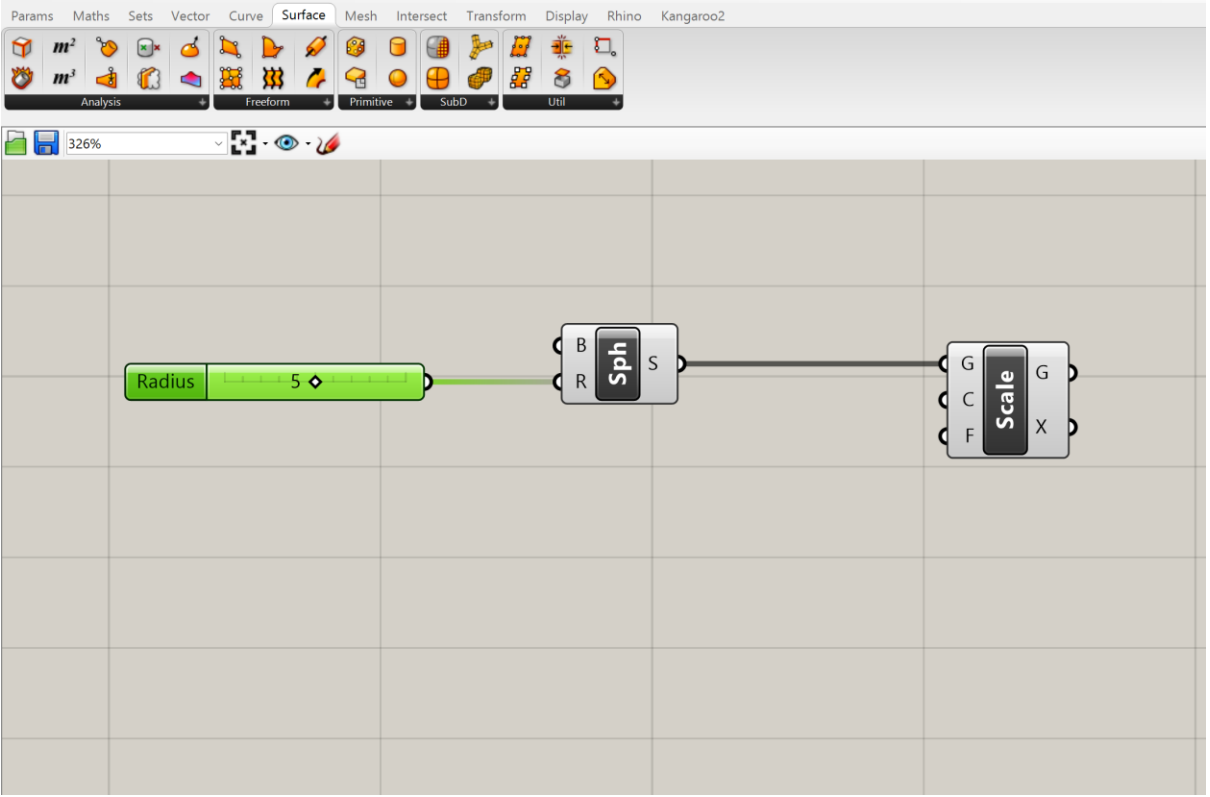
O Grasshopper lê-se da esquerda para a direita.

Adicionando o componente Scale:

C (Centro): ponto de origem (0,0,0)

F (Fator de escala): valor por defeito é 0.5

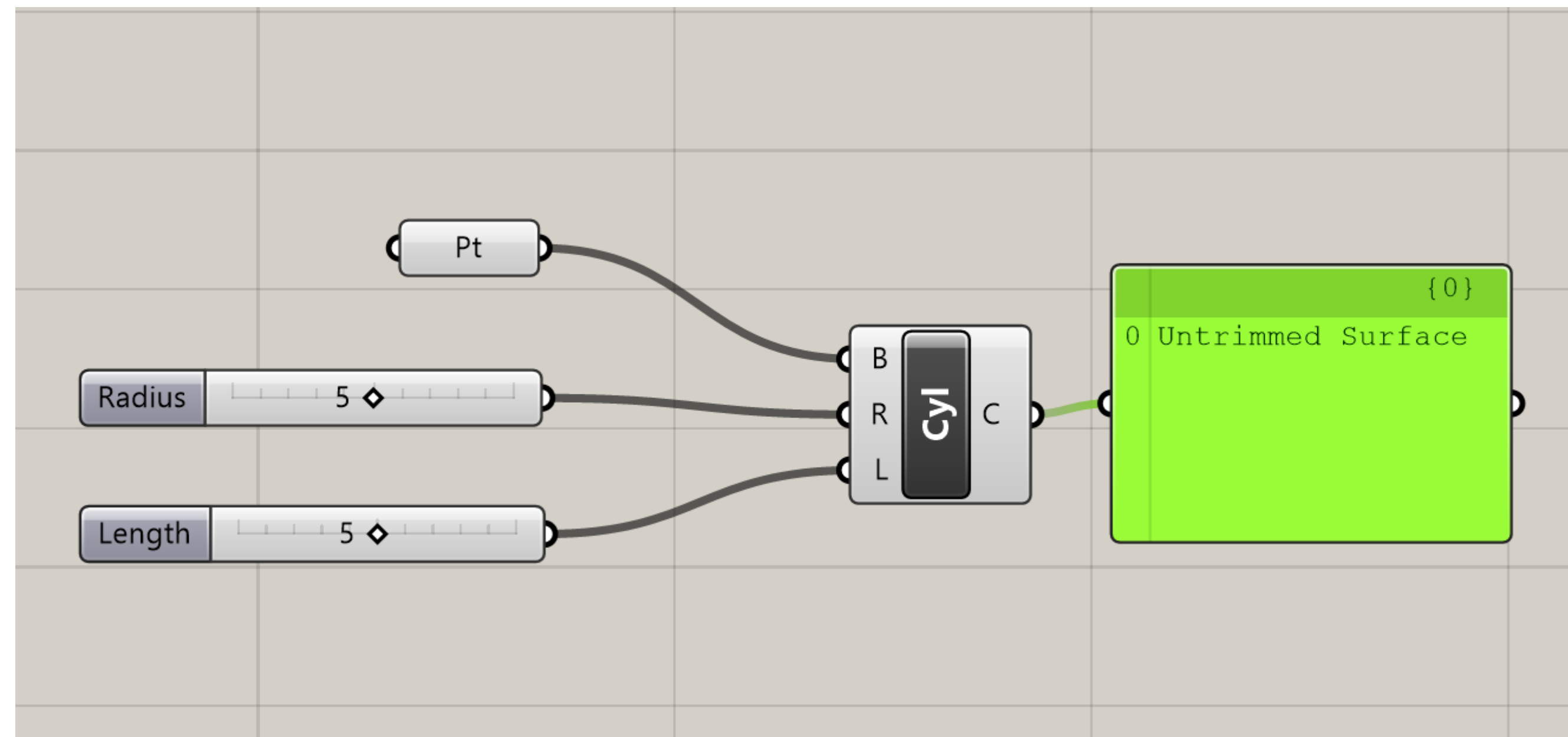
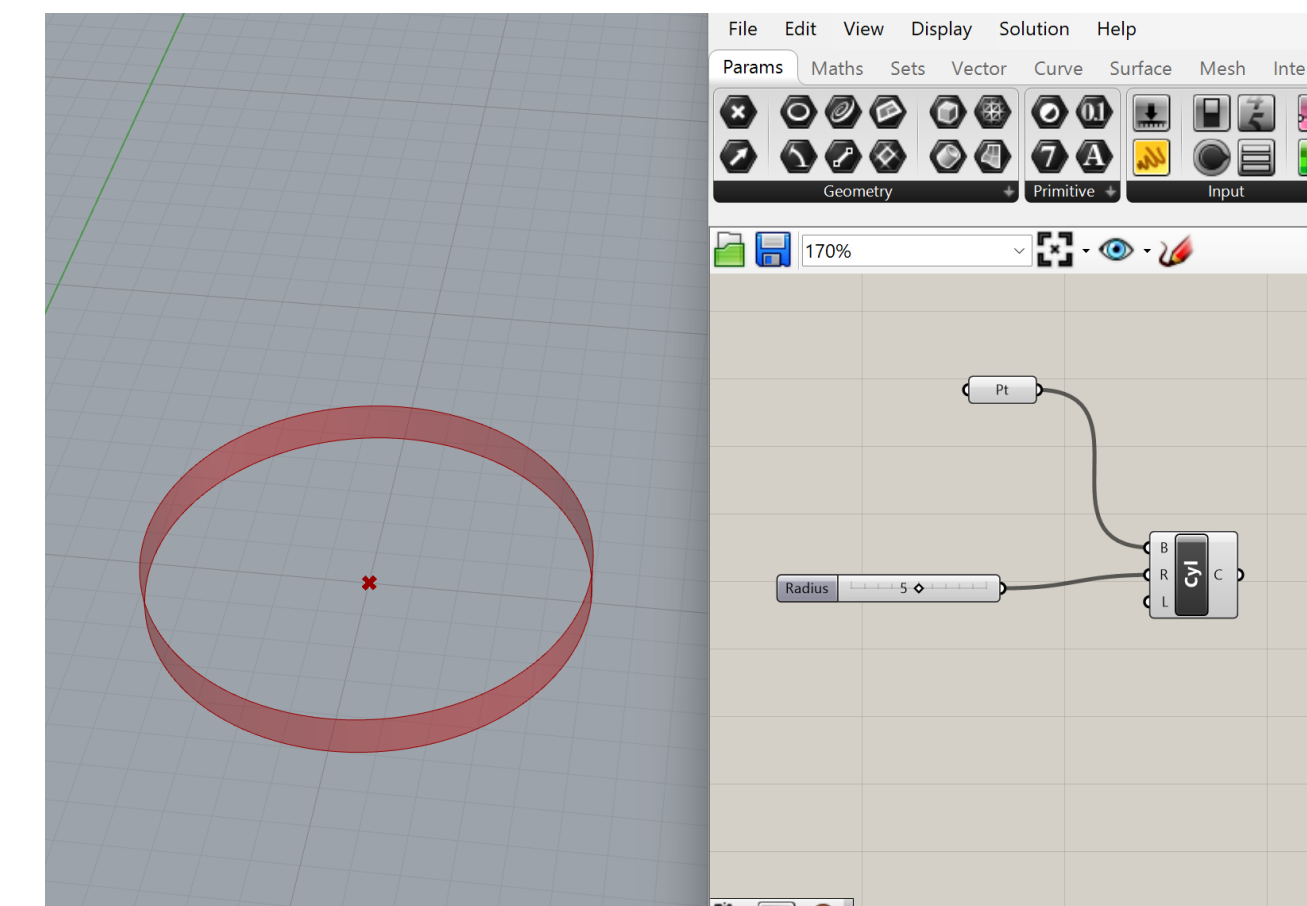
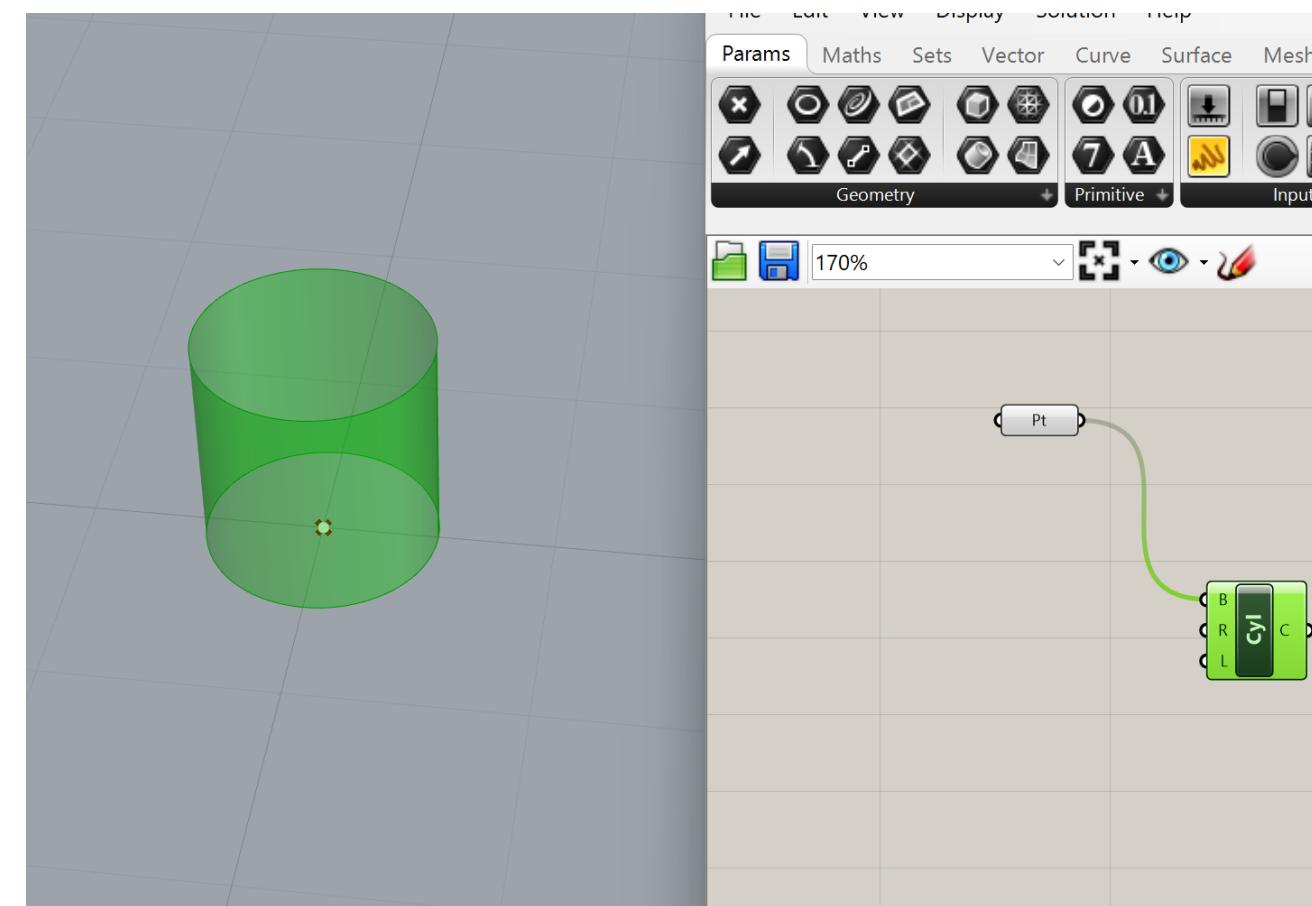
Permite alterar o tamanho da geometria em relação a um ponto de referência.



Cilindro 1

O primeiro cilindro é criado no Grasshopper através de **Surfaces > Primitives > Cylinder**. Para apagar ligações entre componentes, pode-se usar **Ctrl e** refazer a seta de forma inversa.

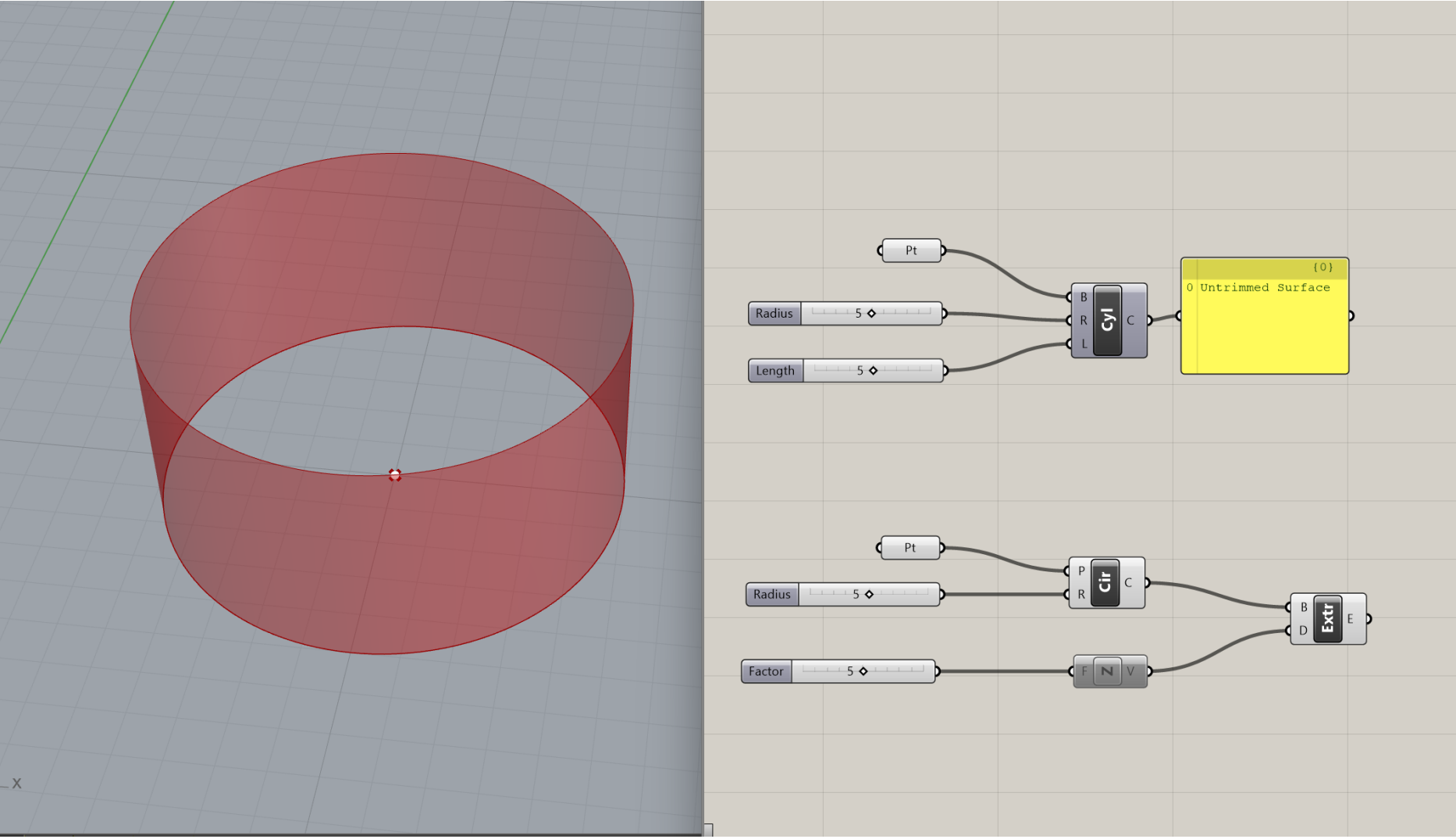
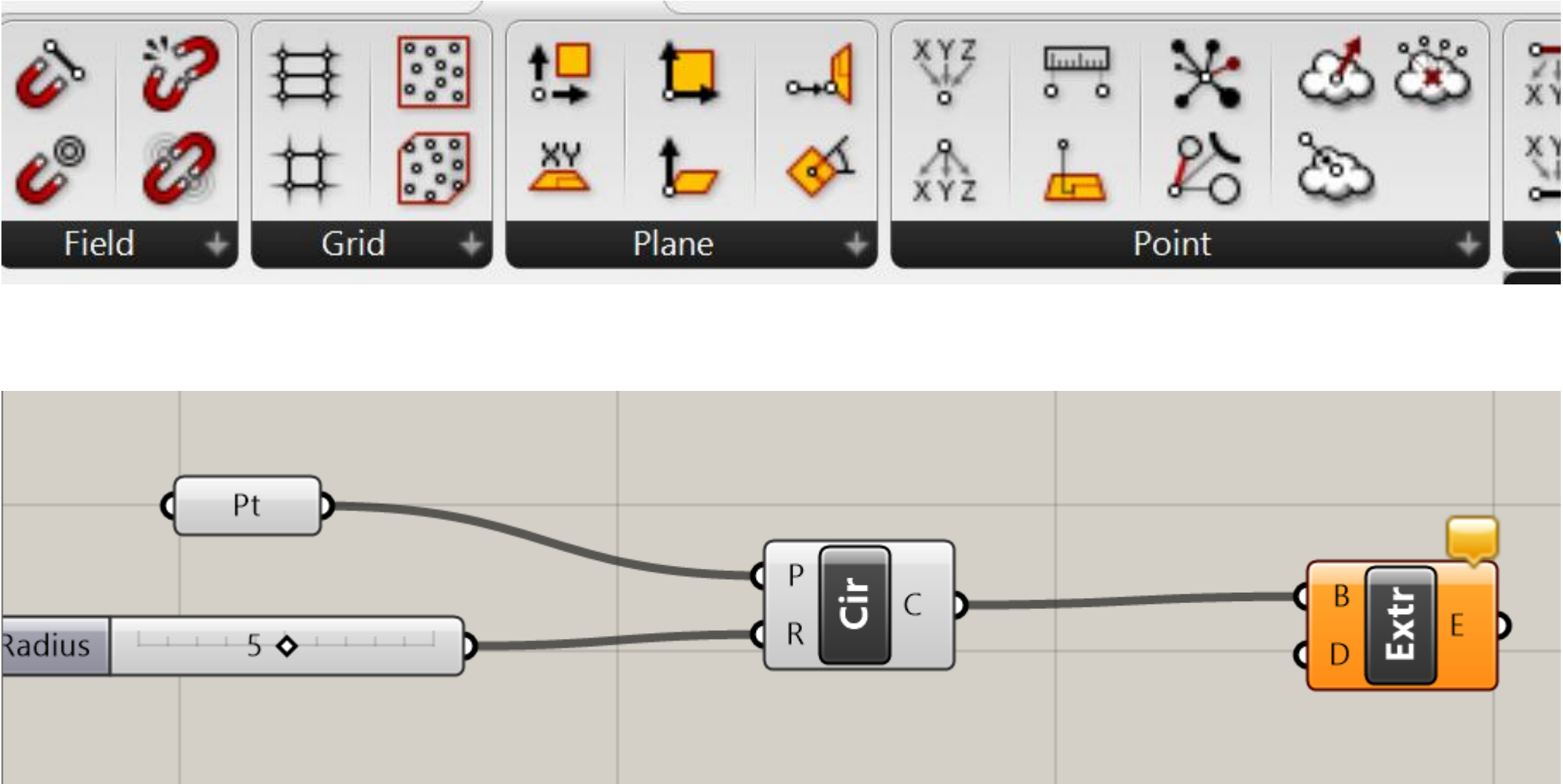
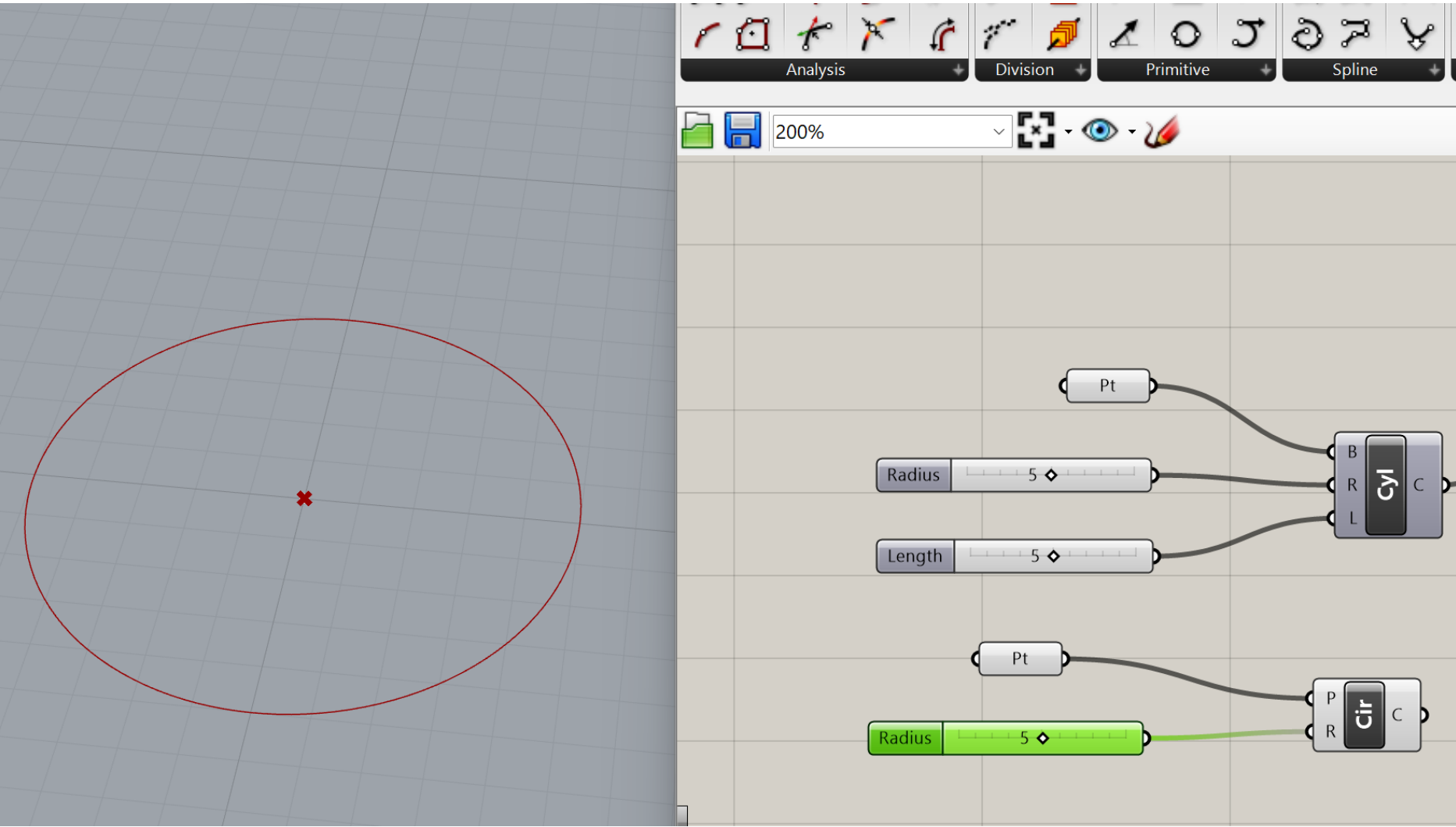
Para controlar as dimensões do cilindro, utilizam-se **sliders numéricos**, um para o raio e outro para a altura. Também é possível inserir valores diretamente numa nota. Neste caso, o cilindro é definido com **raio 5 e altura 5**.



Cilindro 2

O segundo cilindro é construído a partir do **círculo anterior**, reutilizando o slider e o ponto base. Para orientar a geometria utilizar o **Unit Z Vector**, que define a direção vertical do objeto.

Por fim, aplica-se o quadrado do **Extrude**, que transforma o círculo em volume ao alongá-lo na direção do vetor Z.

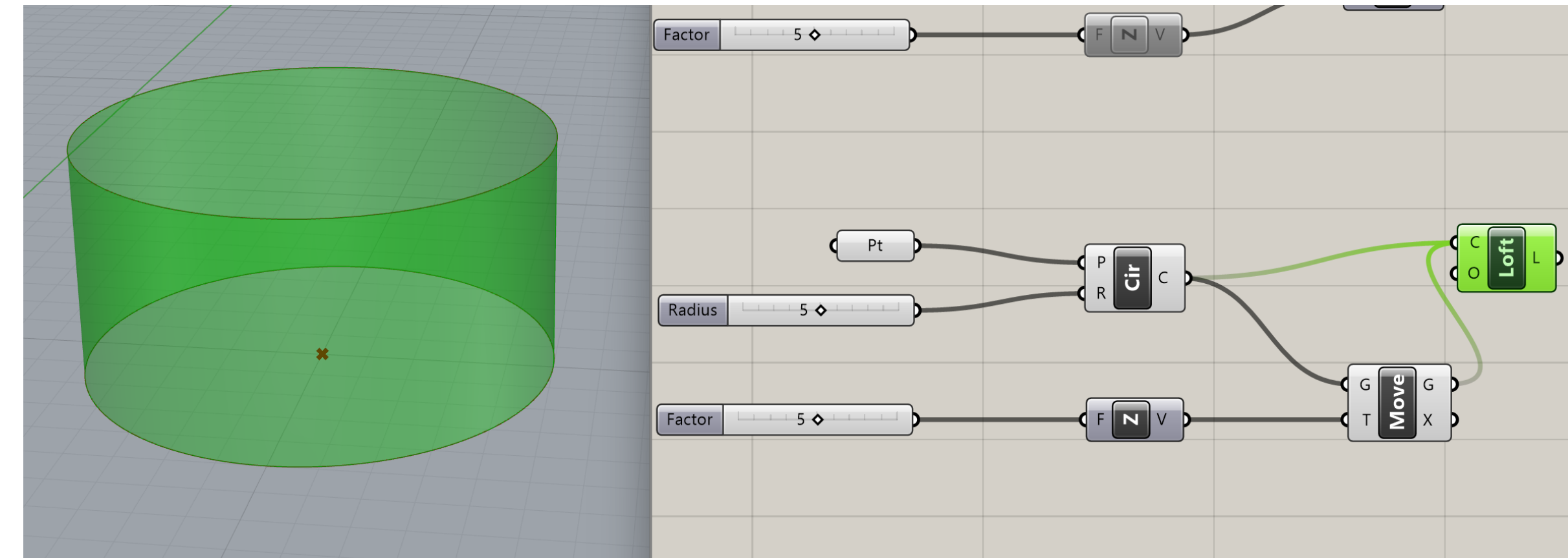
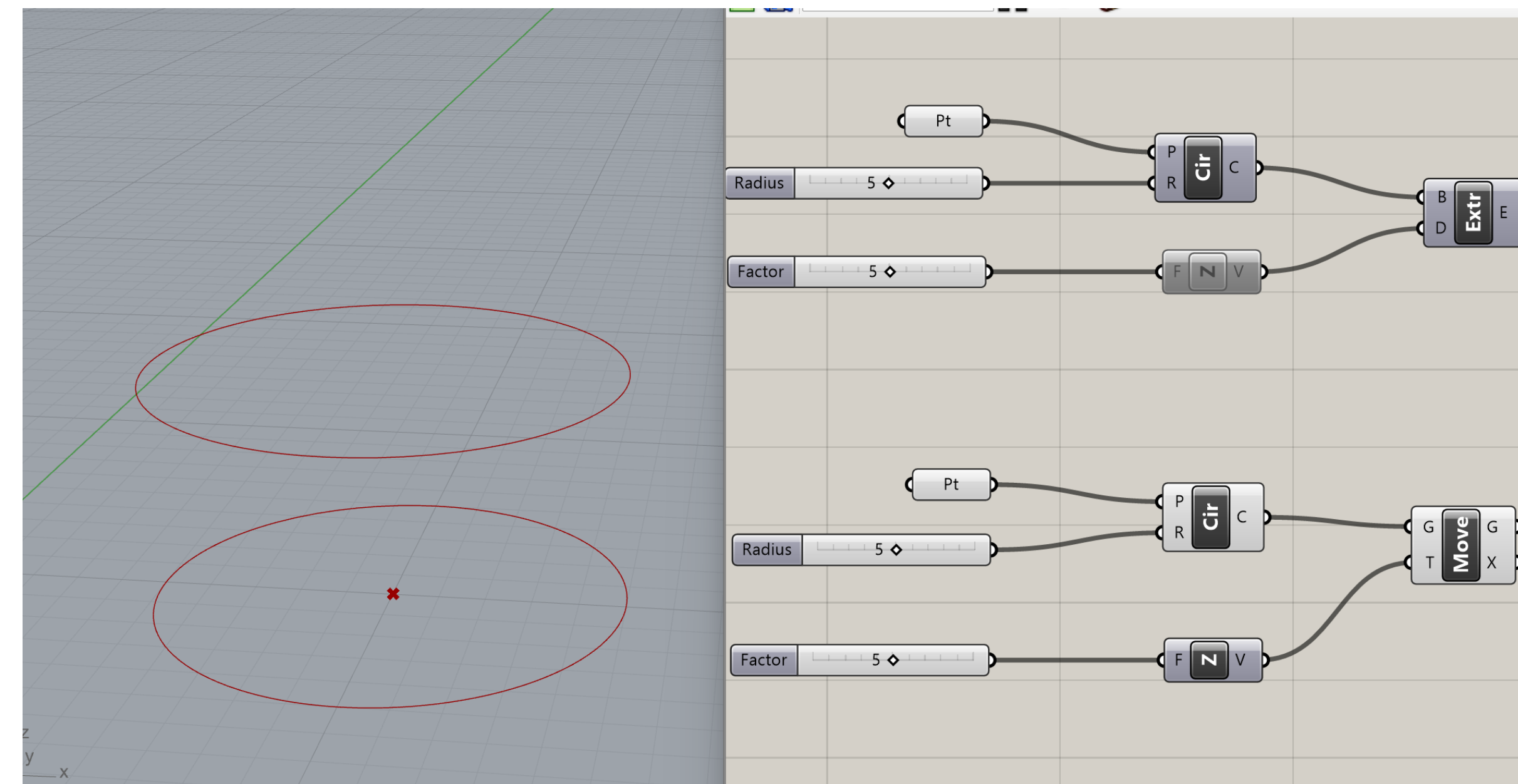


Cilindro 3

O terceiro cilindro é feito a partir da circunferência base e de uma circunferência idêntica colocada a 5 unidades de altura, diretamente por cima.

Liga-se o **Move** à circunferência, definindo o deslocamento vertical de 5 unidades através de um slider ou valor numérico.

Em seguida, as duas circunferências são ligadas ao componente **Loft**, que cria uma superfície entre elas. O resultado final é um cilindro feito só a partir da ligação das duas curvas.

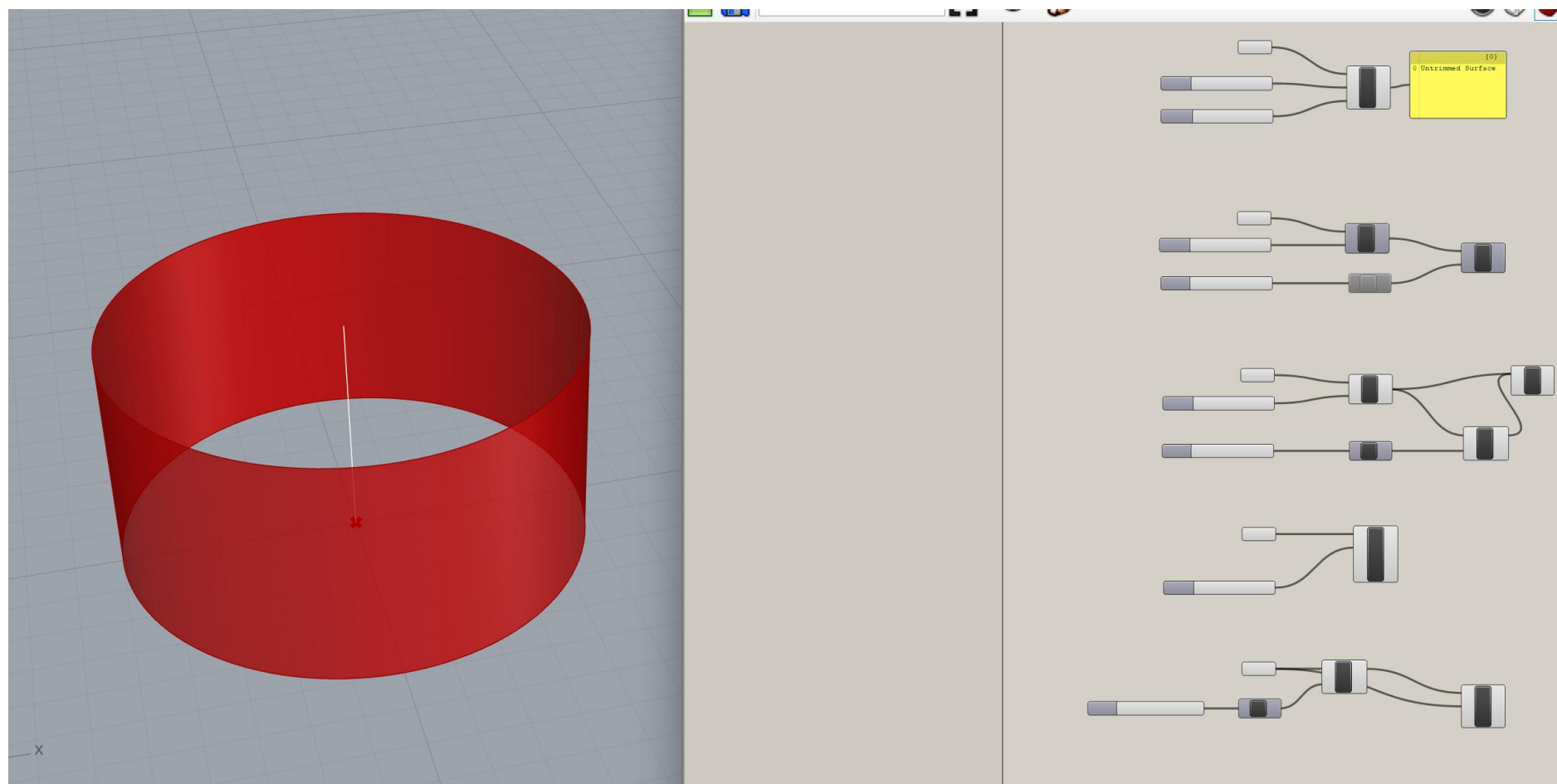
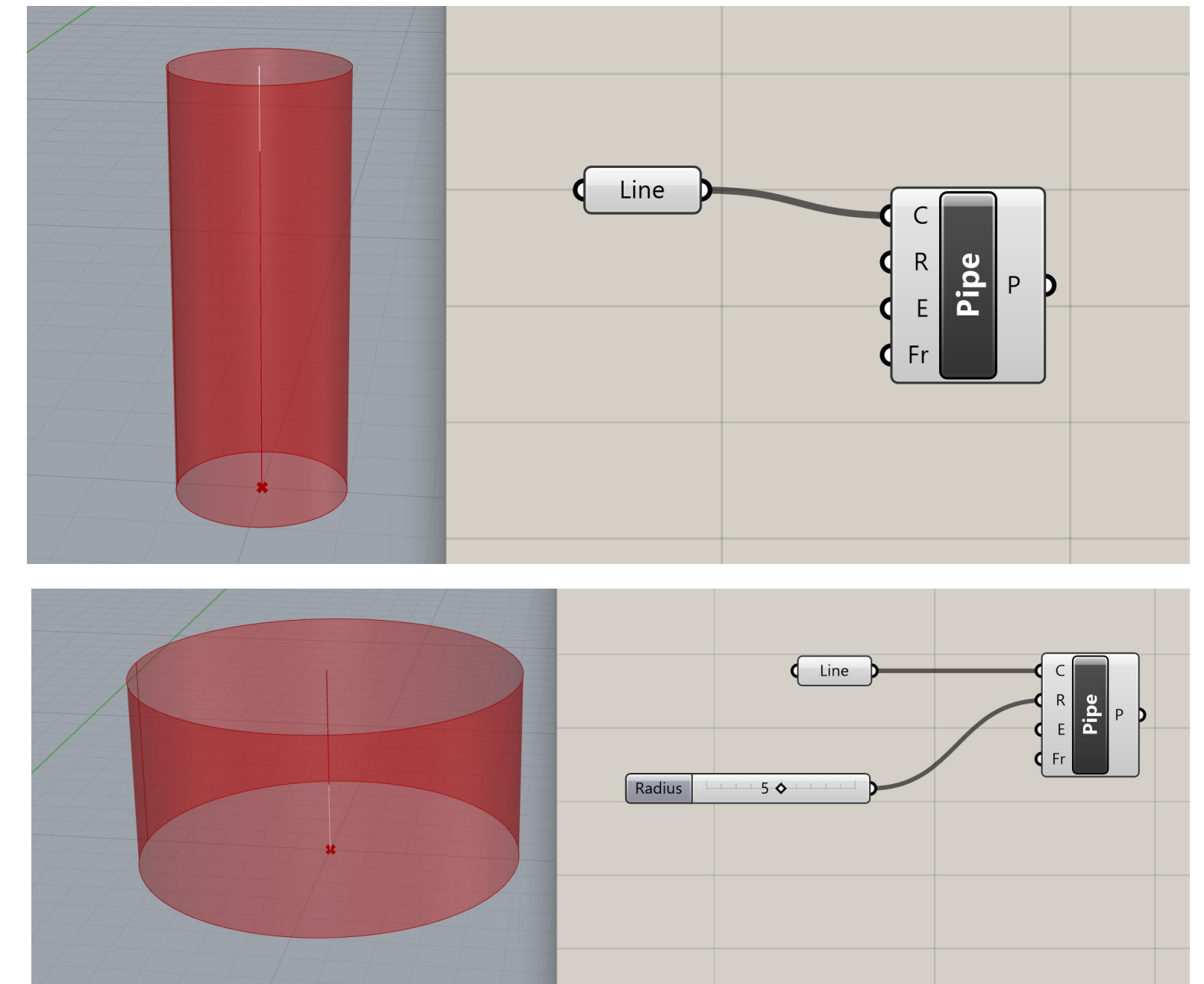


Cilindro 4

O último cilindro foi feito a partir de um *pipe* e de uma *line*. Liga-se um *slider* (por exemplo, com valor 5) ao raio do *pipe*.

Cria-se uma linha vertical no modelo e liga-se essa *line* ao parâmetro **C** do *pipe* (centro da linha). Depois faz-se *set* da linha.

A linha criada no modelo pode ser apagada, uma vez que o Grasshopper também a gera automaticamente.



Ao ligar outra vez todos os cilindros, conseguimos ver, através da sua sobreposição, que apesar de existirem várias formas de criar um cilindro, o resultado final foi igual em todos. O grasshopper é flexibilidade, embora mas não é a solução mais prática.

Grasshopper : Abóbadas de Berço e
Ogival

Rhino : Modelação de superfícies
curvas

Exercício 3.1 (Moluscos) : Spirula

Moluscos

Estas estruturas apresentam superfícies curvas complexas, organizadas segundo padrões de crescimento helicoidal e espiralado. Ao longo das aulas, serão recriados diferentes exemplos dessas formas:

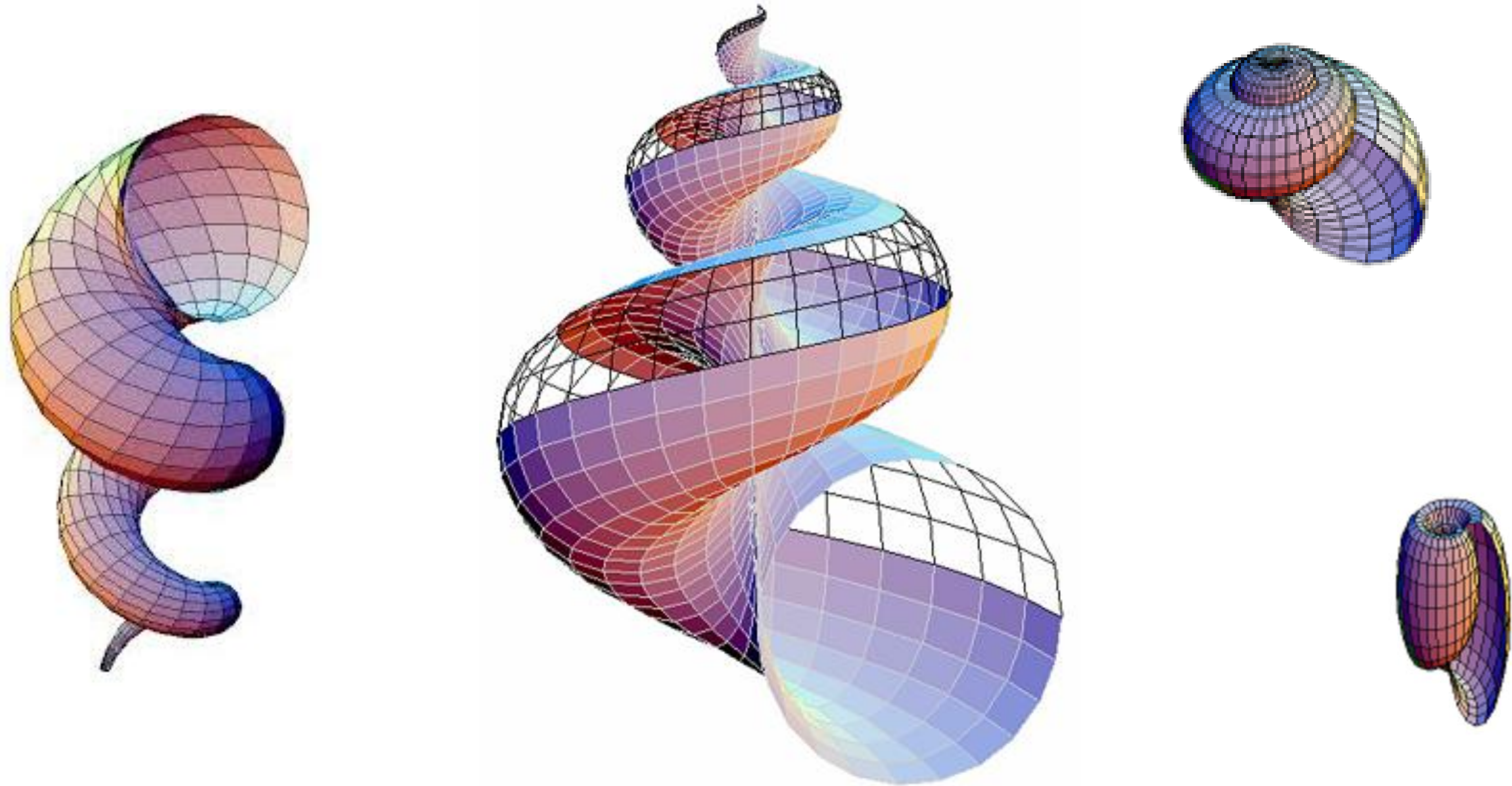
Spirula

Planorbis

Nautilus

Caracol

Caramujo do mar



Spirula

Utilizar a sequência de Fibonacci como base para a construção.

Desenhar um círculo com centro no ponto médio (*Mid*) e raio definido a partir do centro inicial do quadrado 1.

Criar um arco a partir da ponta do quadrado 2, usando vértices opostos, e repetir o processo até ao quadrado 13.

Traçar uma linha desde o ponto 1 até ao ponto 13.

Criar um círculo vertical com centro no ponto médio da linha e extensão até ao ponto 13.

Fazer *Join* das linhas para criar a curva final.

Copiar o conjunto e sobrepor.

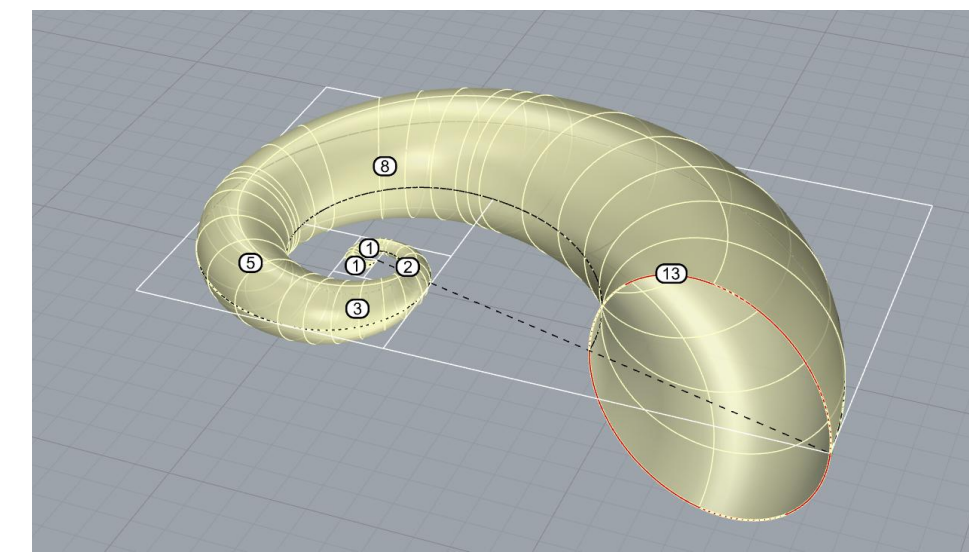
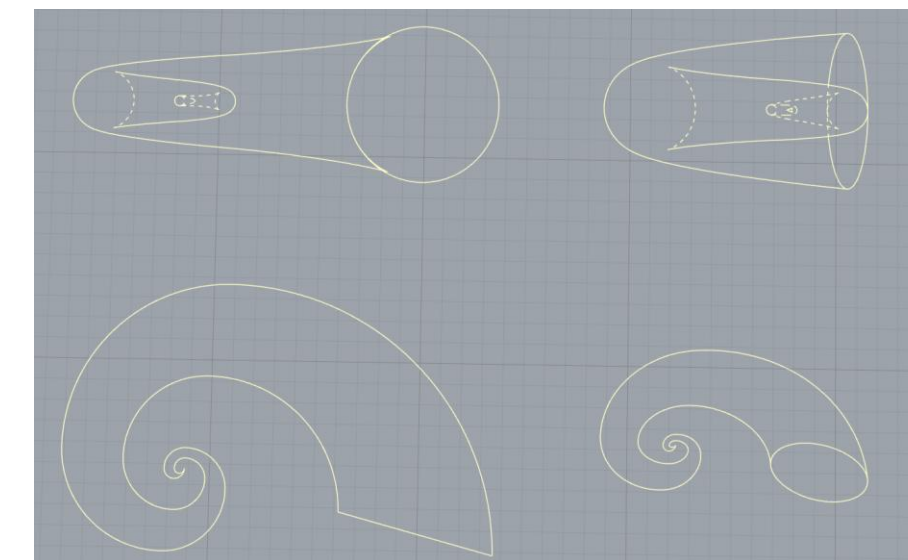
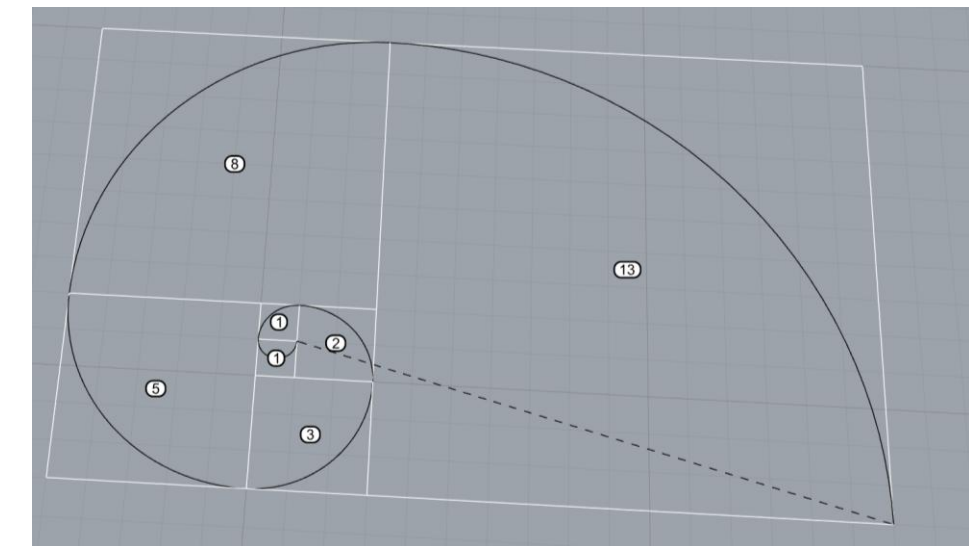
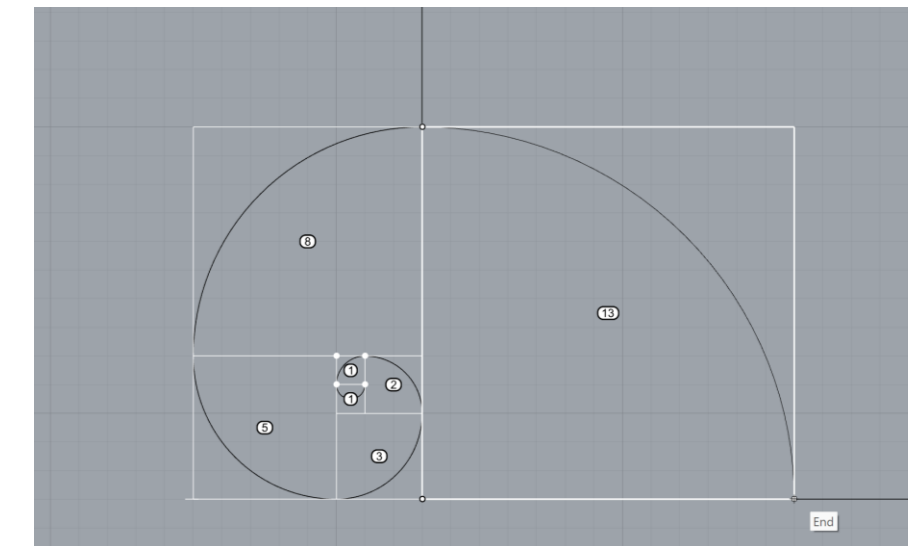
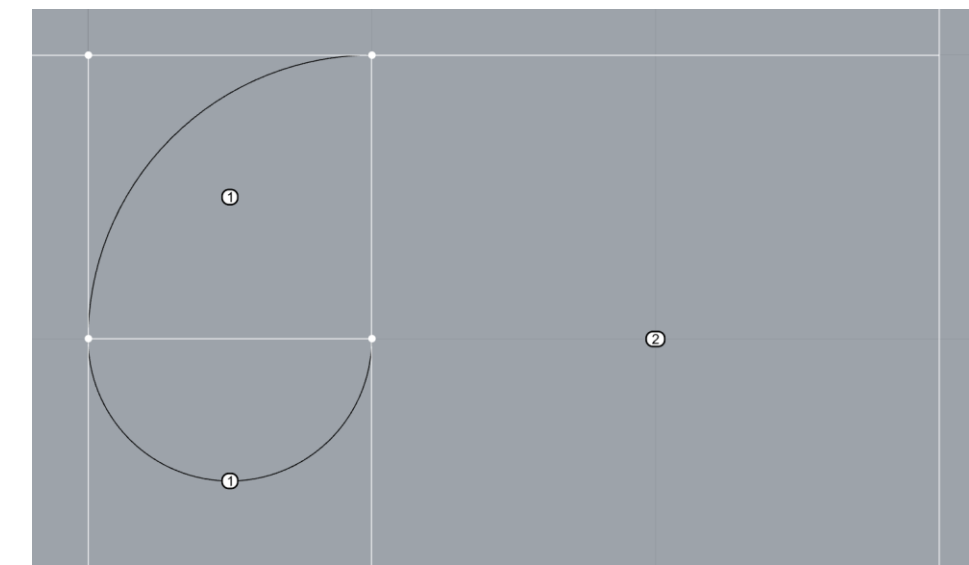
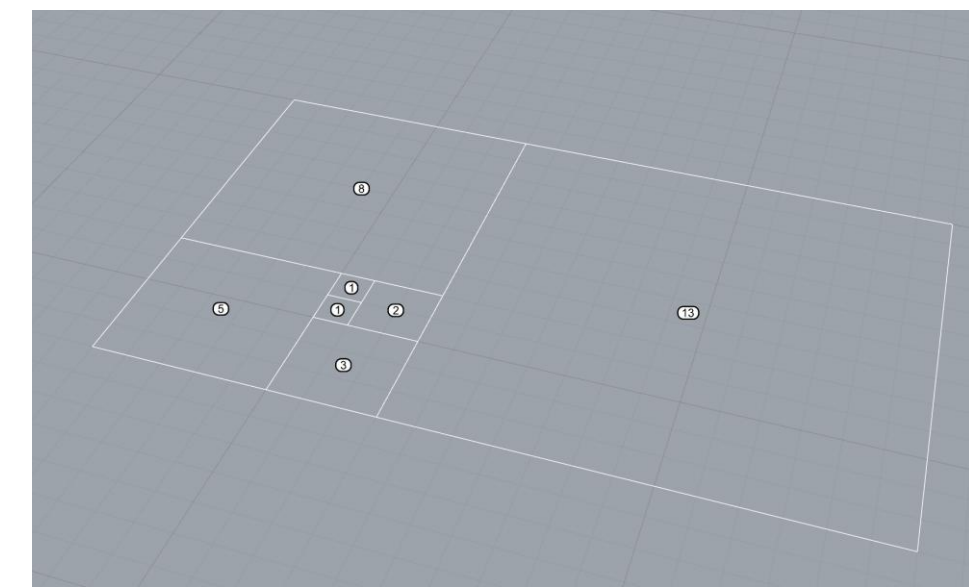
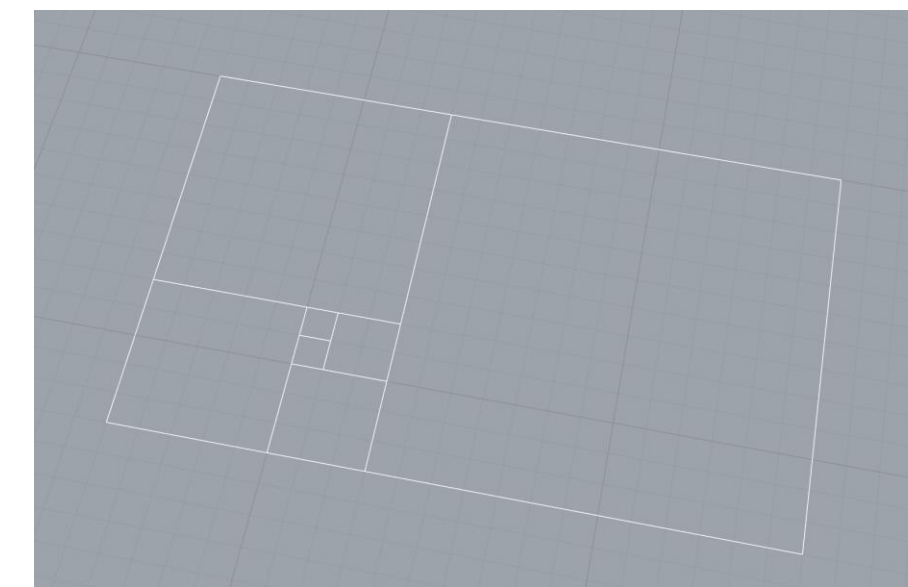
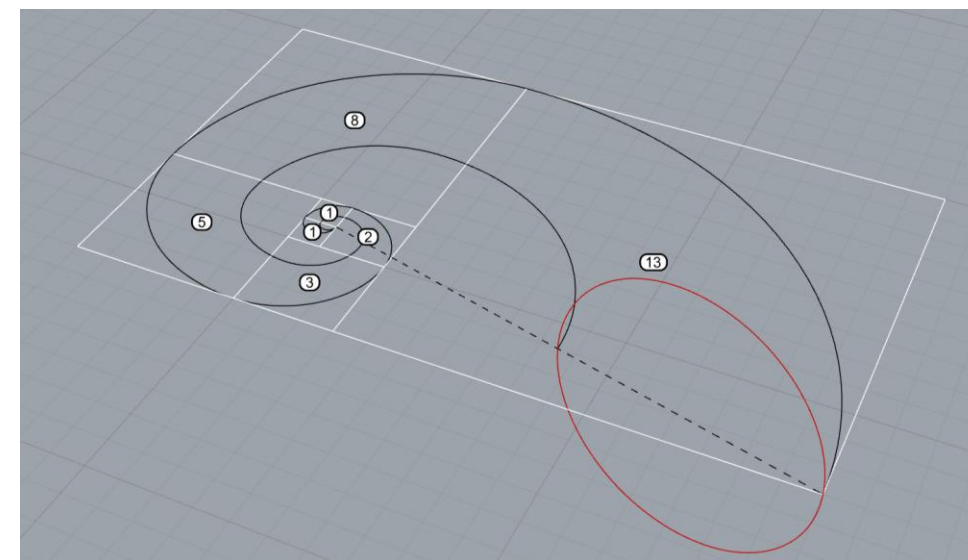
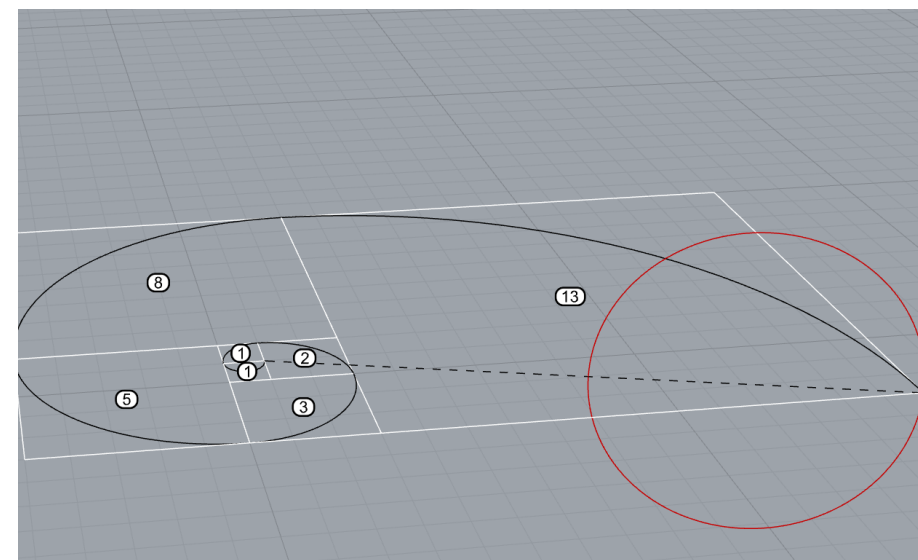
Aplicar escala ao conjunto copiado, escalando a partir da base (ponto 1) e levando o ponto 13 até à outra extremidade do círculo.

Utilizar *Sweep 2*, seleccionando como curvas-guia (rails) a espiral original e a espiral

escalada, e como secções os

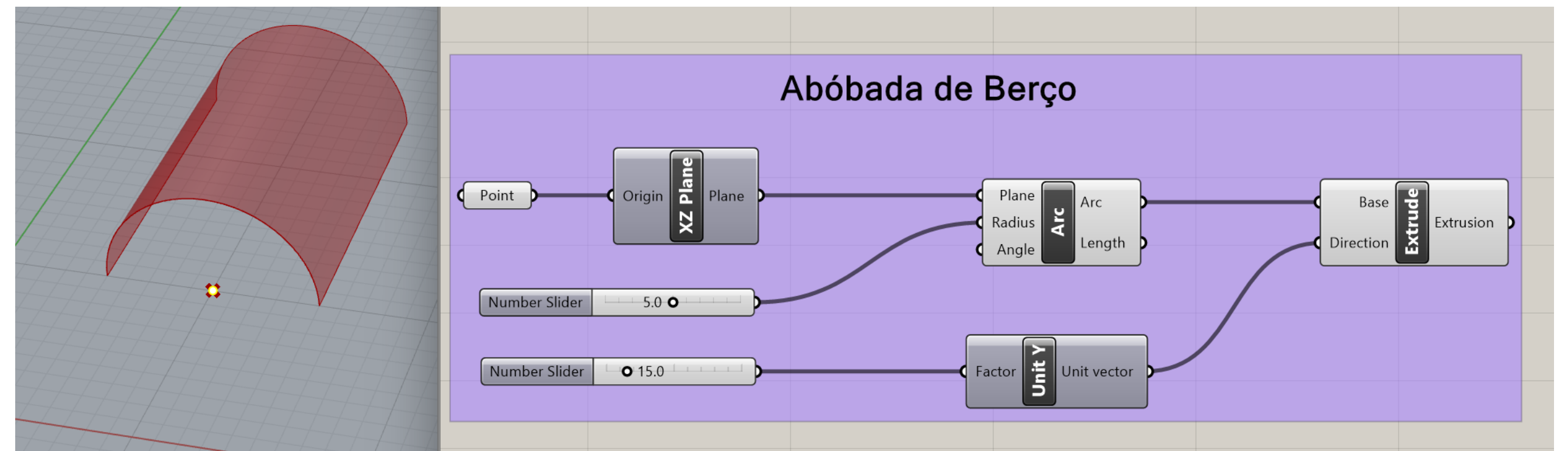
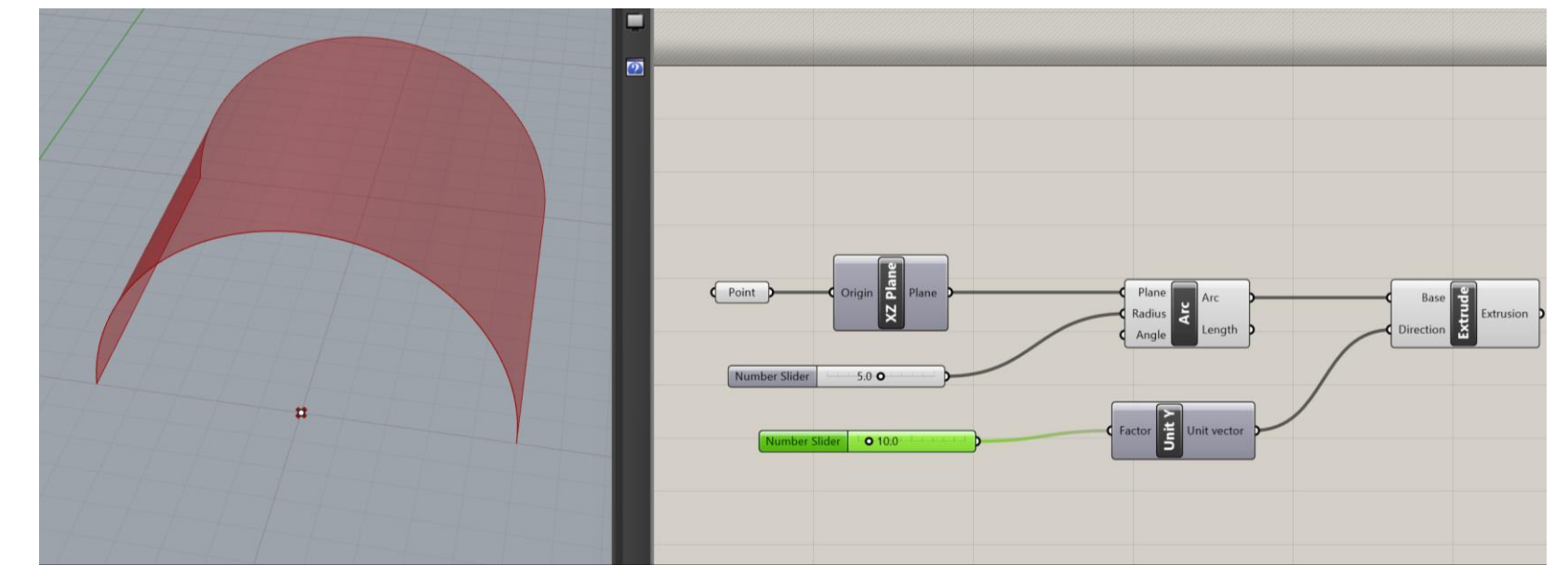
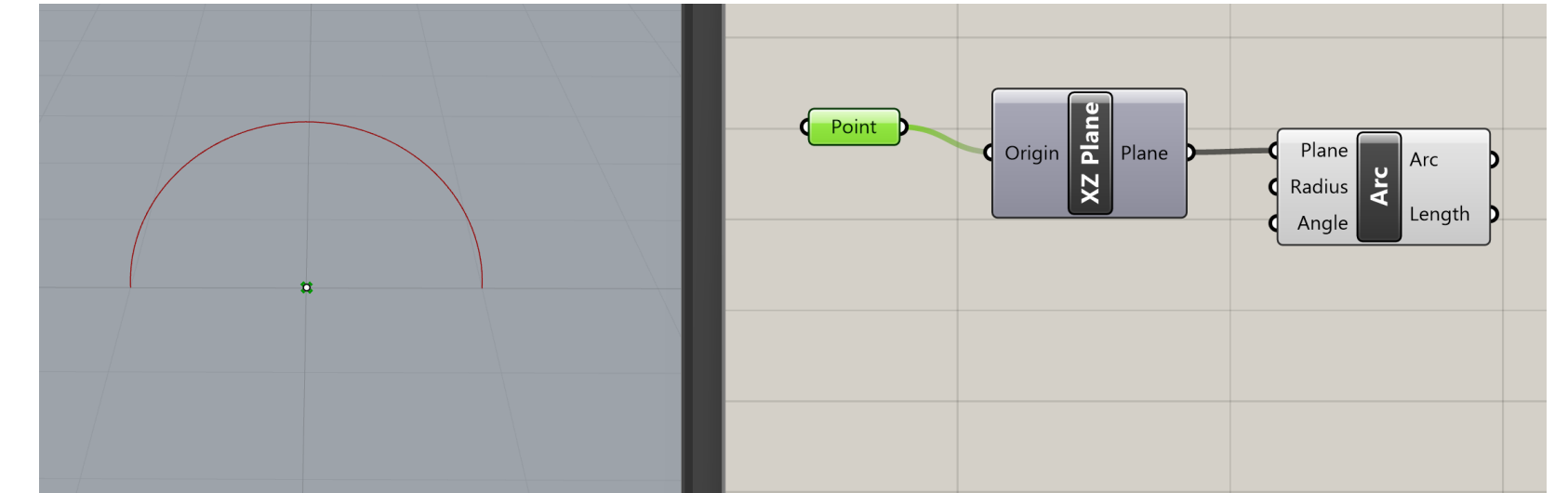
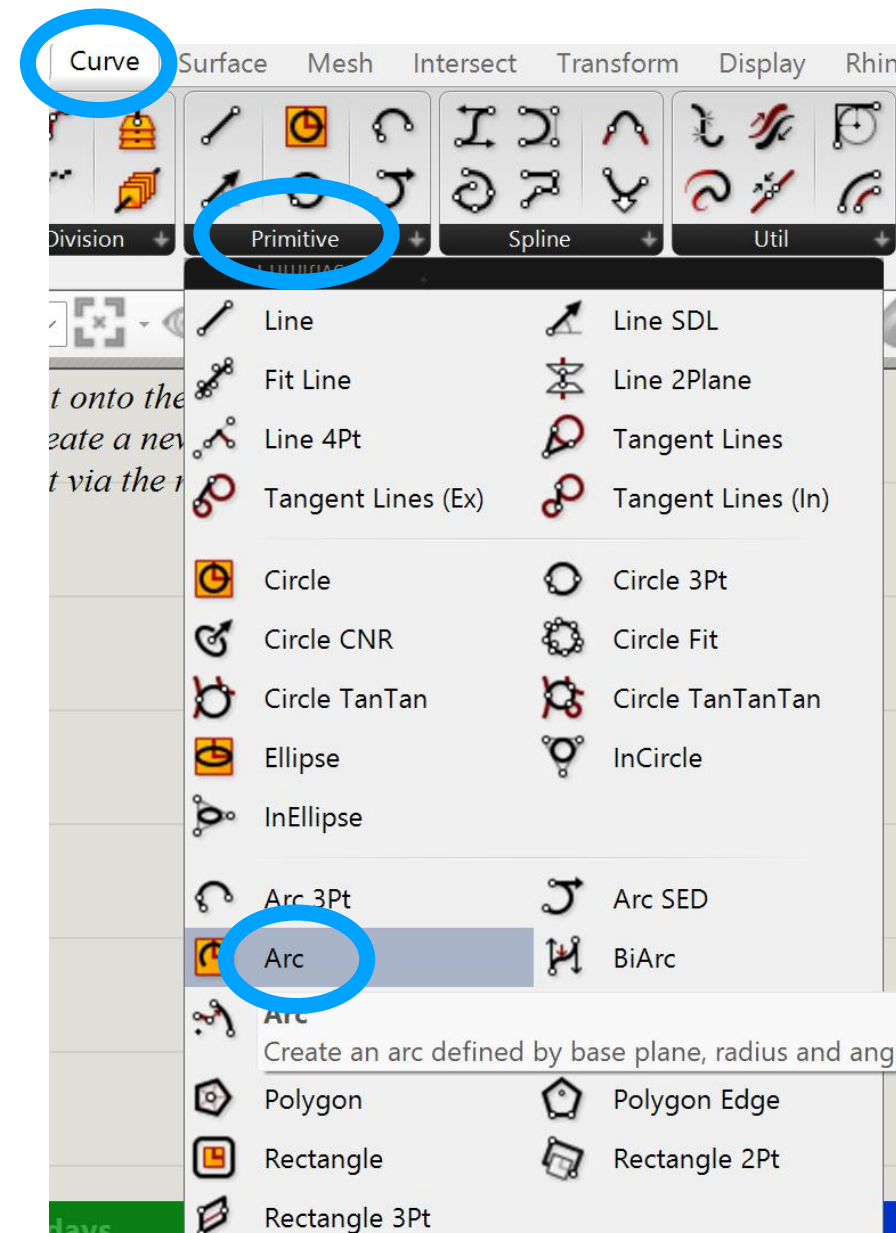
círculos criados.

Aplicar *Make2D* para gerar as vistas.



Abóbada de berço

- Criar um **Arc** (*Curve Primitive* → *Arc*), posicionado pelo seu centro.
- Definir um ponto de referência (10,10 indicado no Moodle) e inseri-lo no Grasshopper com **Set One Point**.
- Adicionar um **Slider** (até 20.0) e ajustar o valor para 15 e ligar a raio.
- Utilizar um **vetor no plano XZ** para orientar o arco verticalmente.
- Adicionar o comando **Extrude**, utilizando o arco como base.
- Definir a direção da extrusão com um **vetor no eixo Y**.
- Adicionar um **Slider** (até 20.0) e ajustar o valor para 15, controlando a altura/comprimento da extrusão.
- Inserir um **Scribble** para escrever o nome do exercício.
- Agrupar todos os elementos (**Group**) para organizar o ficheiro e mudar a cor do fundo.



Abóbada Ogival

1º Arco

Inserir um Arc, definido a partir de um ponto e de um vetor no plano XZ.

Adicionar um Number Slider (5.0) para controlar o raio.

Angle → Construct Domain com domínio de 0 até $\pi/3$

Alteração do 2º Ponto

Utilizar Deconstruct Point para obter as componentes X, Y e Z do ponto inicial.

Aplicar um componente Addition para somar 5 ao valor de X.

Reconstruir o ponto com Construct Point:

X → resultado da soma, **Y** → valor original **Z** → valor original

2º Arco

Inserir um Arc, definido a partir de um ponto e de um vetor no plano XZ.

Ligar o novo ponto a outro XZ Plane na entrada Origin.

Inserir um segundo Arc:

Plane → saída do XZ Plane **Radius** → mesmo Number Slider do primeiro

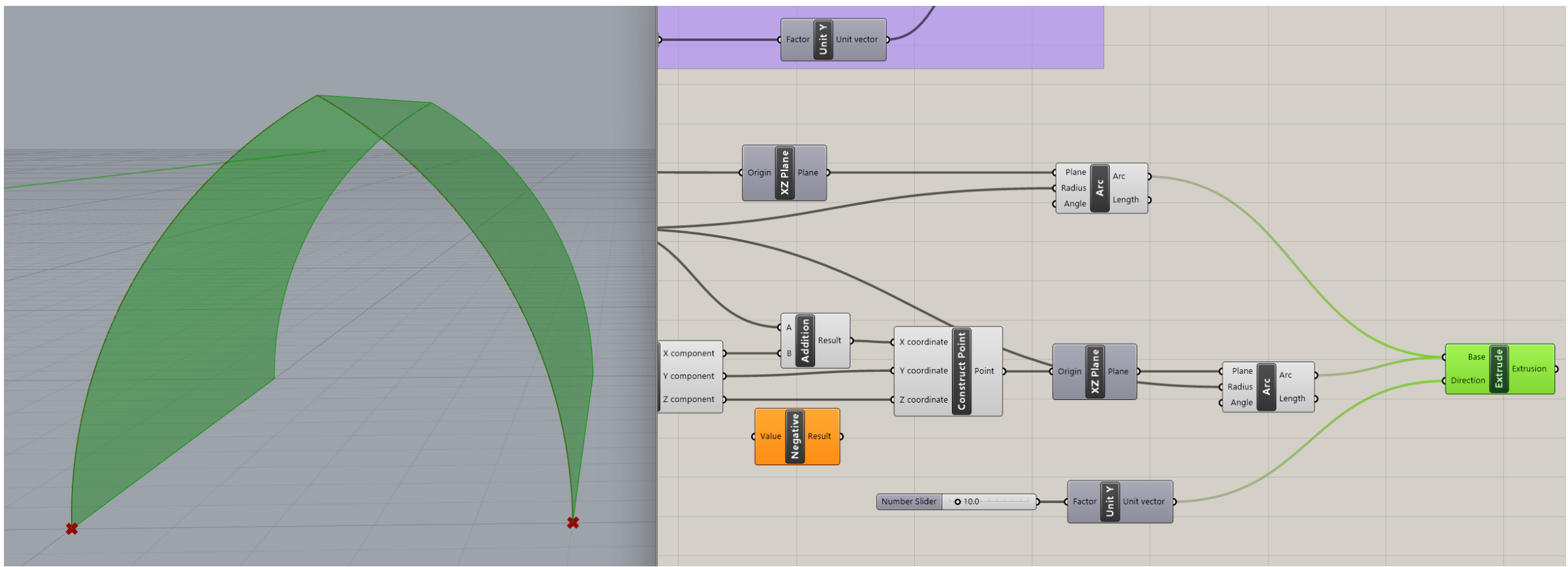
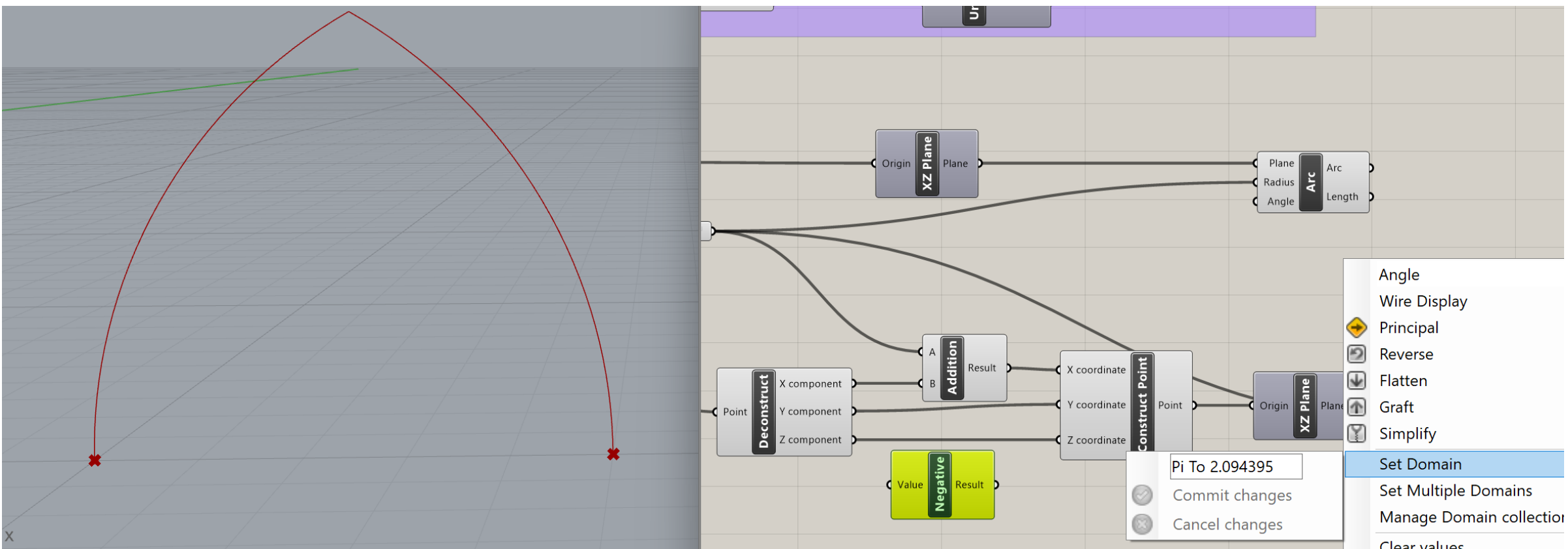
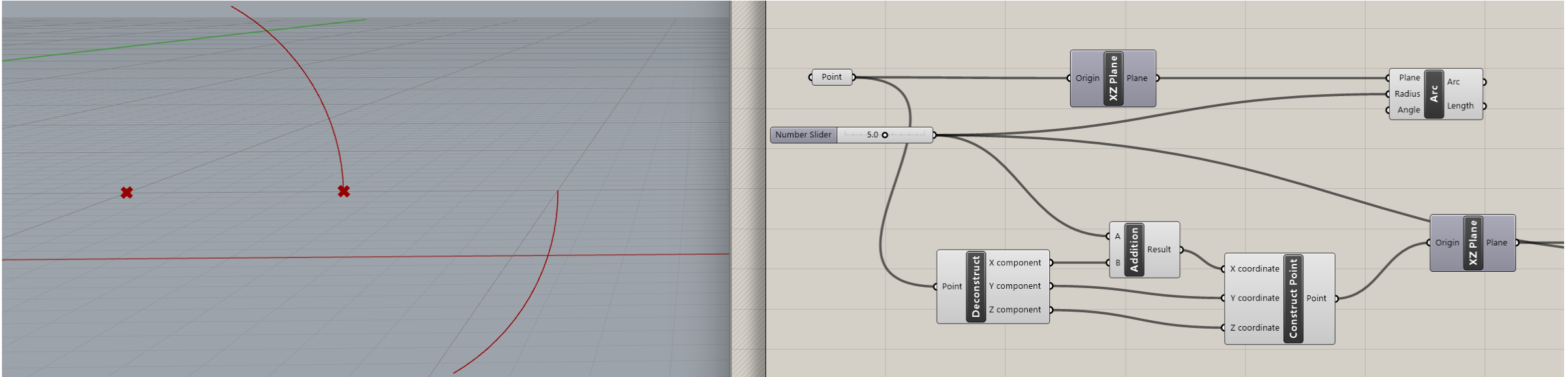
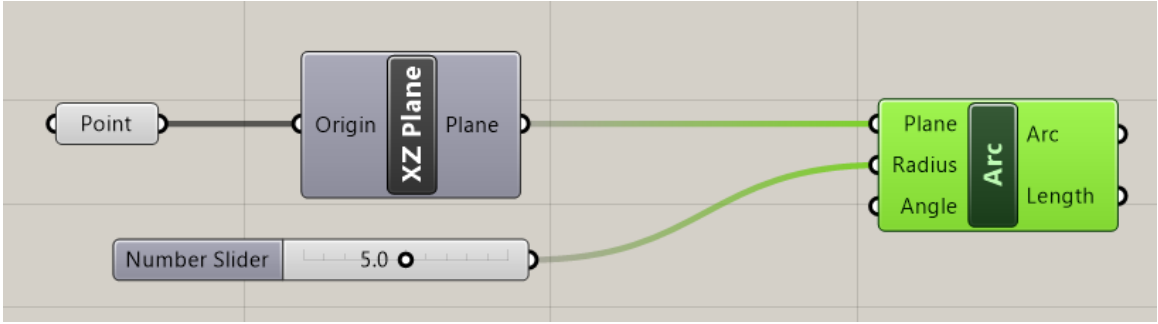
arco **Angle** → Construct Domain com domínio de 0 até $-2\pi/3$

Adicionar um Extrude e um Number Slider (10.0) para controlar a extrusão.

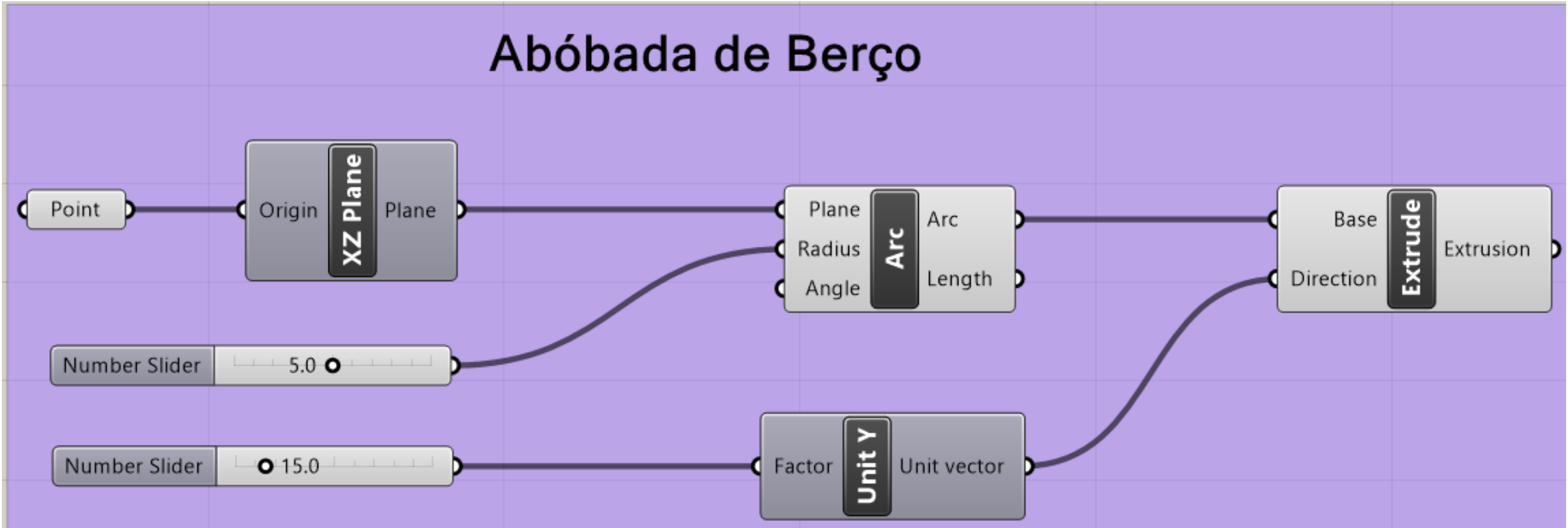
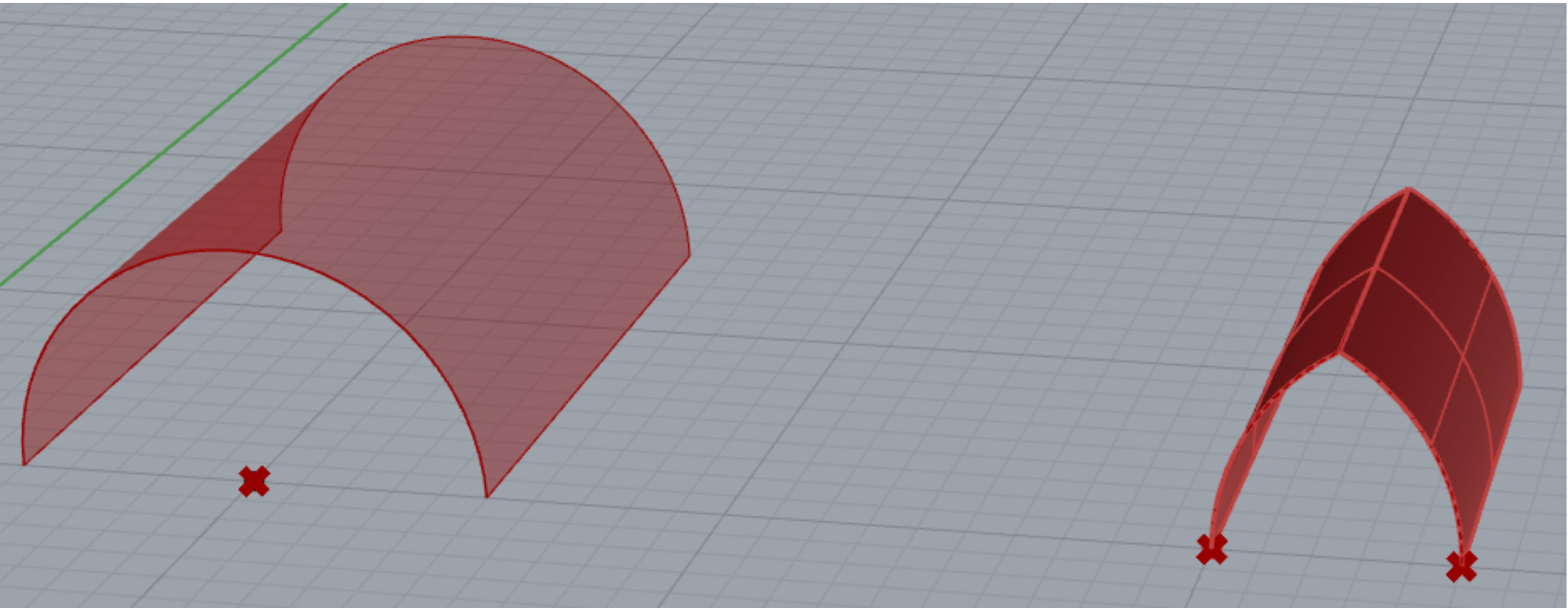
Inserir um Unit Y: **Factor** → Number Slider

Inserir um Extrude:

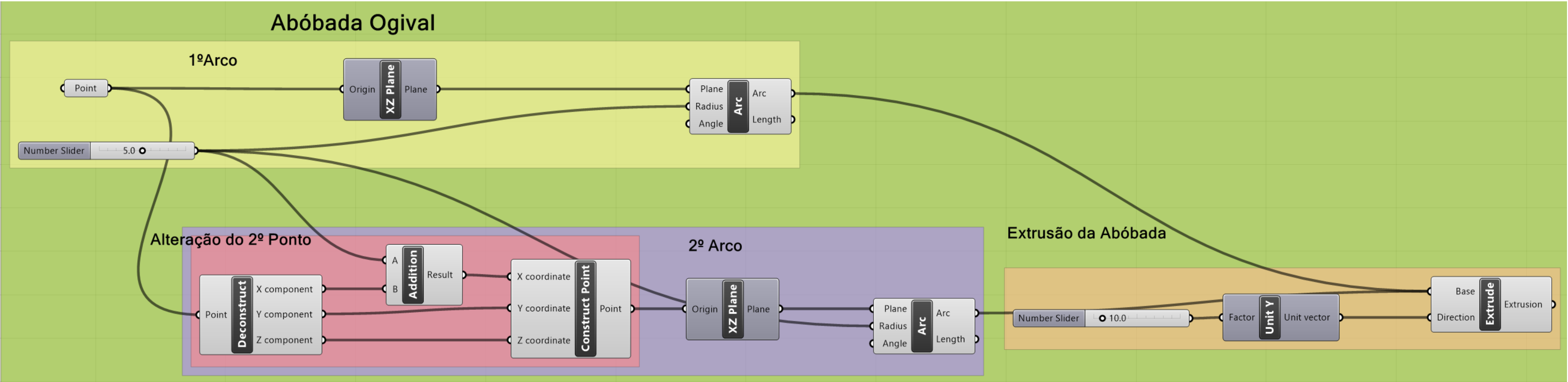
Base → os 2 Arcos **Direction** → vetor Unit Y



Final



*Para poder fazer alterações no Model é necessário clicar na opção bake no grasshopper



Grasshopper : Modelação de superfícies Tóricas

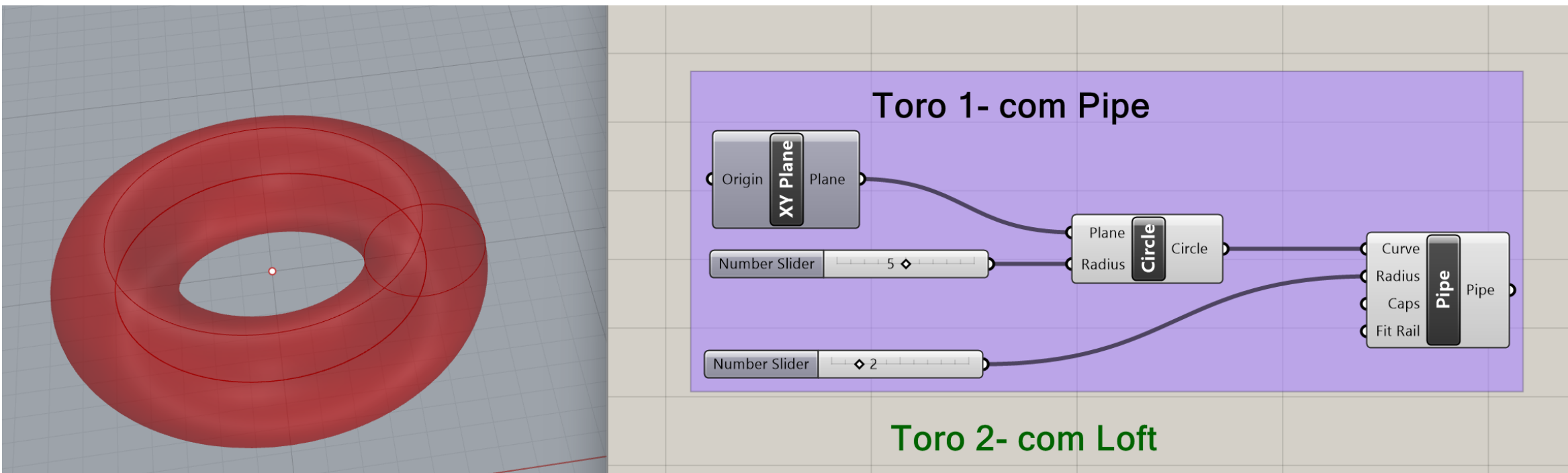
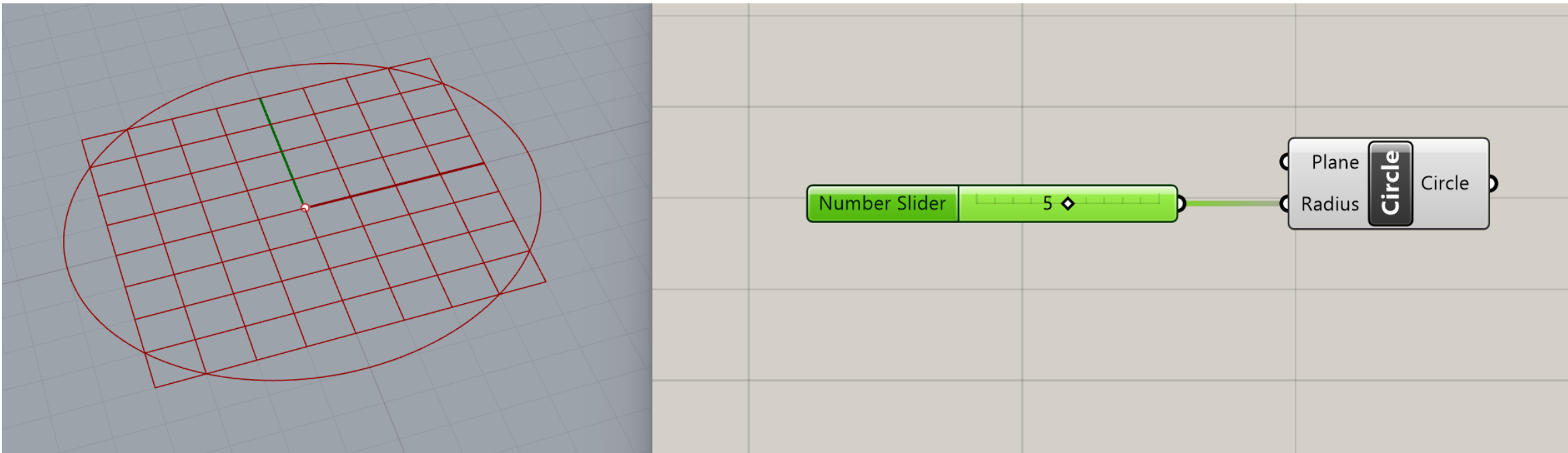
Toro 1

No Grasshopper, adicionar um componente Circle para criar a base que será utilizada na função Pipe, que já utilizámos no cilindro há alguns exercícios anteriores.

No model adicionar um ponto e no grasshopper meter setpoint para esse ponto. Adiciona um Number Slider (5) para controlar o raio da circunferência. Pode-se ajustar este valor para observar como a geometria se altera.

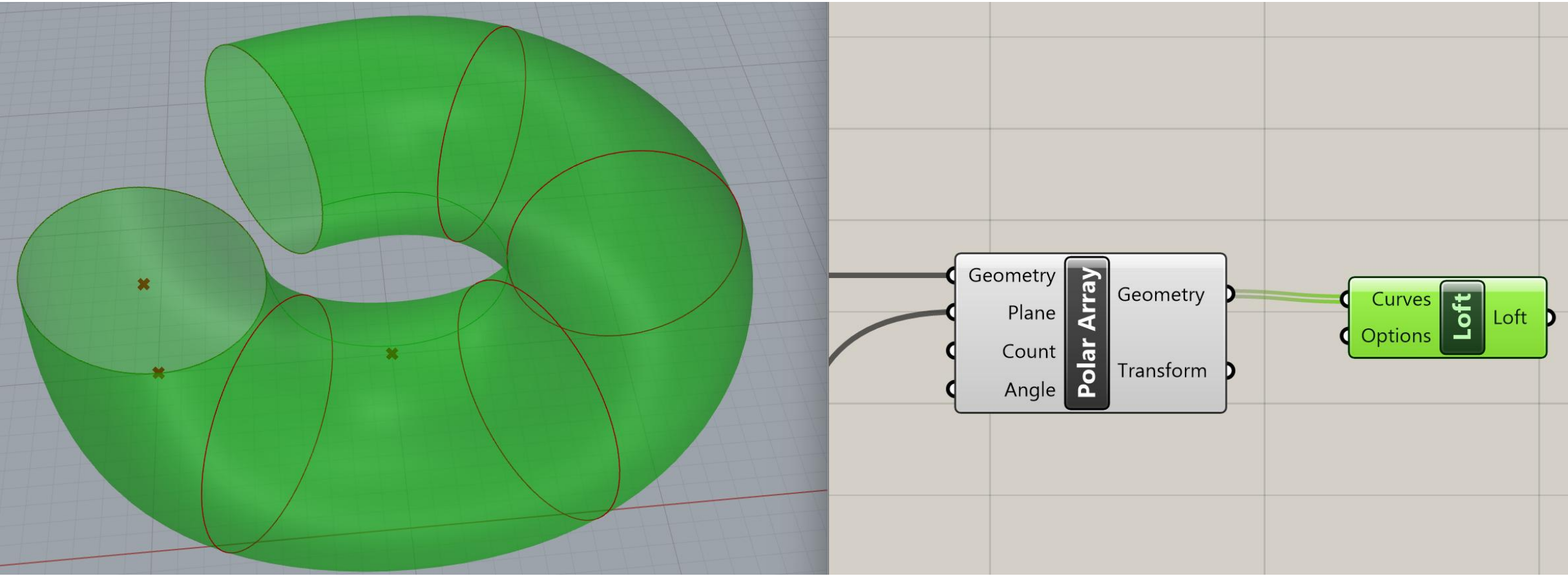
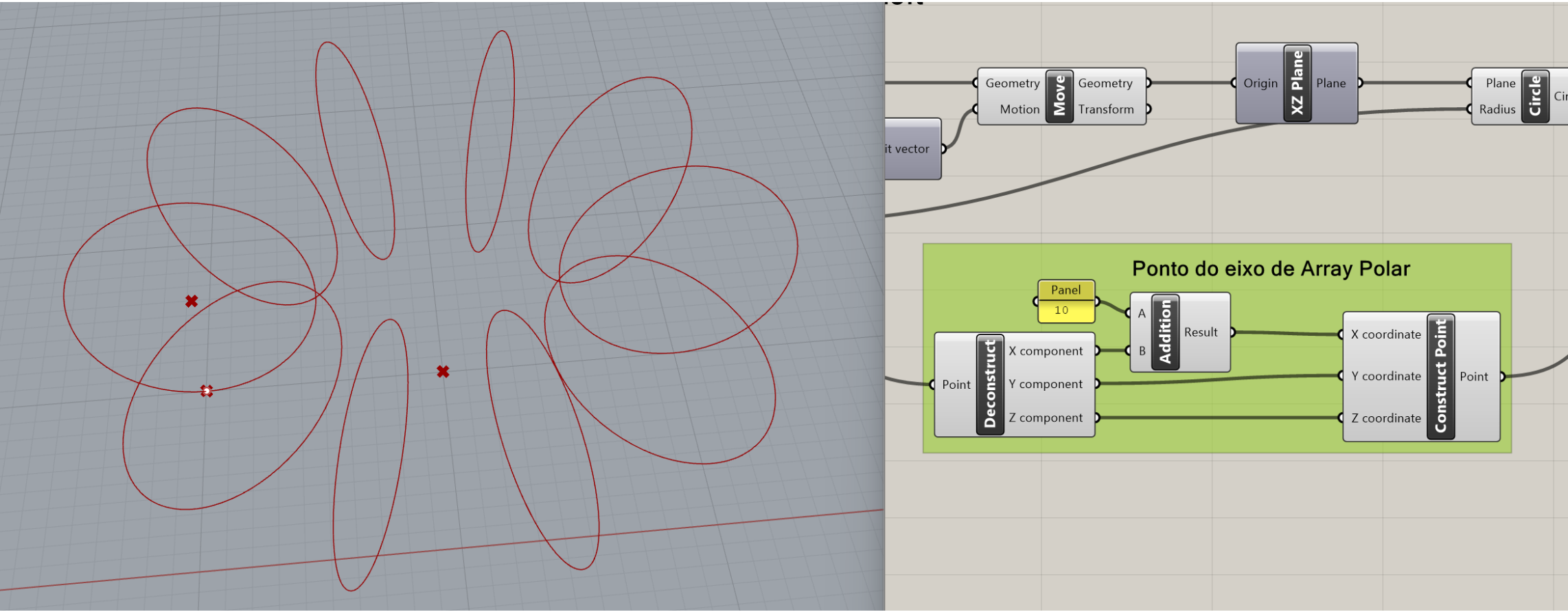
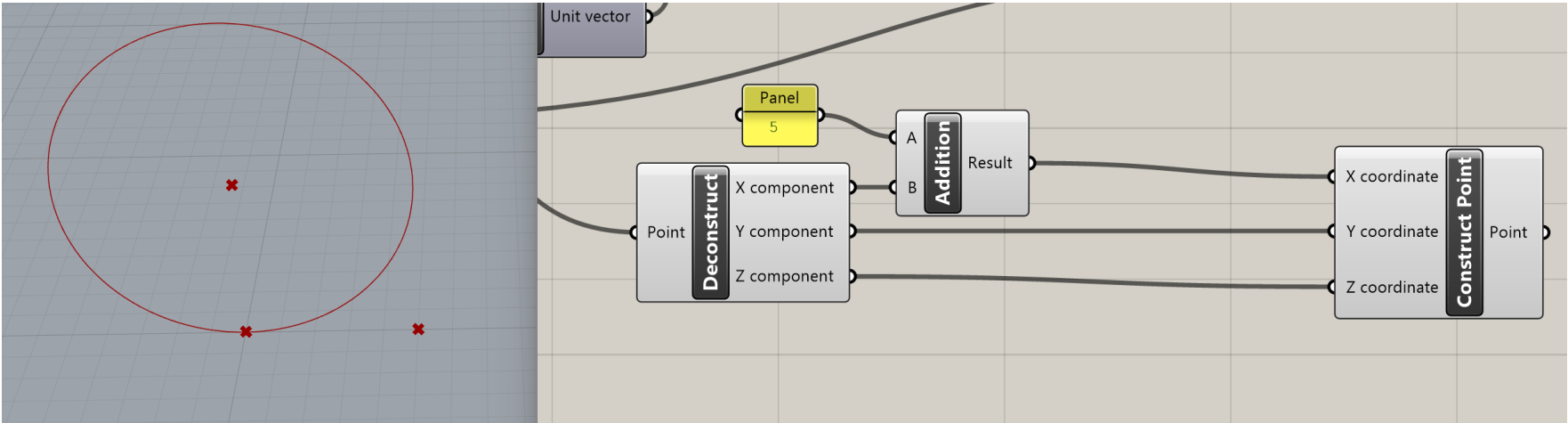
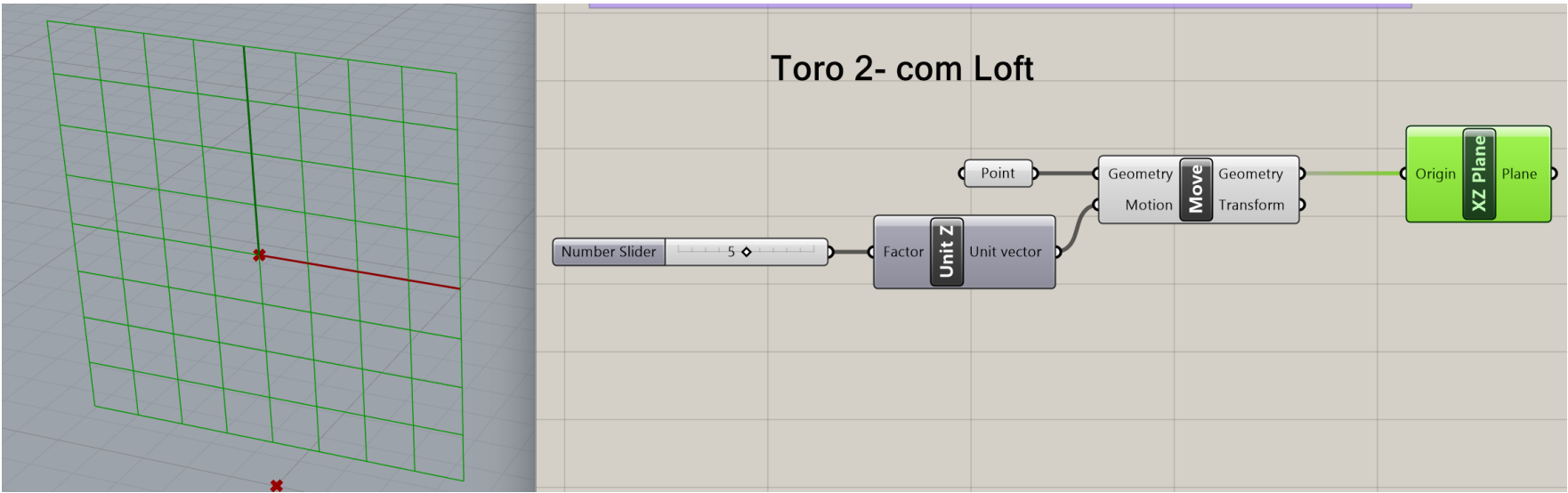
De seguida, acrescenta um plano XY e ligar ao Circle, para que a circunferência fique ortogonal ao plano horizontal. Se necessário, podes usar um componente de Move para deslocar a circunferência ao longo de um vetor e explorar diferentes posições.

Depois, adiciona o componente Pipe e liga a circunferência como input. Cria um novo Number Slider para controlar o raio do pipe neste caso, define o valor como 2. Experimenta variar este valor para perceber a relação entre a espessura do tubo e a escala da base.

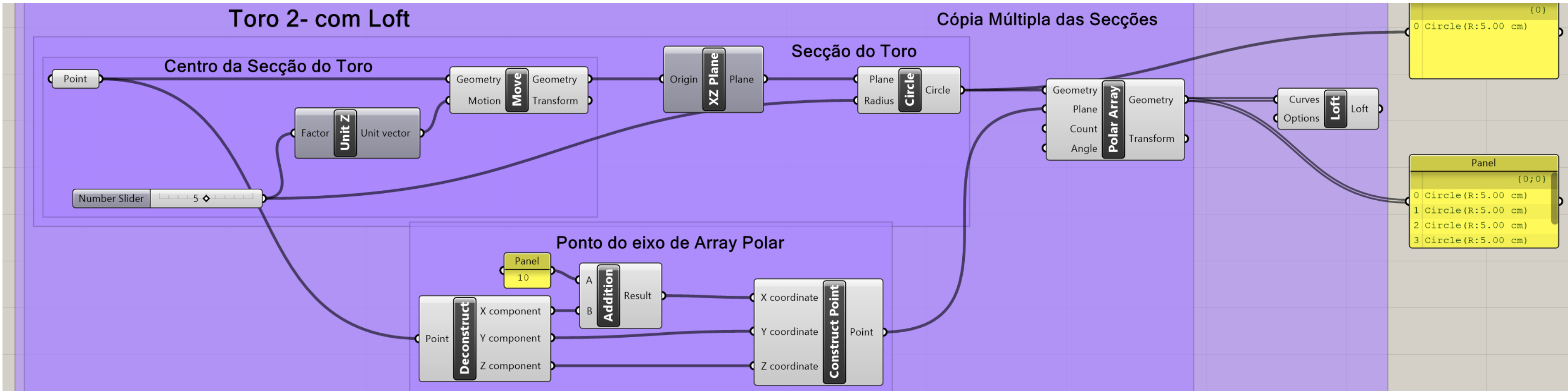
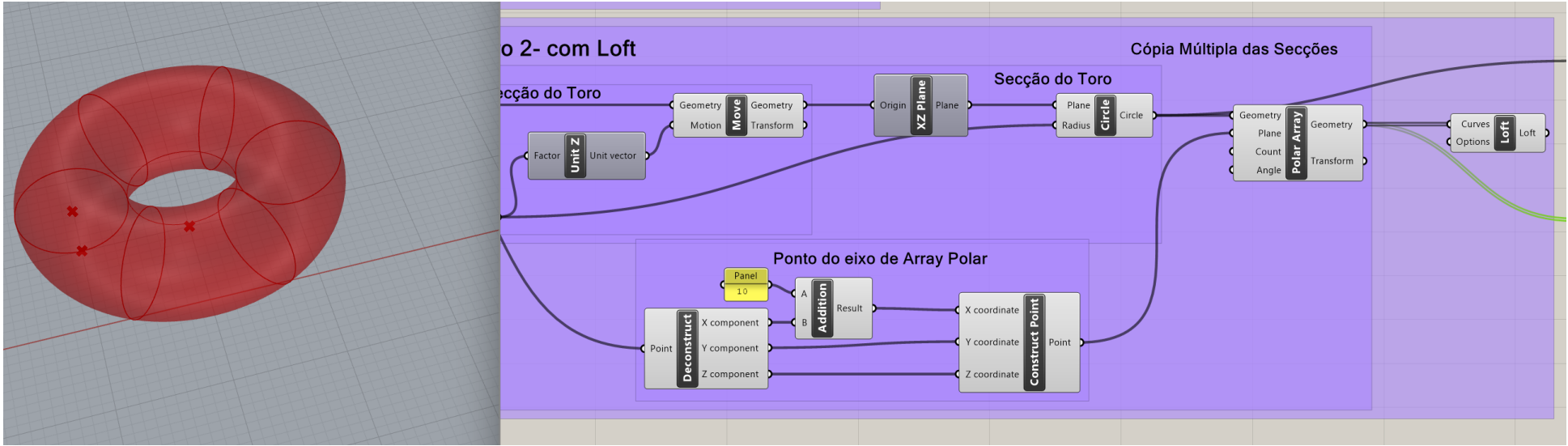
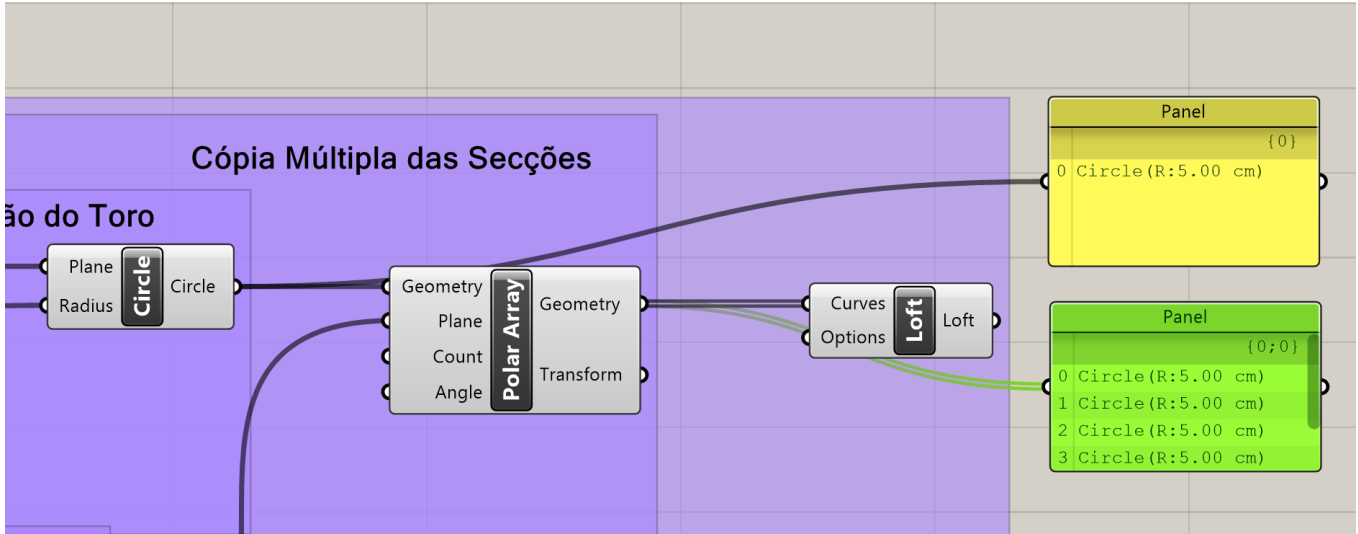
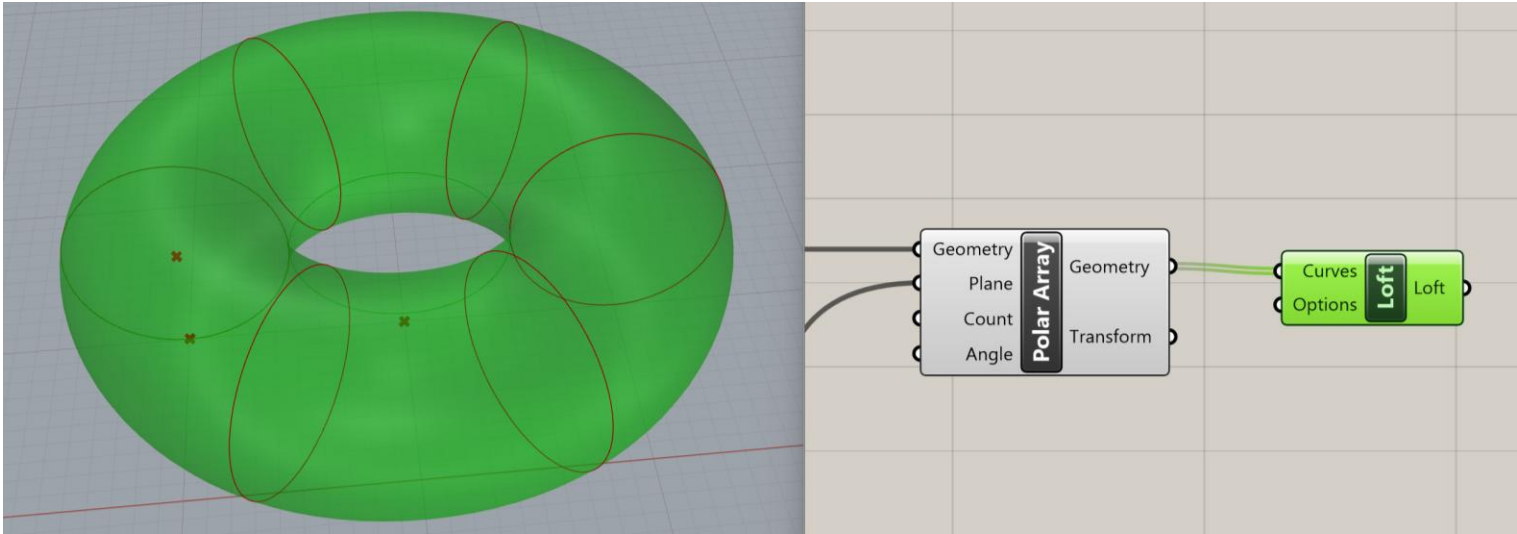


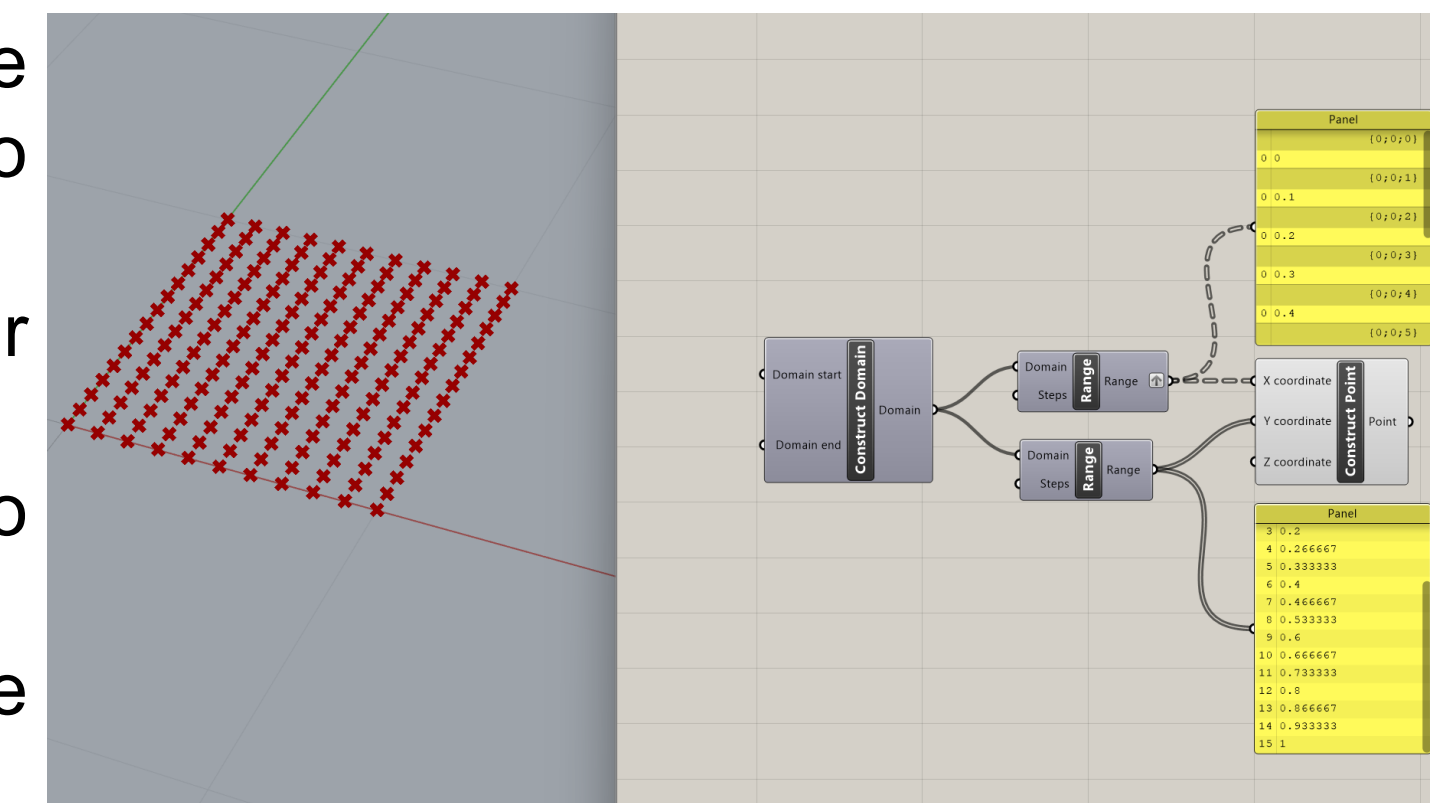
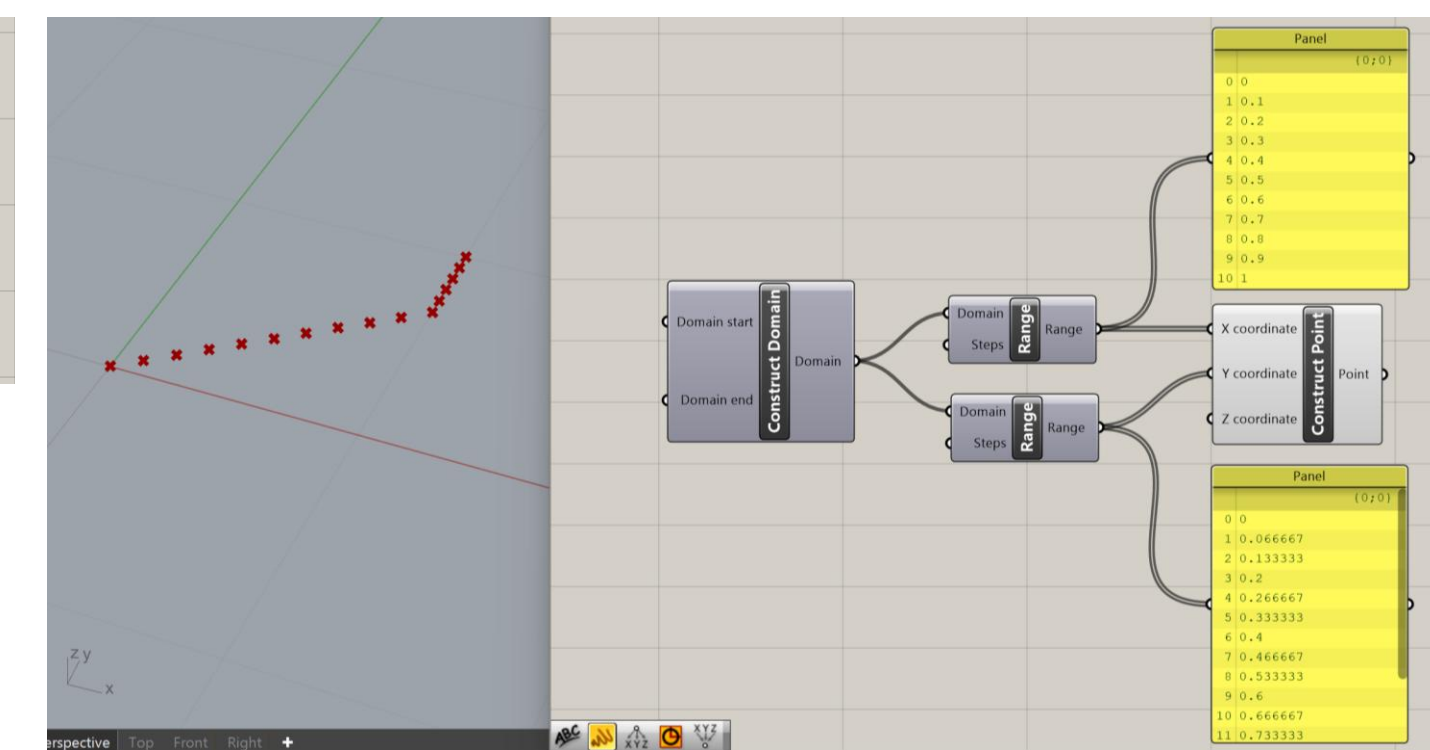
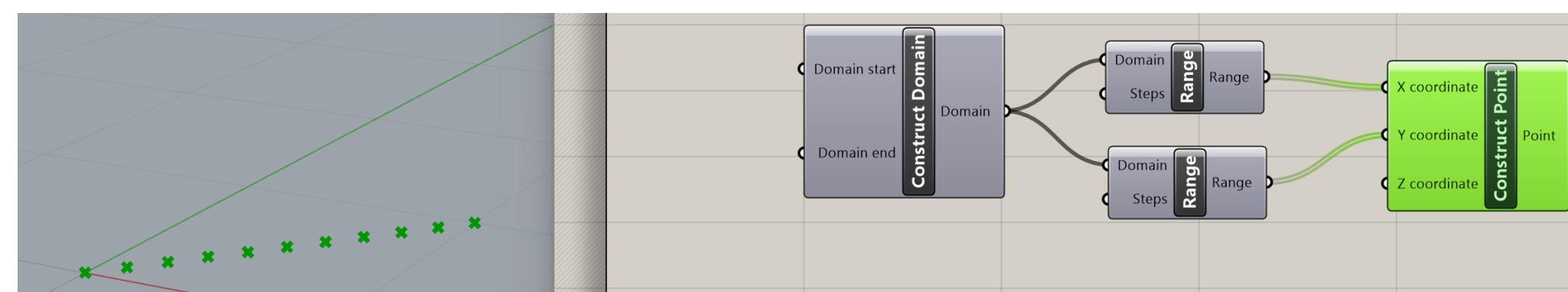
Começa-se por deconstruir o ponto original com uma adição de 5 à sua componente x. Com a nova posição, gera-se um Array Polar, distribuindo a geometria em torno de um centro, 10 vezes.

Alterar este número para 6. Para preencher a superfície é preciso acrescentar um loft. O loft no grasshopper não faz 360° automaticamente, é necessário alterar manualmente para close.



*Ao ligar um panel, ele dirá os atributos em formato lista





Acrescentar um domínio. Mais range duas vezes. Ligar ao domain inicial

Dois panels no range, cada um. Alterar steps de um para 15

Os valores ate 10 matem se iguais na reta afim linear e o programa vai acrescentar os restantes aligures

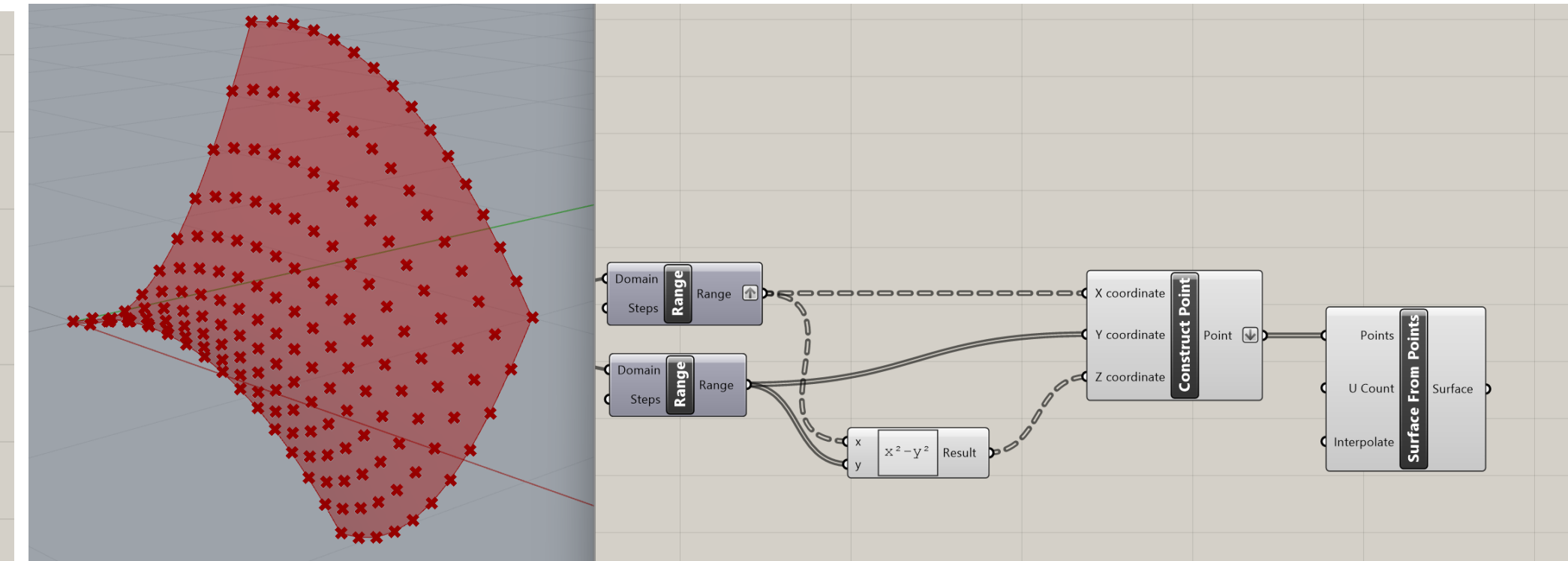
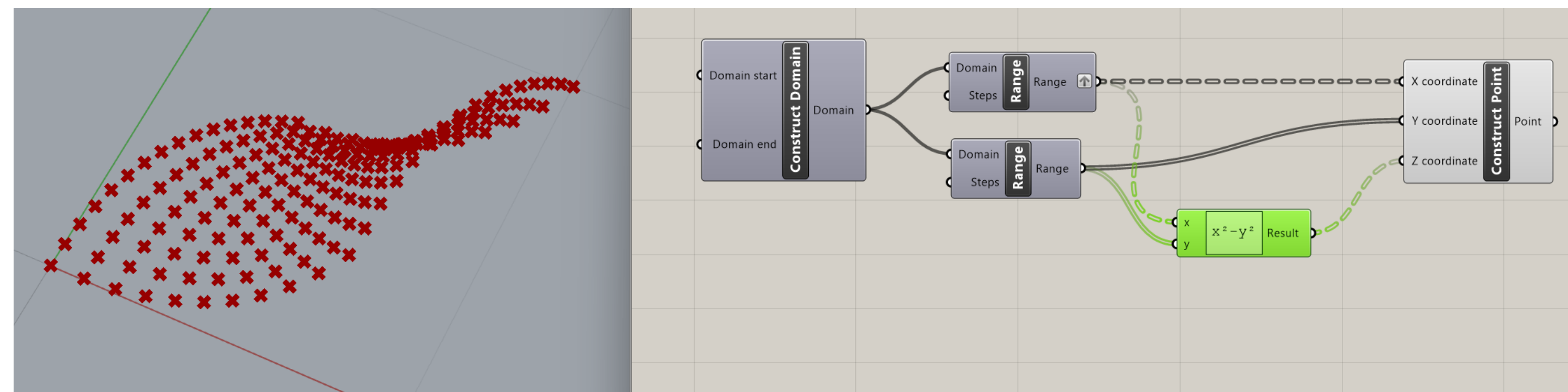
Acrescentar função quadratica $x^2 - y^2$ construct point e ligar a um structure from points á entrada P

Adicionar um domínio inicial que vai servir como base. Esse domínio é ligado a dois componentes Range, que podem ser ligados a panels para ver os seus atributos. Em ambos os Range, o número de steps é alterado para 15.

Os valores gerados mantêm-se lineares até ao ponto 10, funcionando como uma reta afim linear. A partir desse limite, o programa começa a distribuir os restantes valores de forma não linear.

Mete-se uma função quadrática $x^2 - y^2$, que é usada para transformar os valores obtidos. O resultado é ligado a um componente Construct Point, onde são convertidos em pontos no espaço.

Os pontos gerados são ligados a um componente Structure from Points, na entrada P, criando a superfície 3D.



Aula. 10

23/4/2026

Aula via Zoom

Rhino : Modelação de superfícies curvas

Exercício 3.2 e 3.3 (Moluscos) : Planorbis
e Nautilus

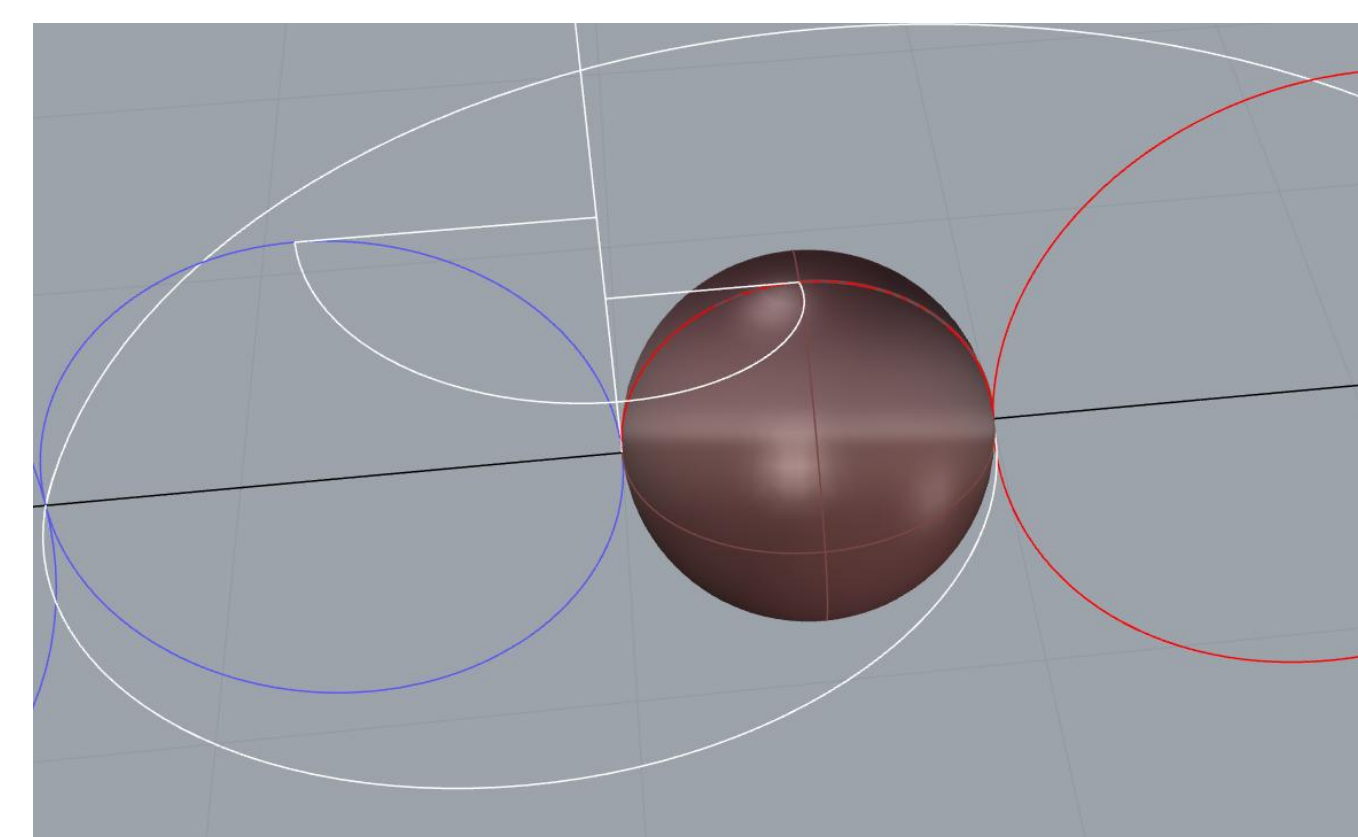
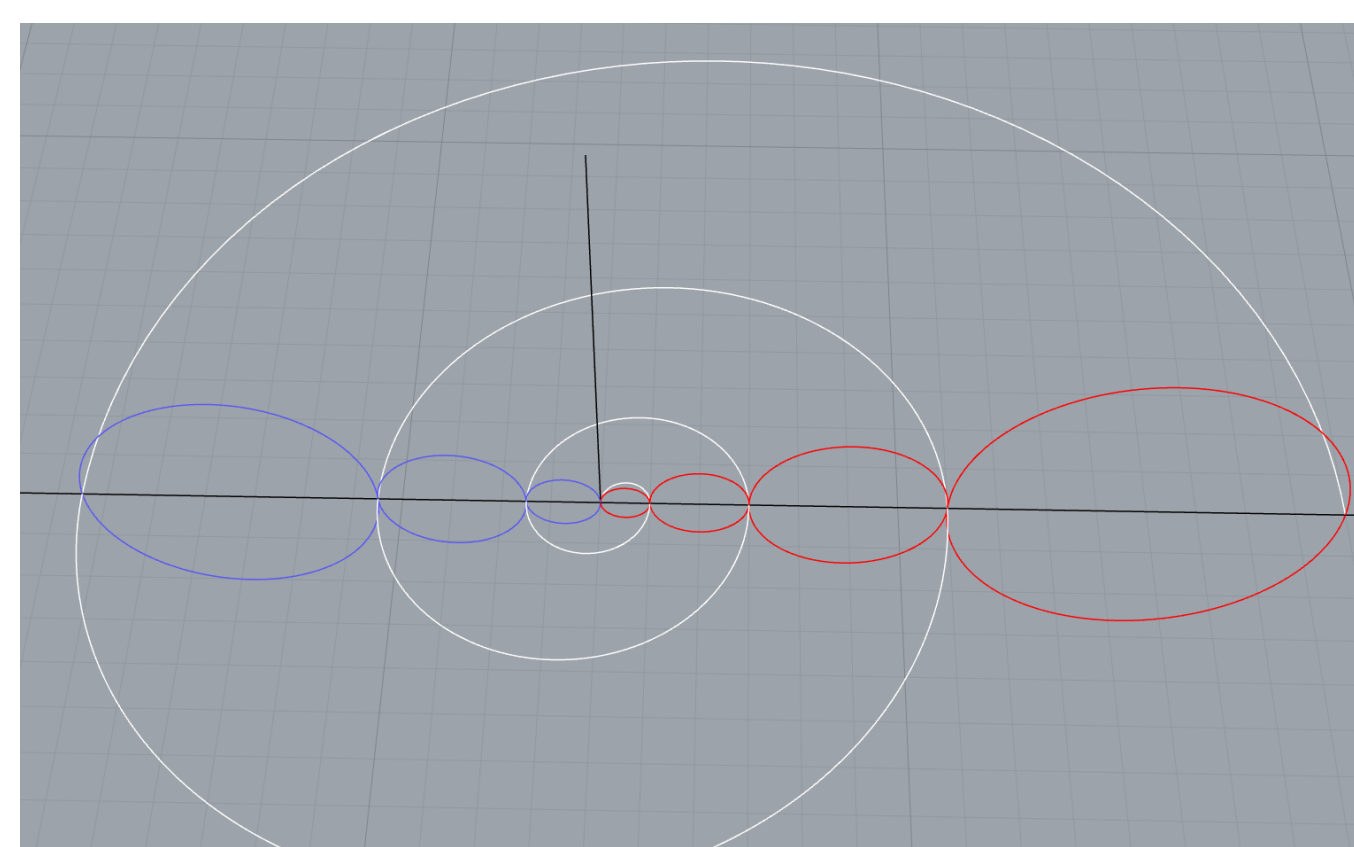
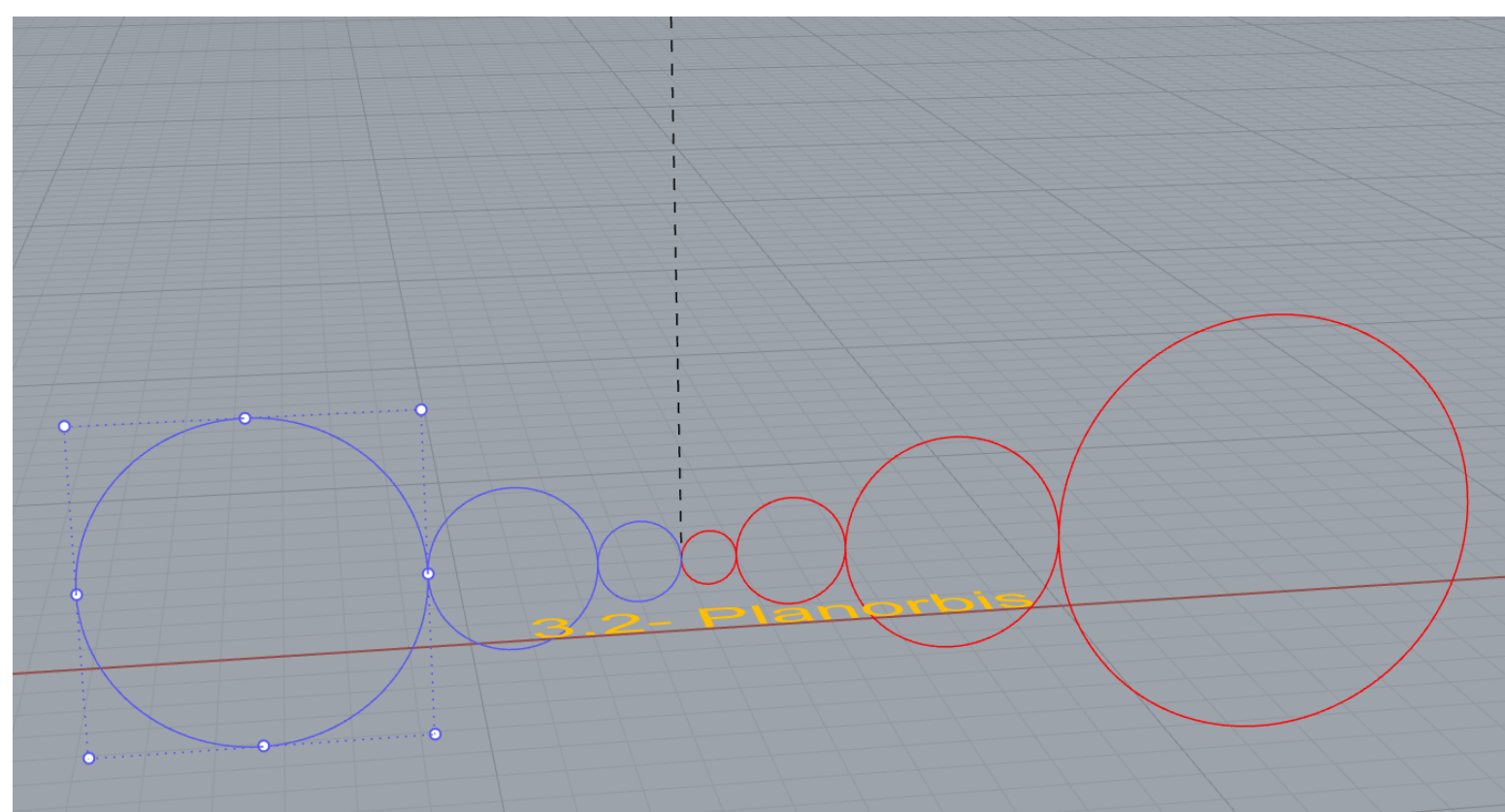
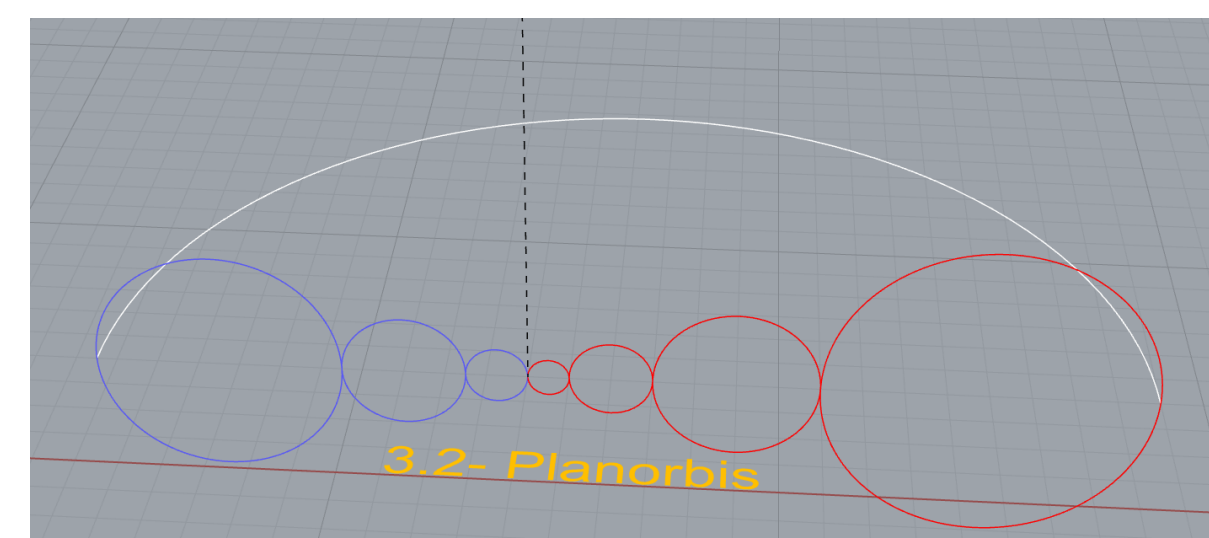
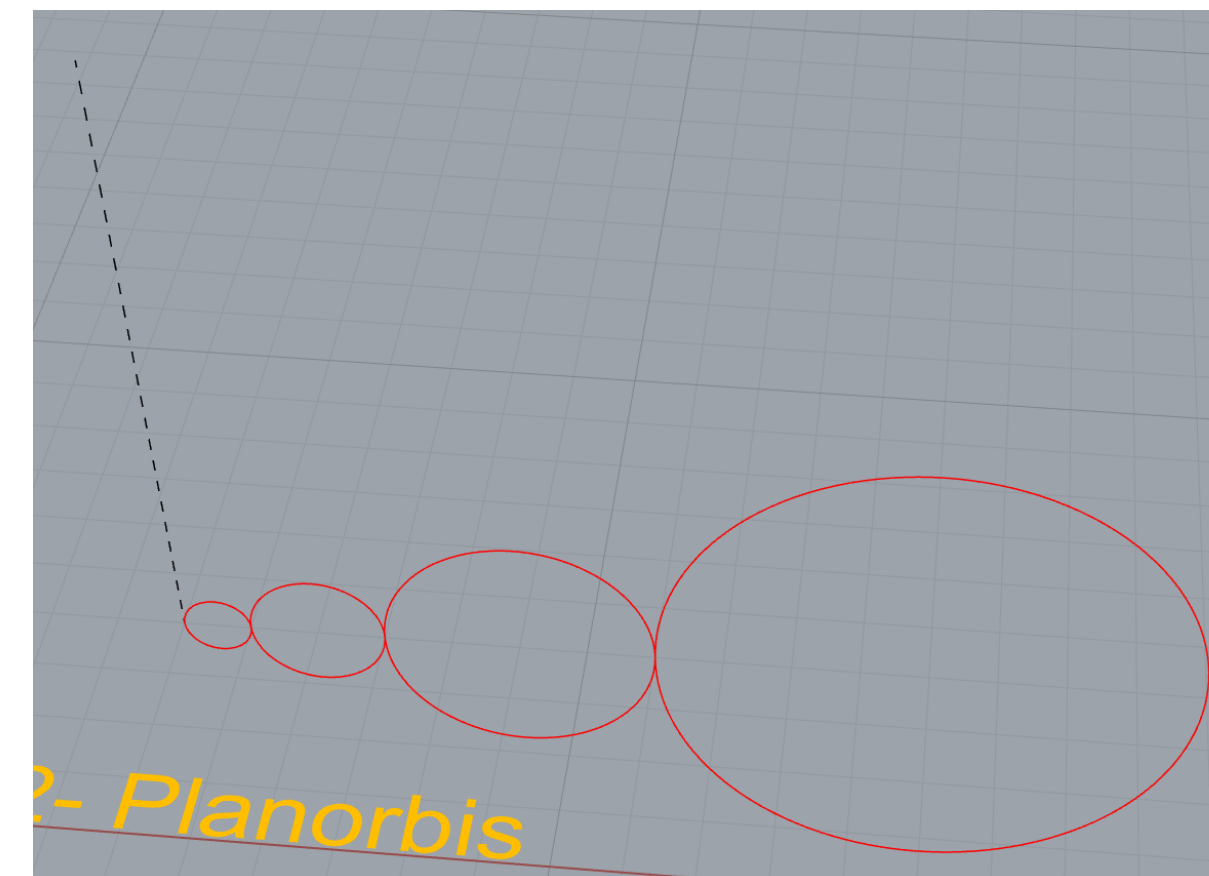
Planorbis

A Planorbis tem a forma de uma espiral plana.

Para começar, cria-se uma circunferência vertical com diâmetro 1. Ligar o grid snap e escolher a opção circunferência a partir de 2 pontos. Vamos criar uma sequência de circunferências desenhadas lado a lado: para o lado direito, com diâmetros 2, 4 e 8; para o lado esquerdo, com diâmetros 1,5, 3 e 6.

Para criar as diretrizes na parte interior da Planorbis, parte-se de uma esfera cortada ao meio.

Utiliza-se a opção esfera a partir de 2 pontos e plano de corte será a circunferência de diâmetro 1.

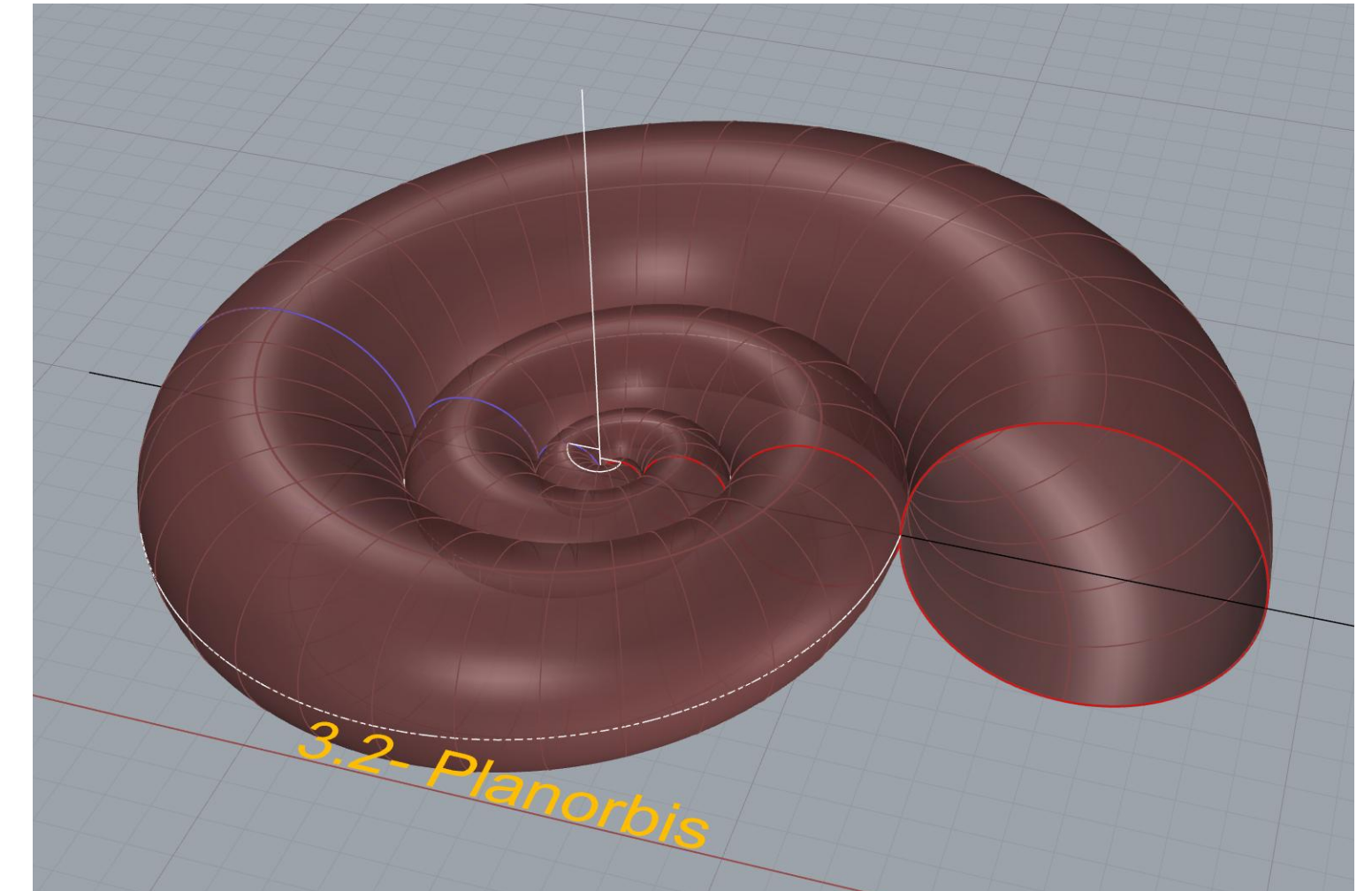
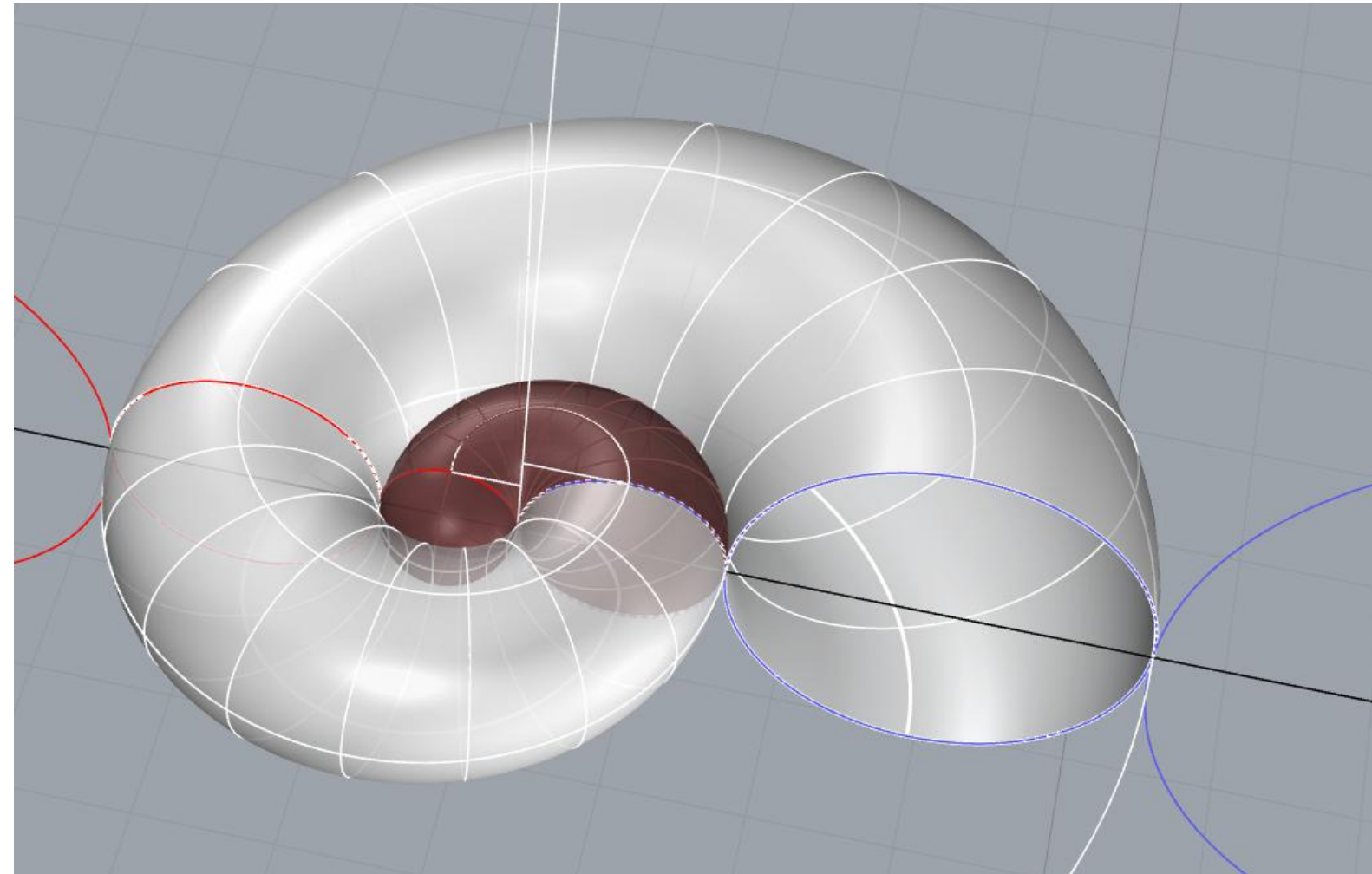
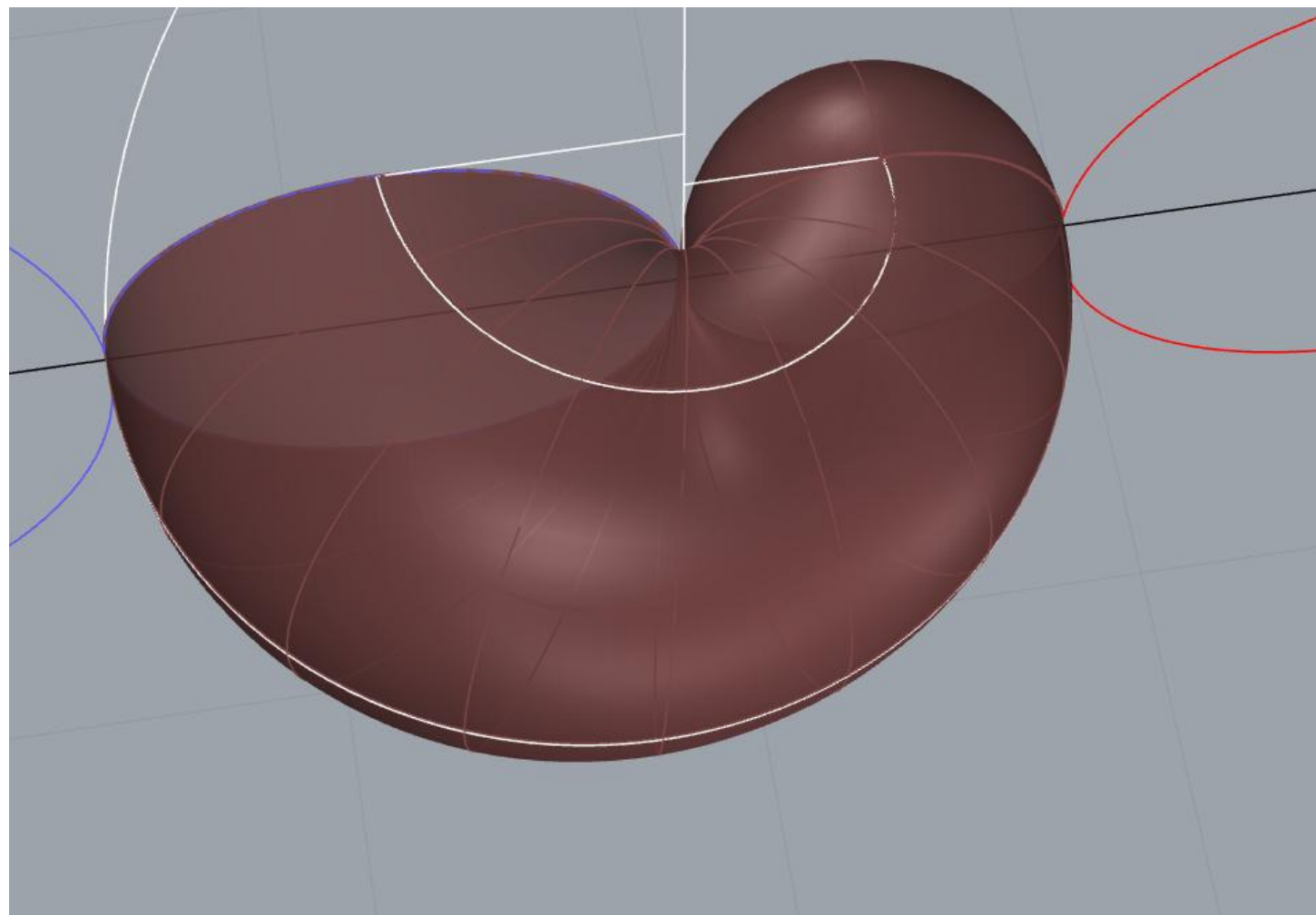


Planorbis

Na interseção seguinte, utiliza-se o comando Spiral, pois a maneira principal não funciona sem duas diretrizes. A partir dos pontos de tangência das duas circunferências inferiores, criam-se duas linhas horizontais que intersectam o eixo inicial. o comando pede o eixo (axis), que será definido pelos dois pontos de interseção das novas linhas com a linha vertical.

Depois, é necessário ajustar o número de voltas para 0,5 e ativar a opção reverse twist. Define-se o raio inicial e o raio final, que correspondem aos pontos do topo das duas circunferências mais pequenas.

Nas secções seguintes, o processo vai ser sempre igual. utiliza-se o Sweep 2, escolhendo duas diretrizes como rails e duas geratrizes como shapes, repetindo até completar a forma final.

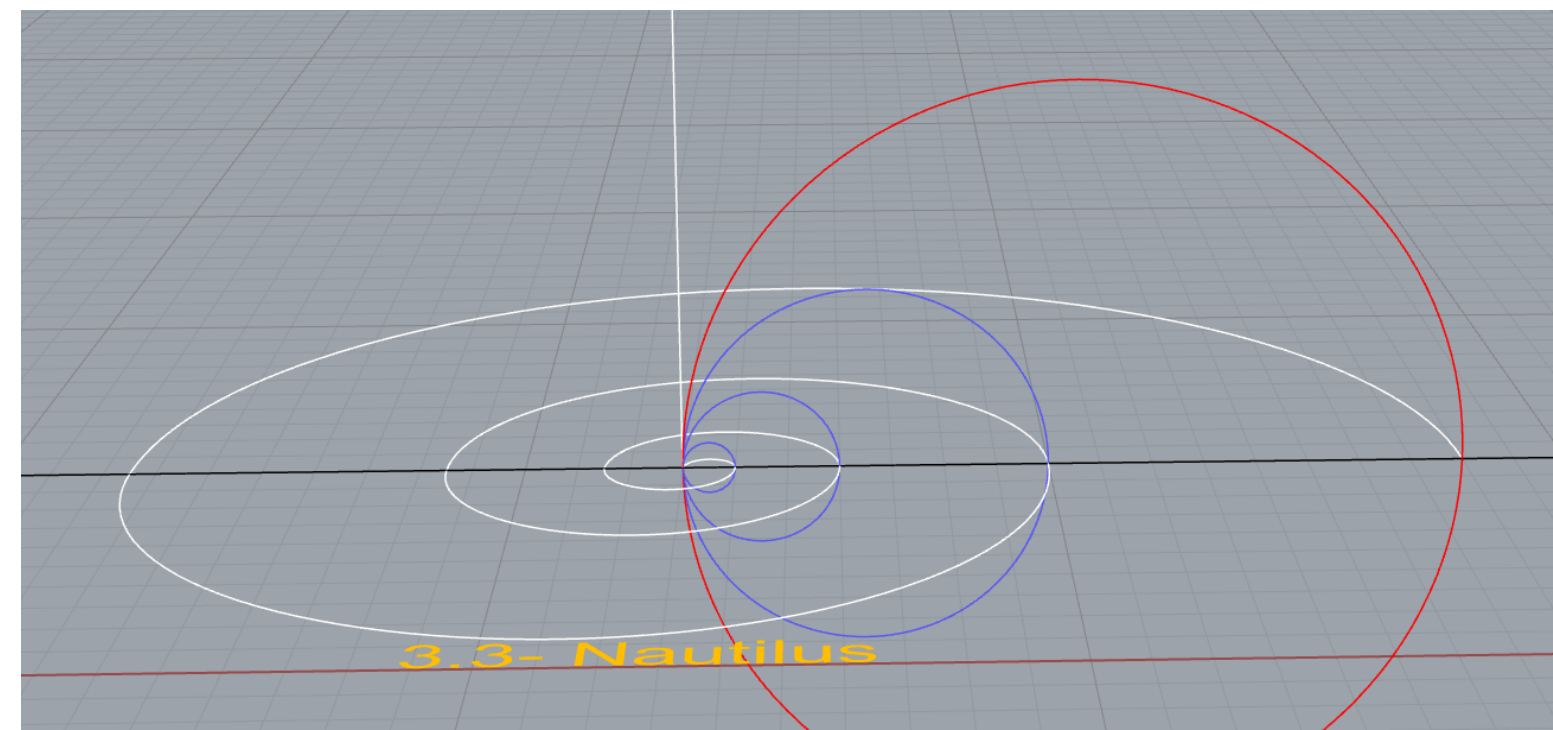
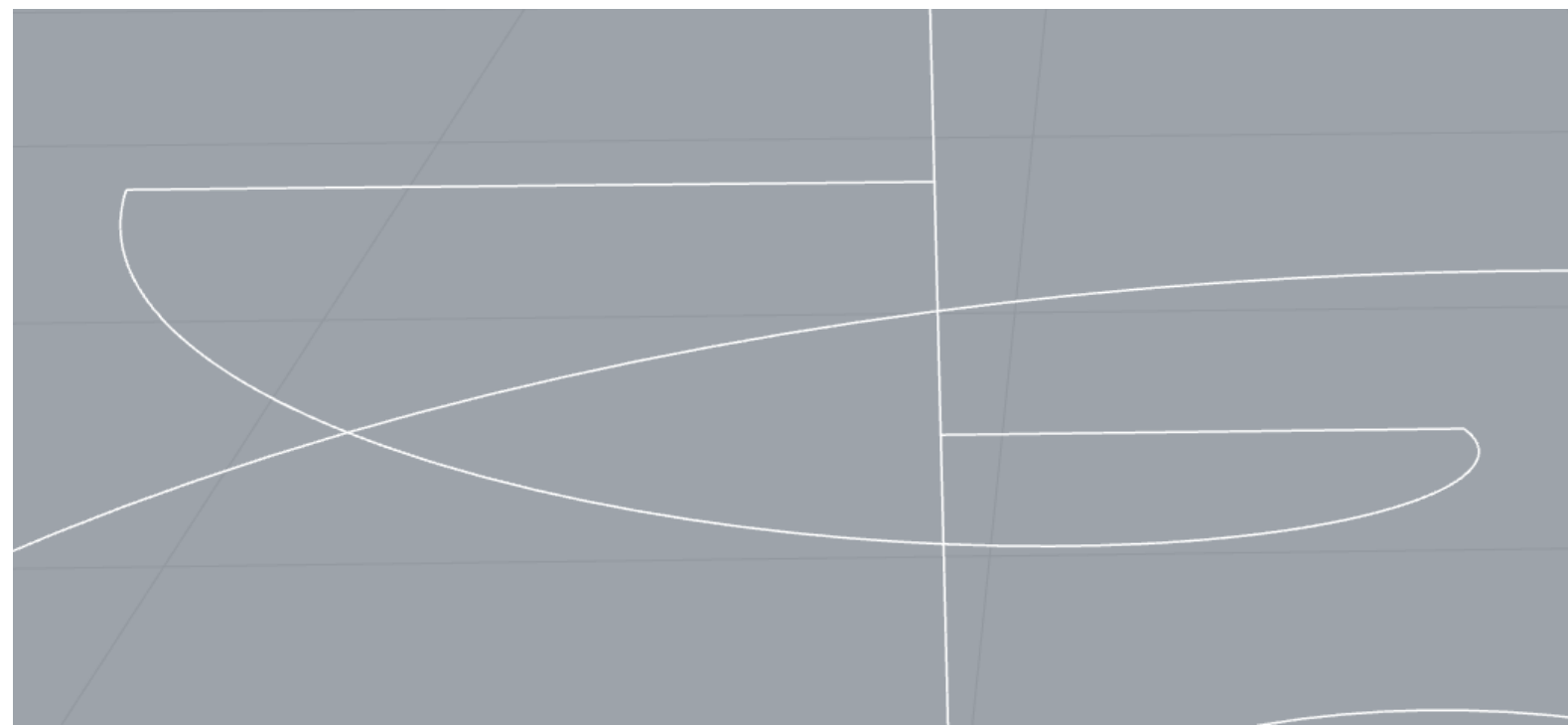


Nautilus

Começa-se com base da forma anterior. Fazem-se circunferências desde o ponto interior até ao exterior direito e, depois, criam-se outras que vão diminuindo ao longo da reta.

Define-se um eixo vertical a partir do ponto interior e traça-se a tangente da circunferência maior até essa reta.

Copia-se a forma base em caracol e coloca-se no ponto de interseção superior. Usa-se o scale para encolher essa nova forma, de modo a manter o mesmo início, mas terminar no ponto de tangência da circunferência maior. Cria-se uma linha diagonal do ponto interior até ao ponto de tangência.



Nautilus

Com o *revolve*, constrói-se um cone auxiliar usando essa diagonal como *rail* e o eixo como referência.

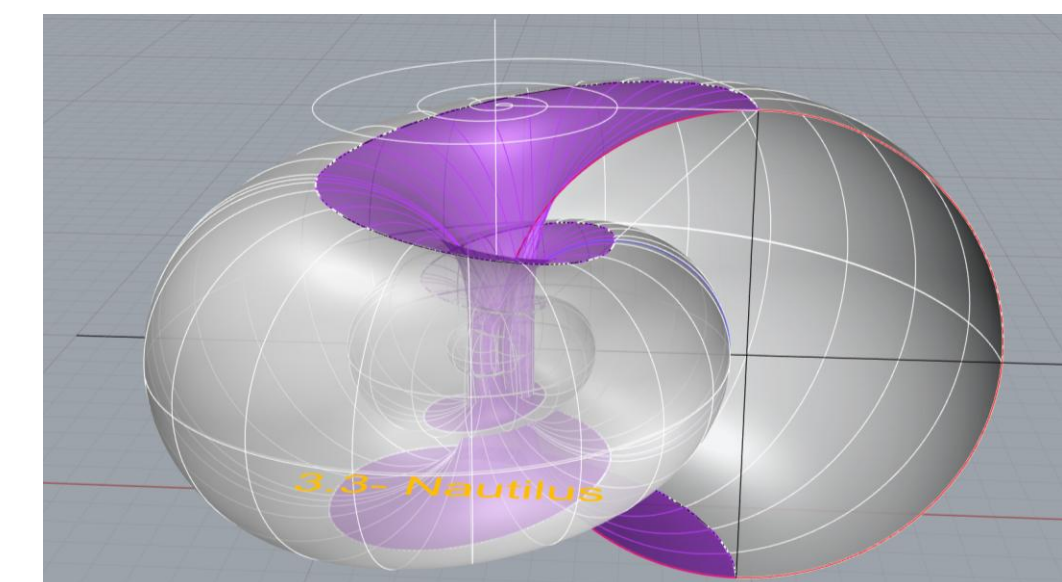
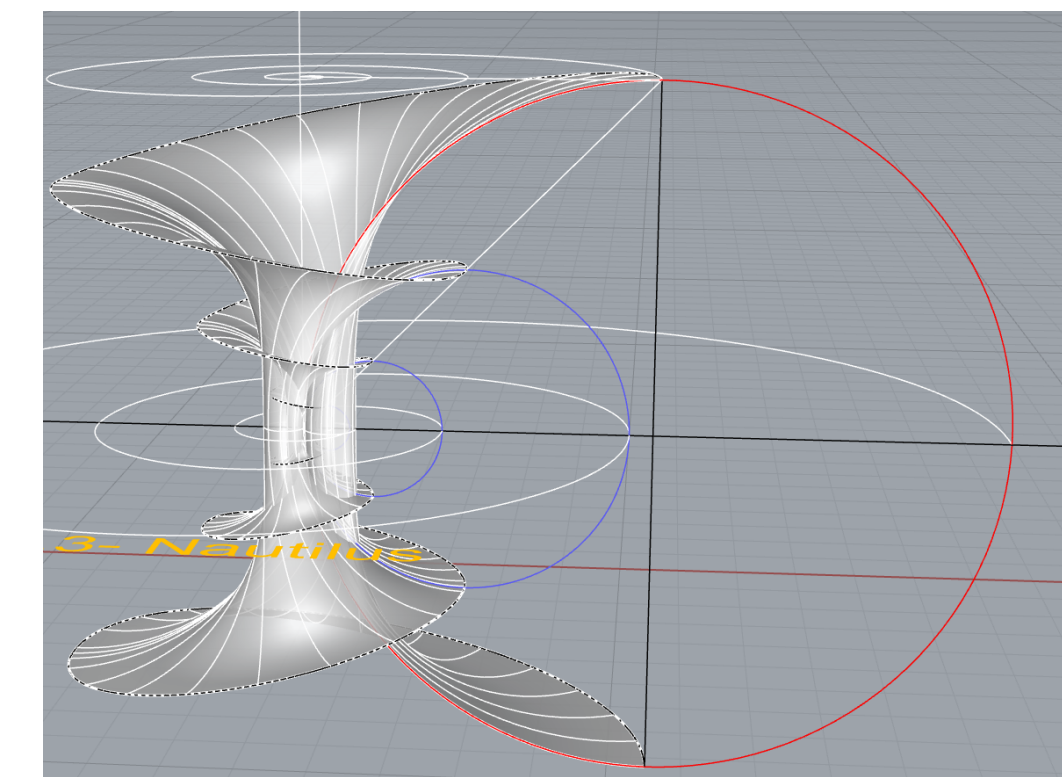
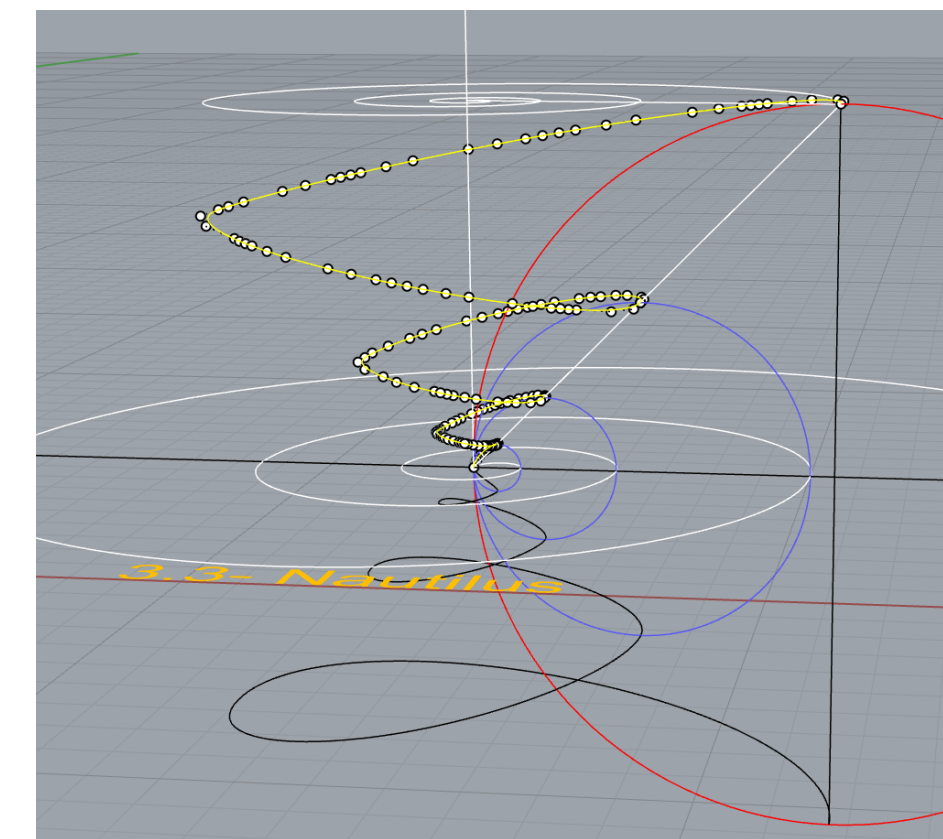
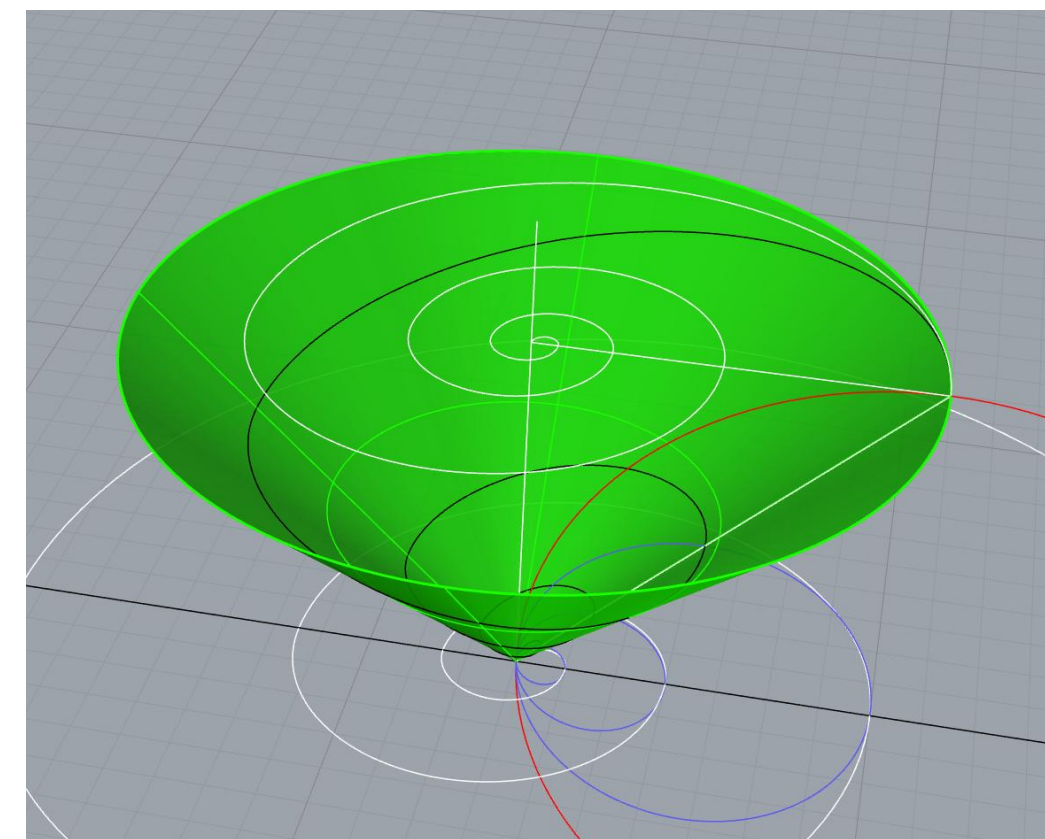
Projeta-se (*project*) a forma em caracol mais pequena sobre o cone. Depois, desativa-se o cone, ficando com uma forma tipo “tornado”.

Com o *mirror (3 points)*, replica-se o tornado para baixo.

Divide-se (*split*) a circunferência maior ao meio com uma linha de diâmetro ortogonal.

Aplica-se *Sweep 2* com os dois tornados e metade da circunferência maior, criando uma forma tipo saca-rolhas.

Por fim, faz-se outro *Sweep 2* com os dois tornados e a outra metade da circunferência maior para criar a concha final.

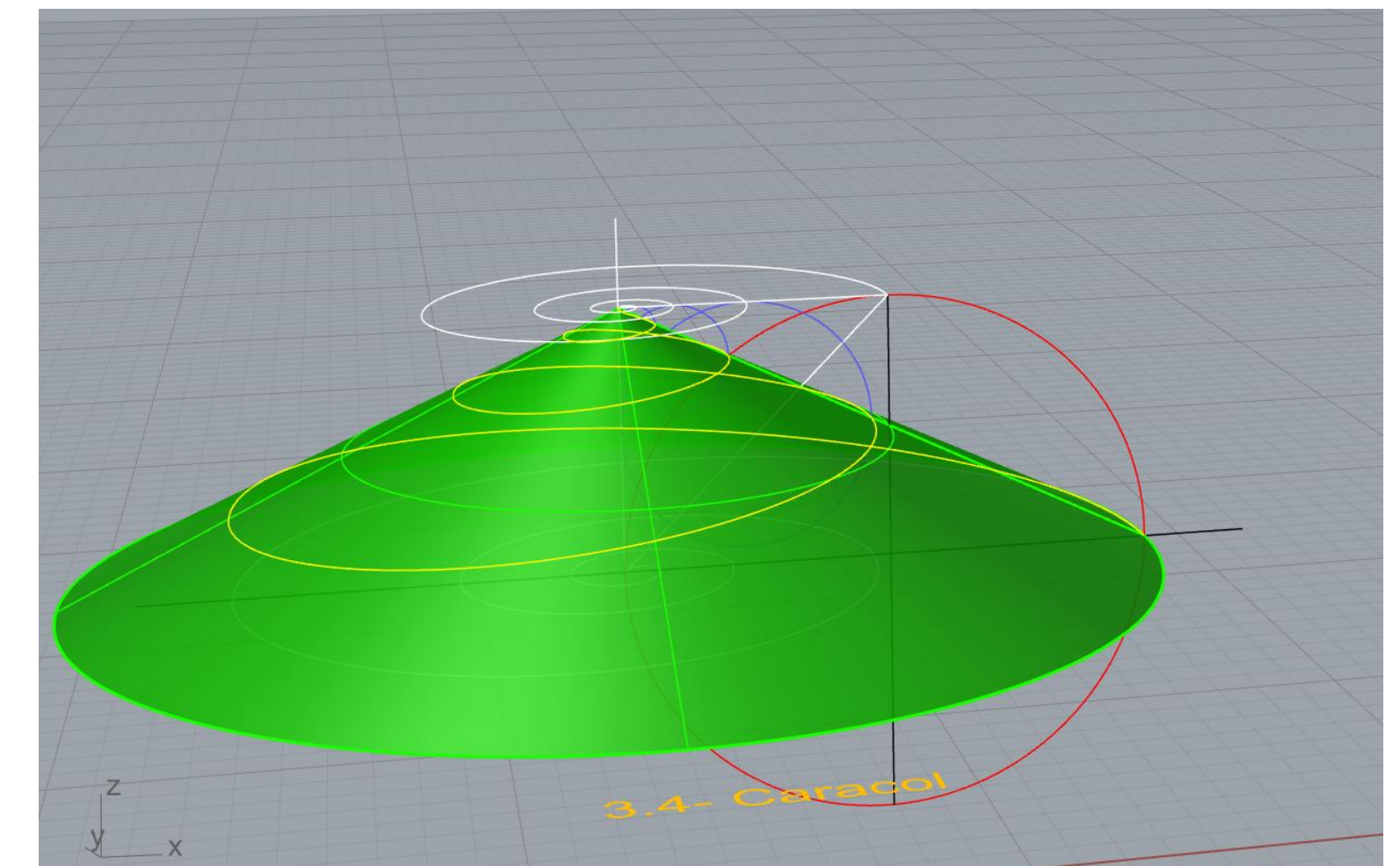
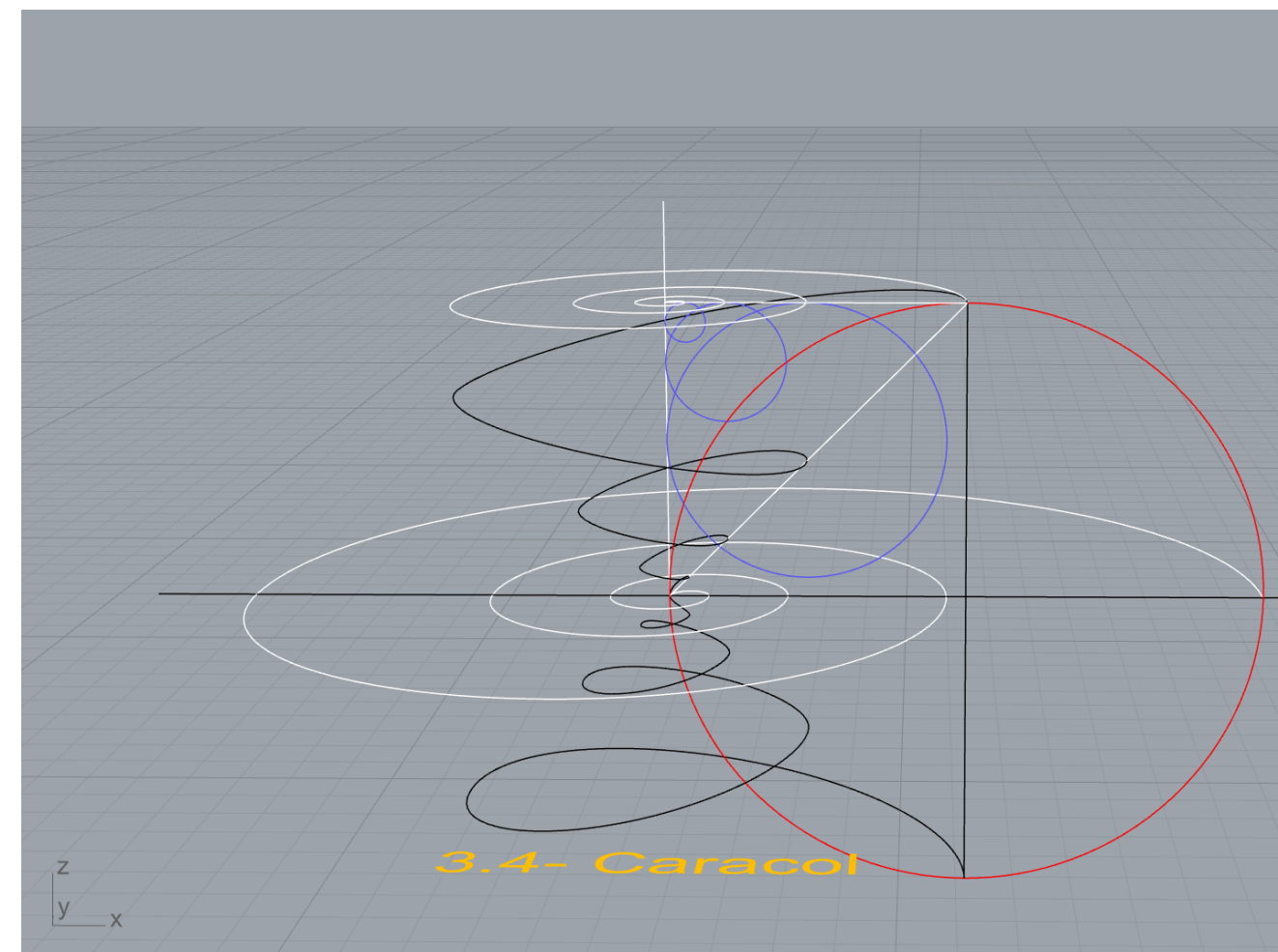
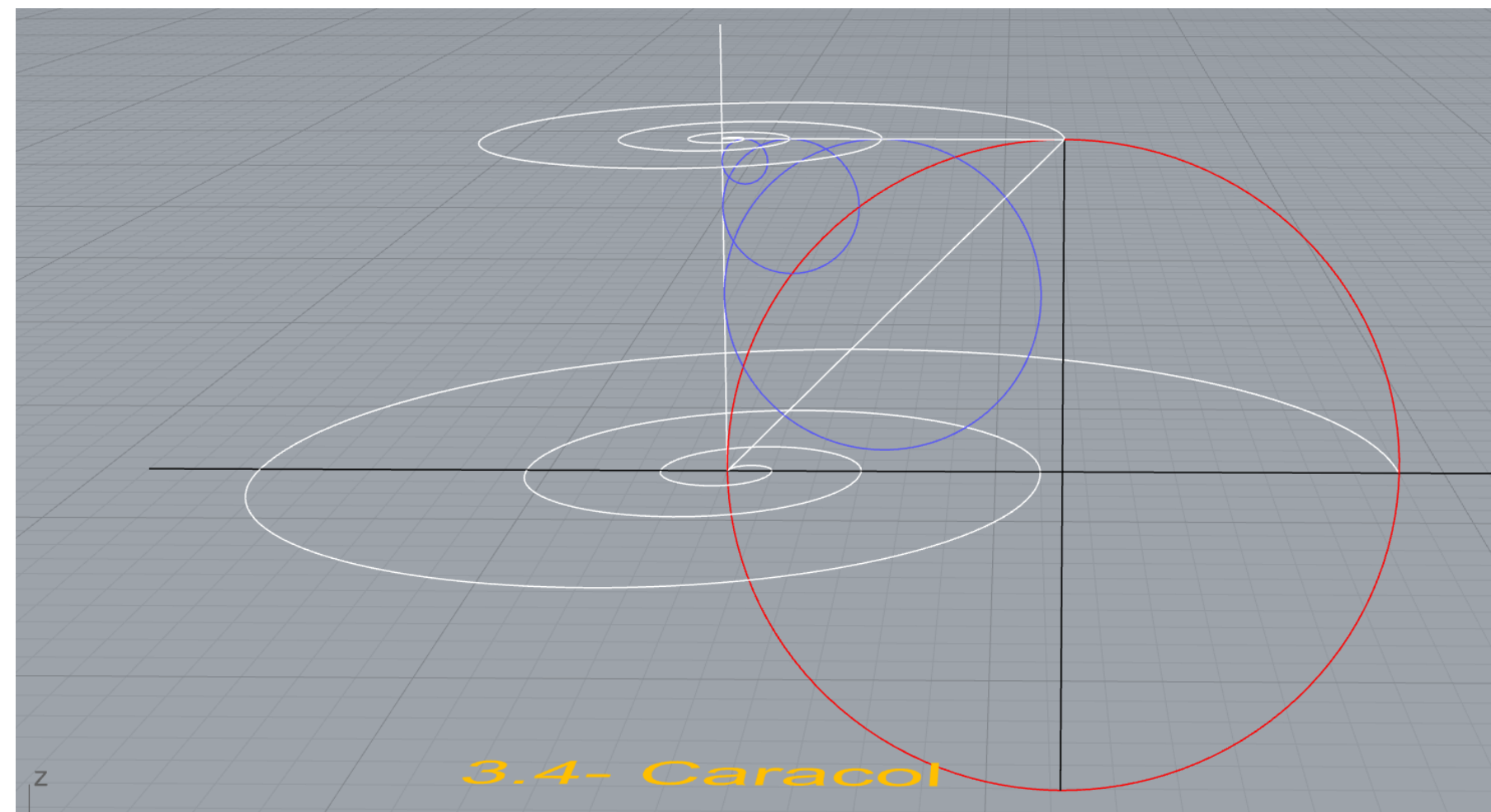


Rhino : Modelação de superfícies curvas
Exercício 3.4 e 3.5 (Moluscos) : Caracol e
Caramujo do Mar

Caracol

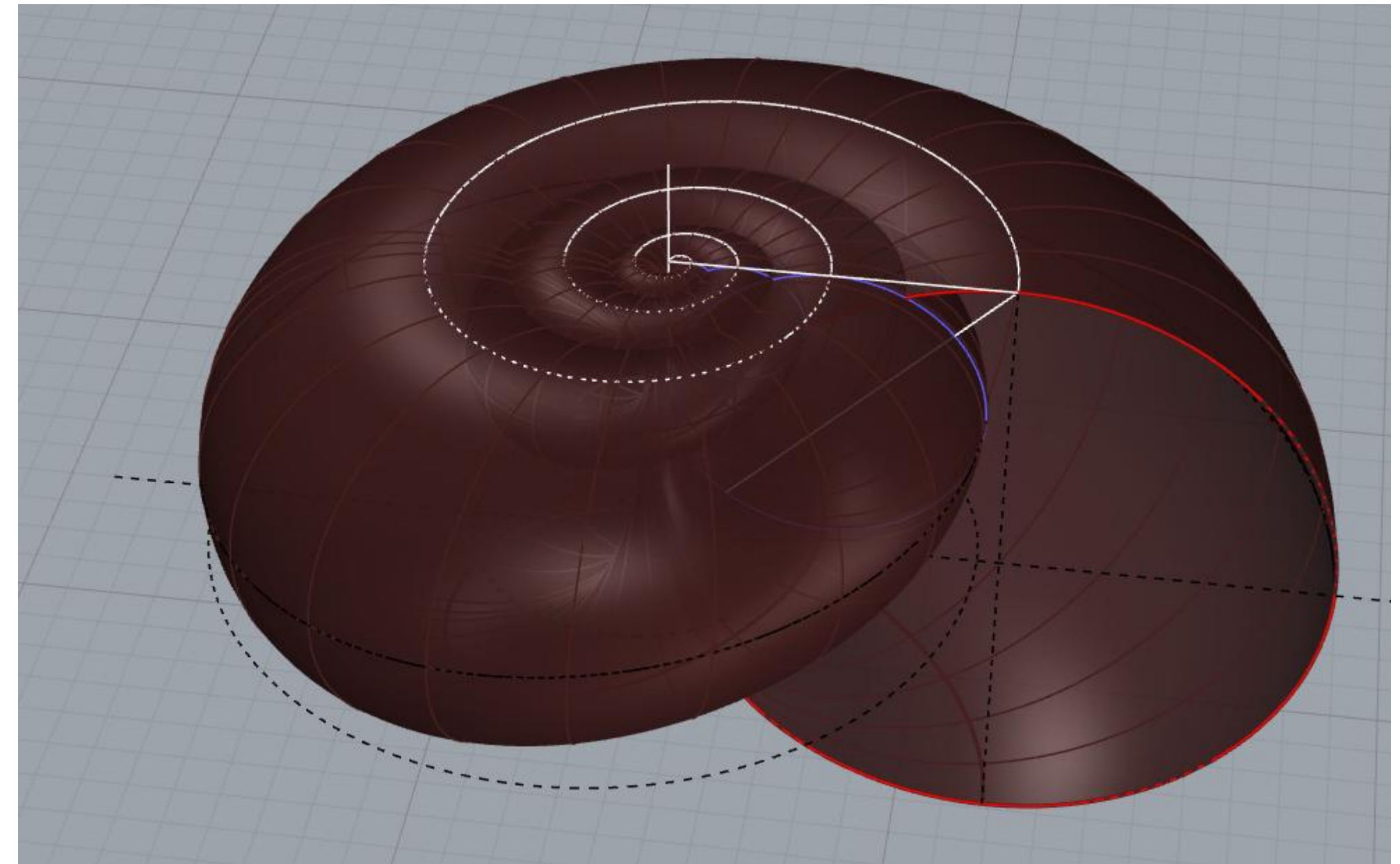
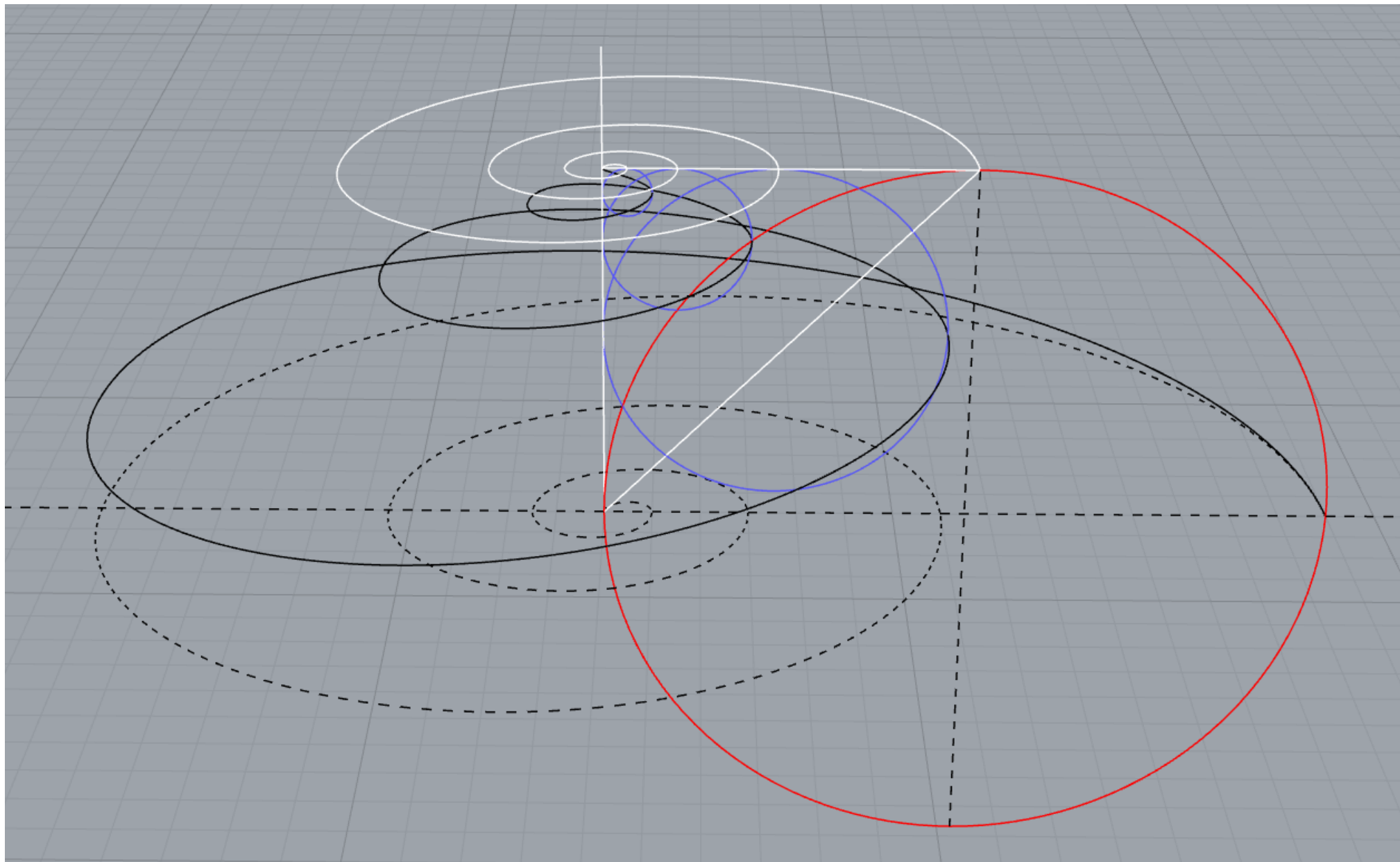
Usar a base do exercício anterior. Transportar as circunferências para a espiral superior, garantindo que fiquem corretamente alinhadas com o eixo da composição. Em seguida, criar um cone auxiliar através do comando *Revolve*, utilizando o perfil adequado para gerar a superfície de apoio.

Depois de criar o cone, desenhar uma linha a partir do ponto da circunferência maior até à linha do eixo central, definindo assim a direção de projeção da geometria. Utilizar o comando *Project* na espiral superior para projetar a forma curvilínea sobre a superfície do cone, assegurando que a projeção acompanha corretamente a curvatura da peça.



Caracol

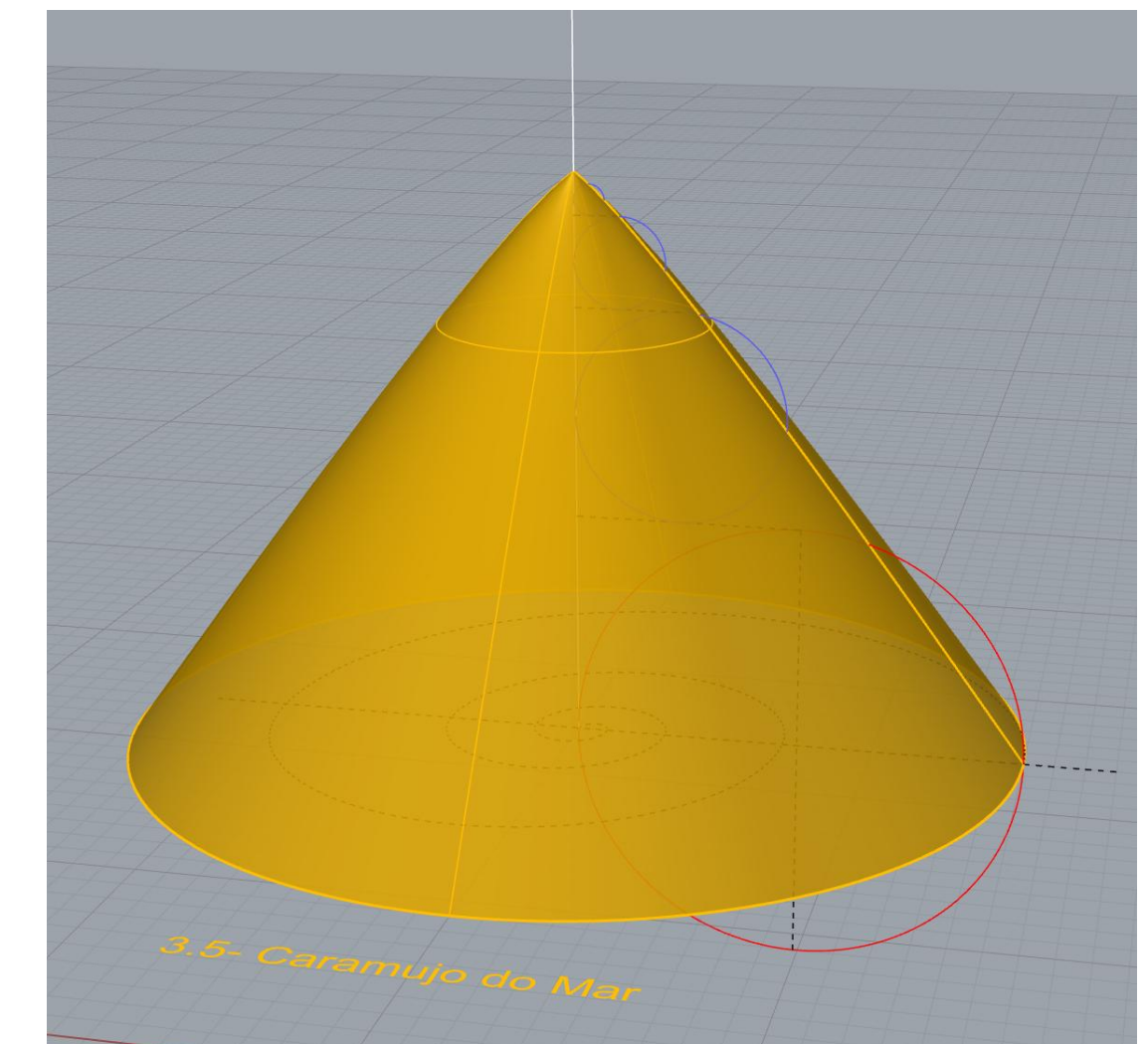
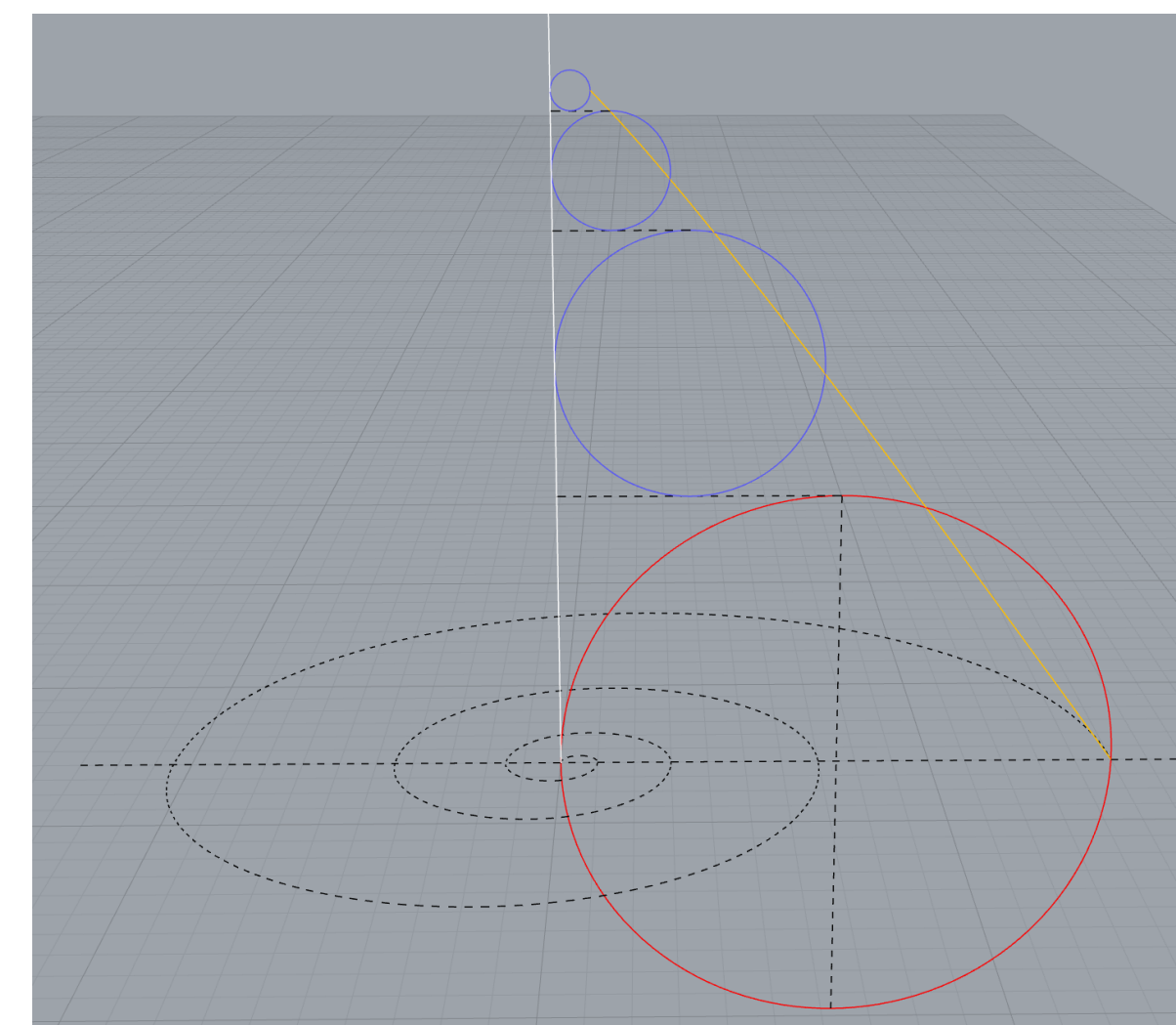
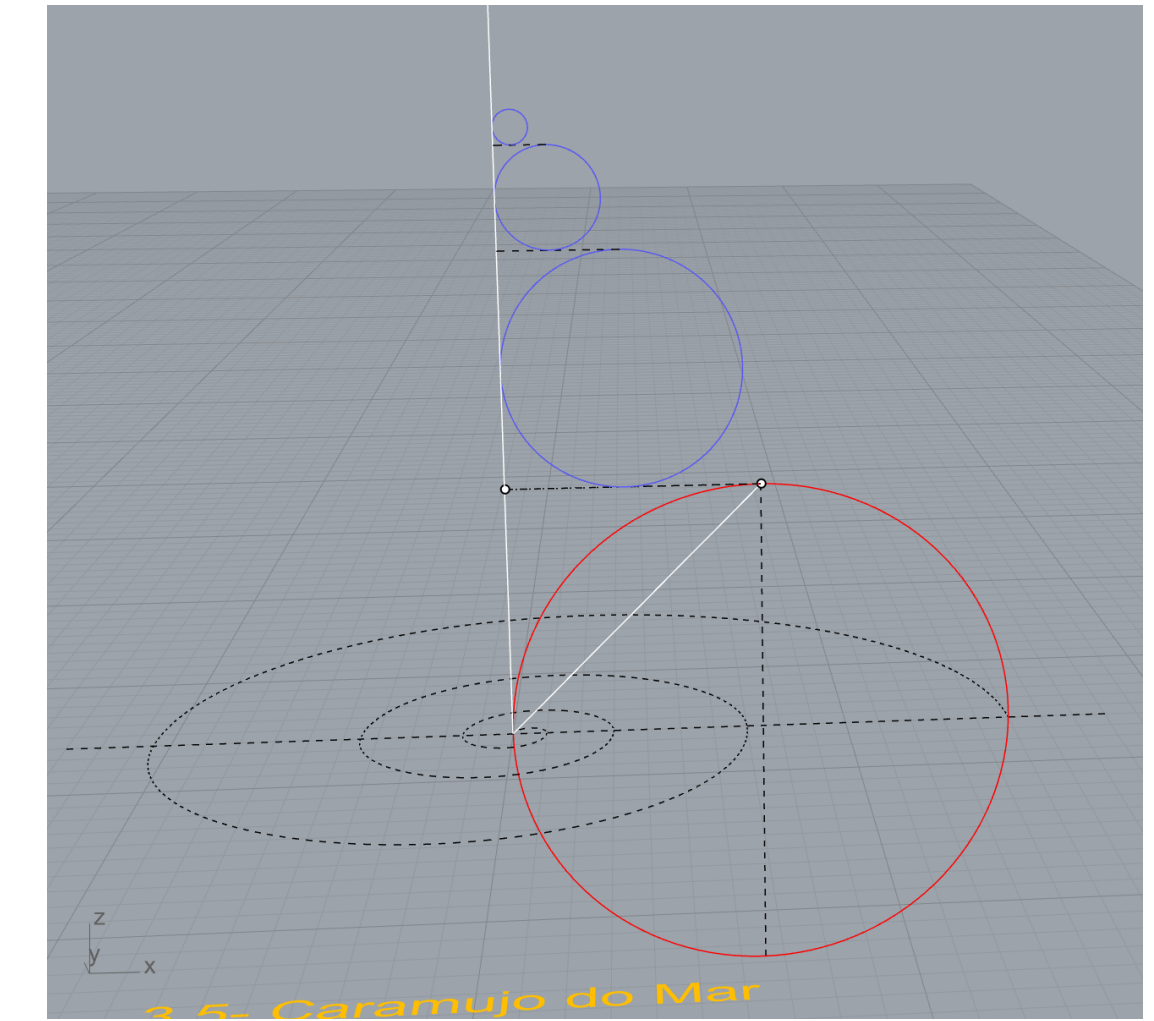
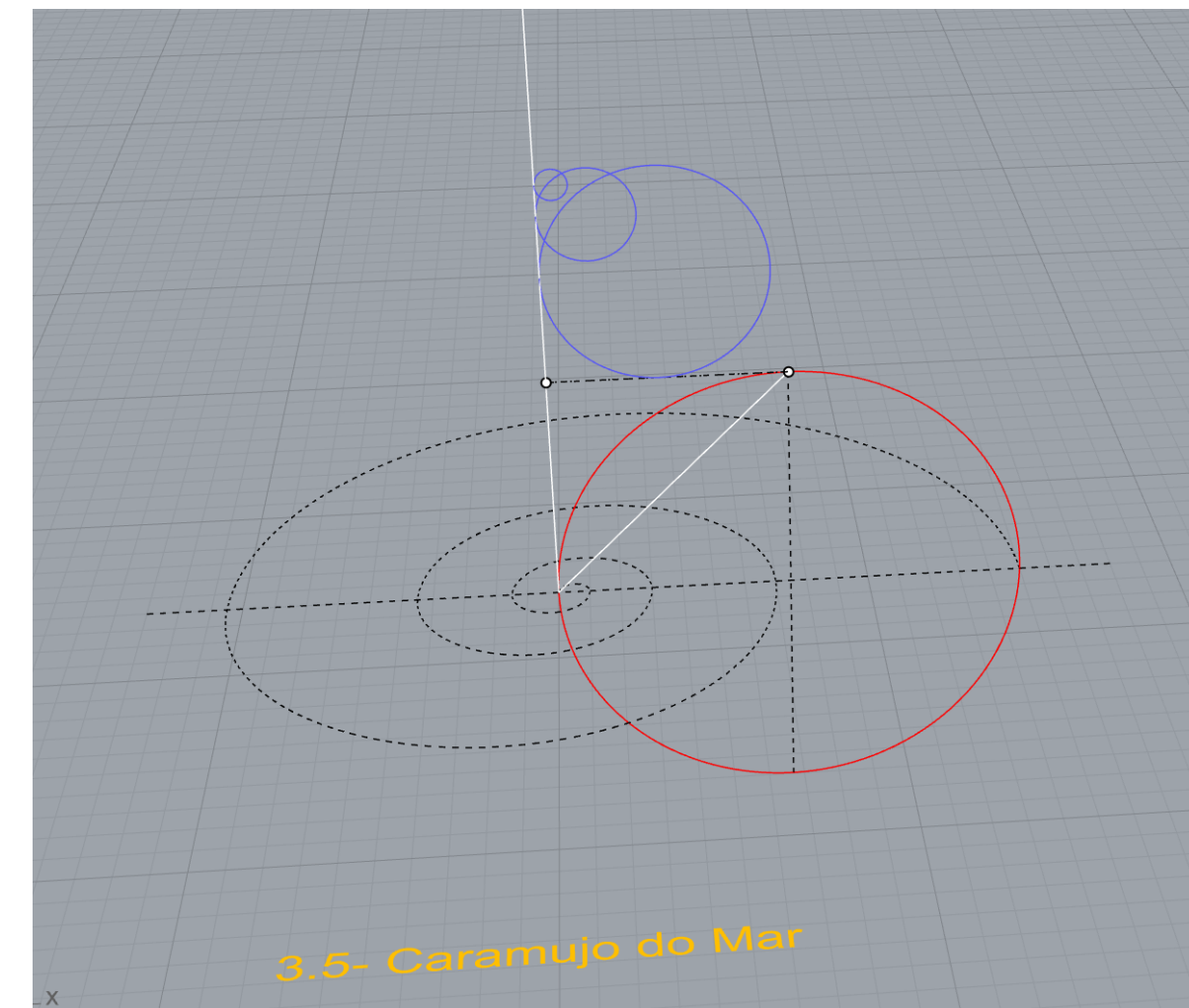
Desliga-se o cone auxiliar para se poder ver bem a forma. Para finalizar o caracol, utiliza-se o comando Sweep 2, seleccionando as curvas-guia e os para gerar a superfície final.



Caramujo do Mar

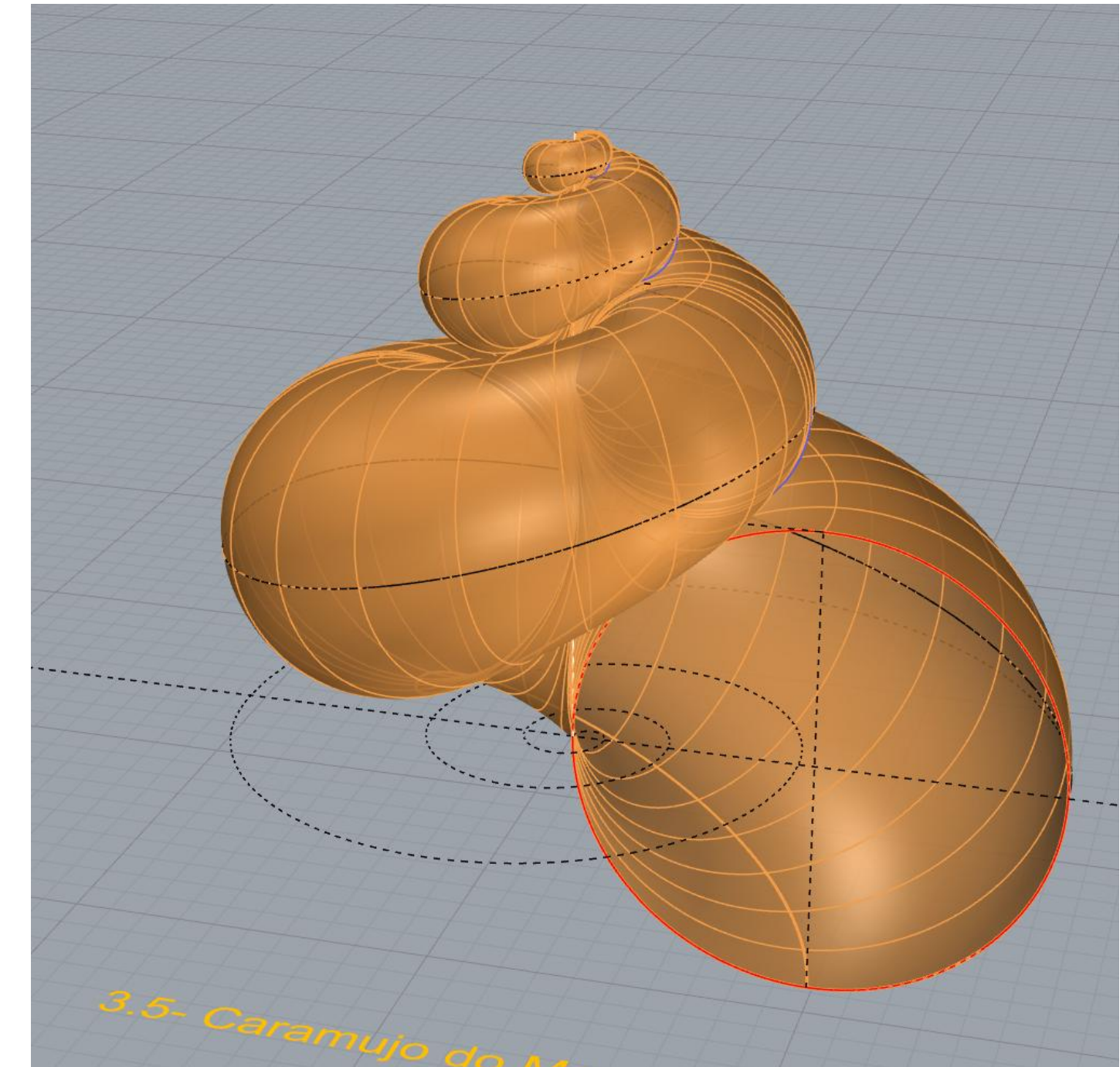
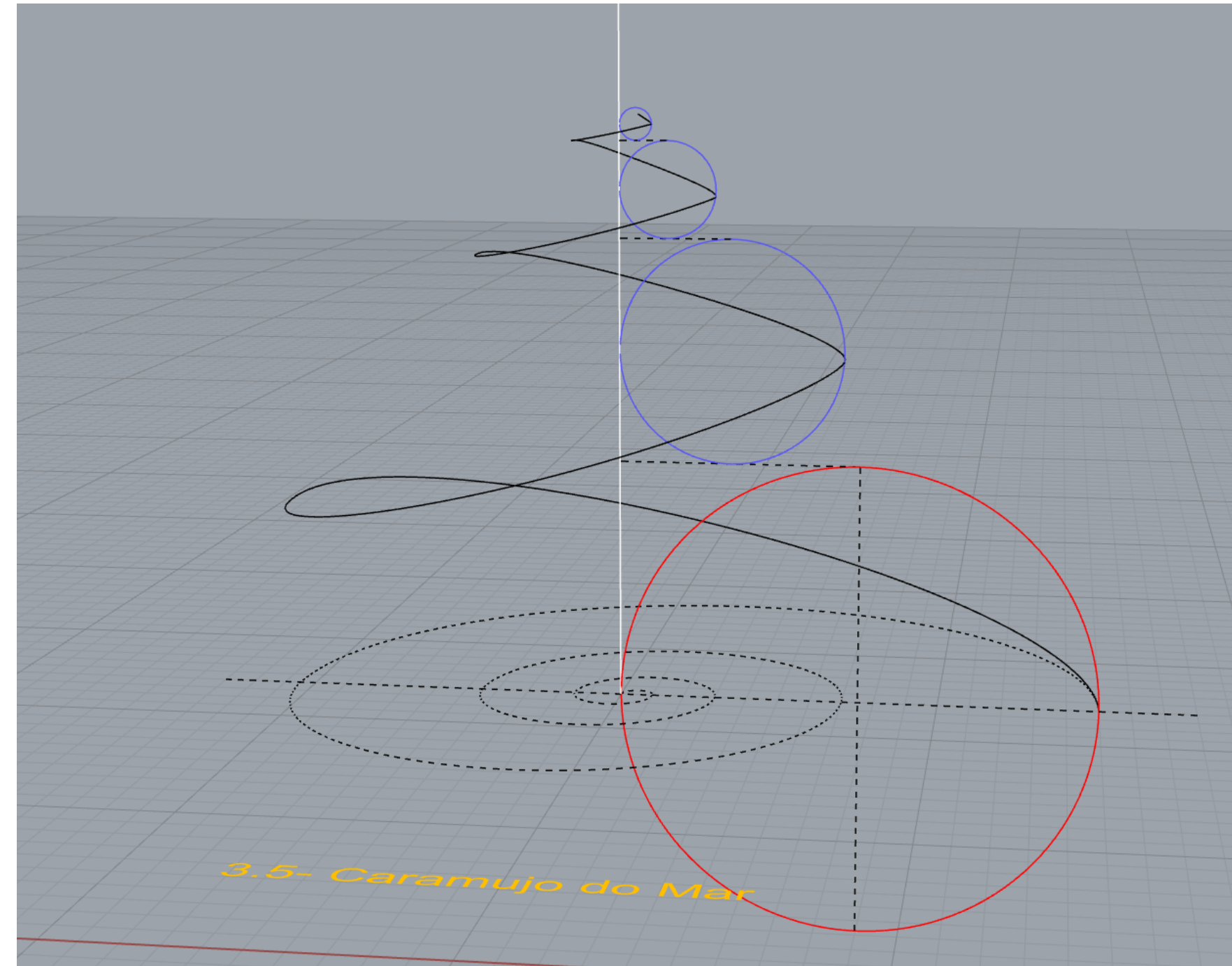
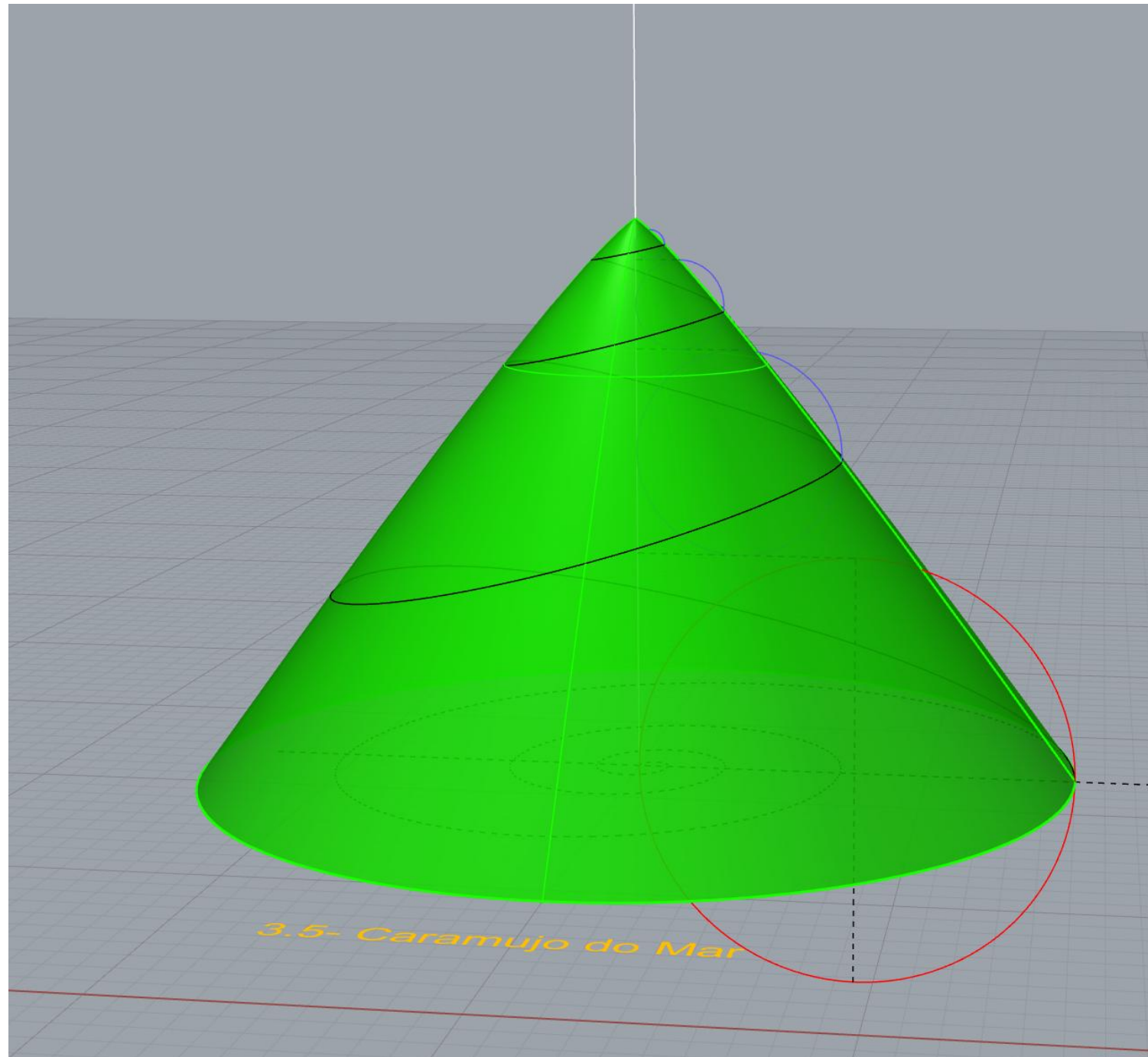
O caramujo utiliza como base a espiral e as circunferências auxiliares. Transportar essas circunferências para que fiquem alinhadas verticalmente, umas sobre as outras, sem estarem sobrepostas. Para isso, ativa-se a opção Quadrant no Osnap. A partir do quadrante superior de cada circunferência, desenham-se linhas horizontais ortogonais ao eixo, para o alinhamento. Utiliza-se o comando Spline para criar a linha de condução, definindo o percurso curvilíneo que irá orientar a forma.

Depois de definida a linha, utiliza-se o comando Revolve para criar um cone auxiliar. Este cone servirá como superfície de apoio para a projeção e construção da geometria final do modelo.



Caramujo do Mar

Desligar o cone auxiliar para ver a forma que vai servir como guia para o caramujo do mar. Finaliza-se com o sweep 2

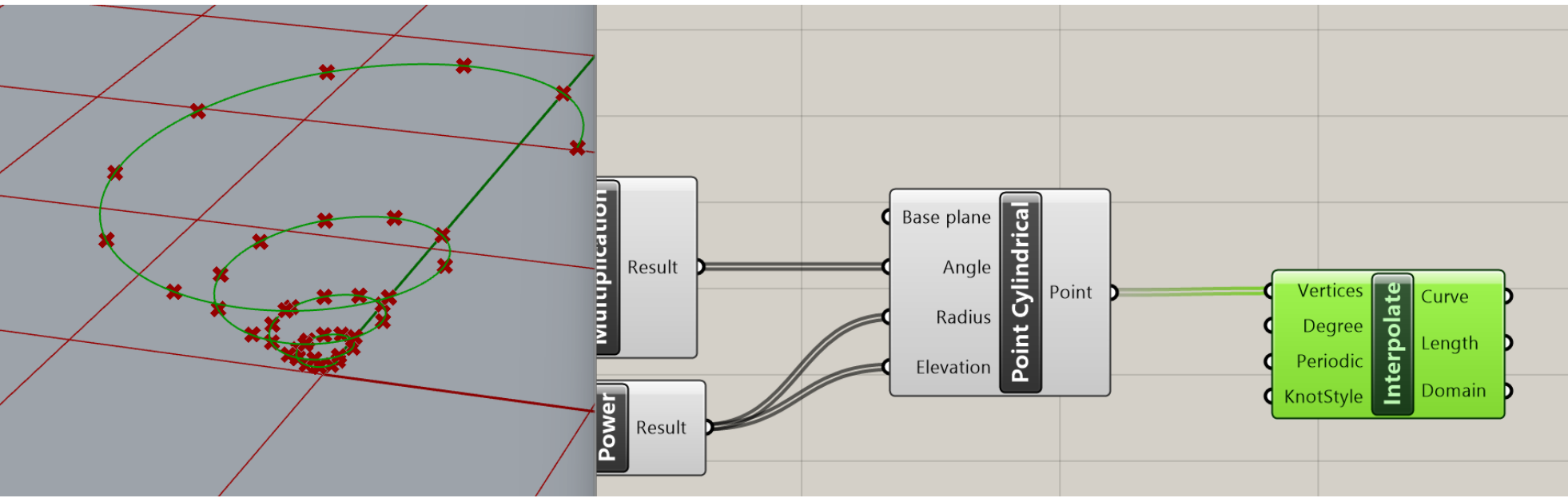
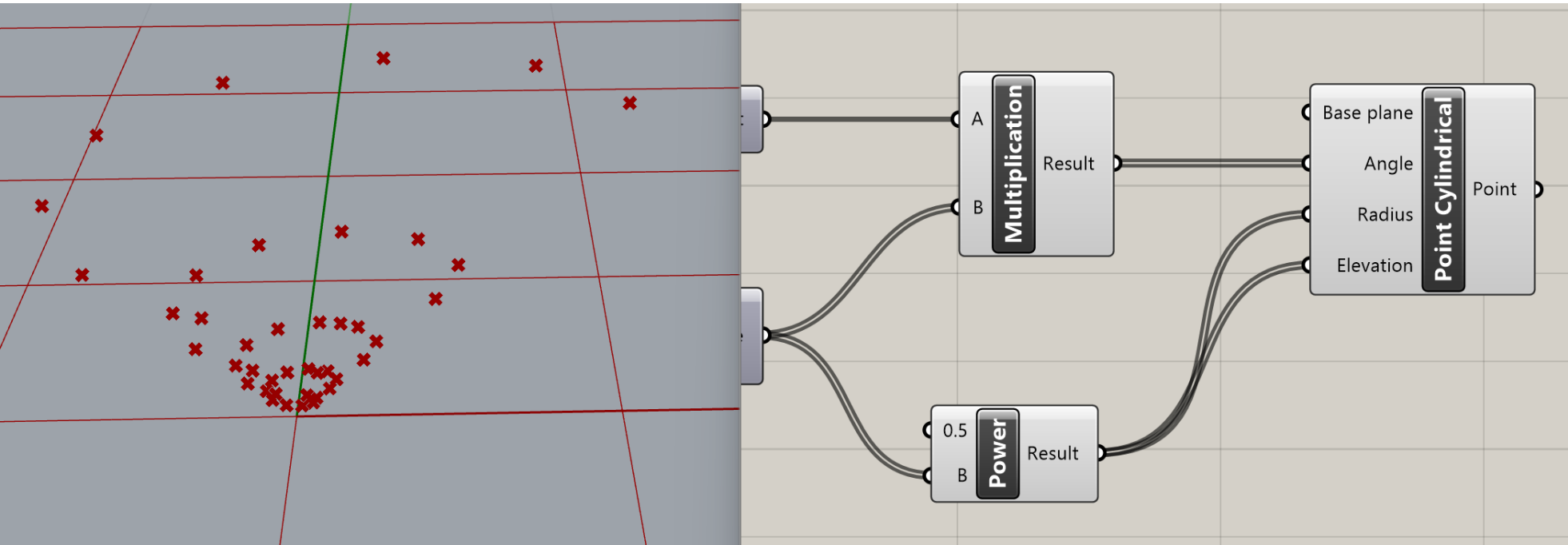
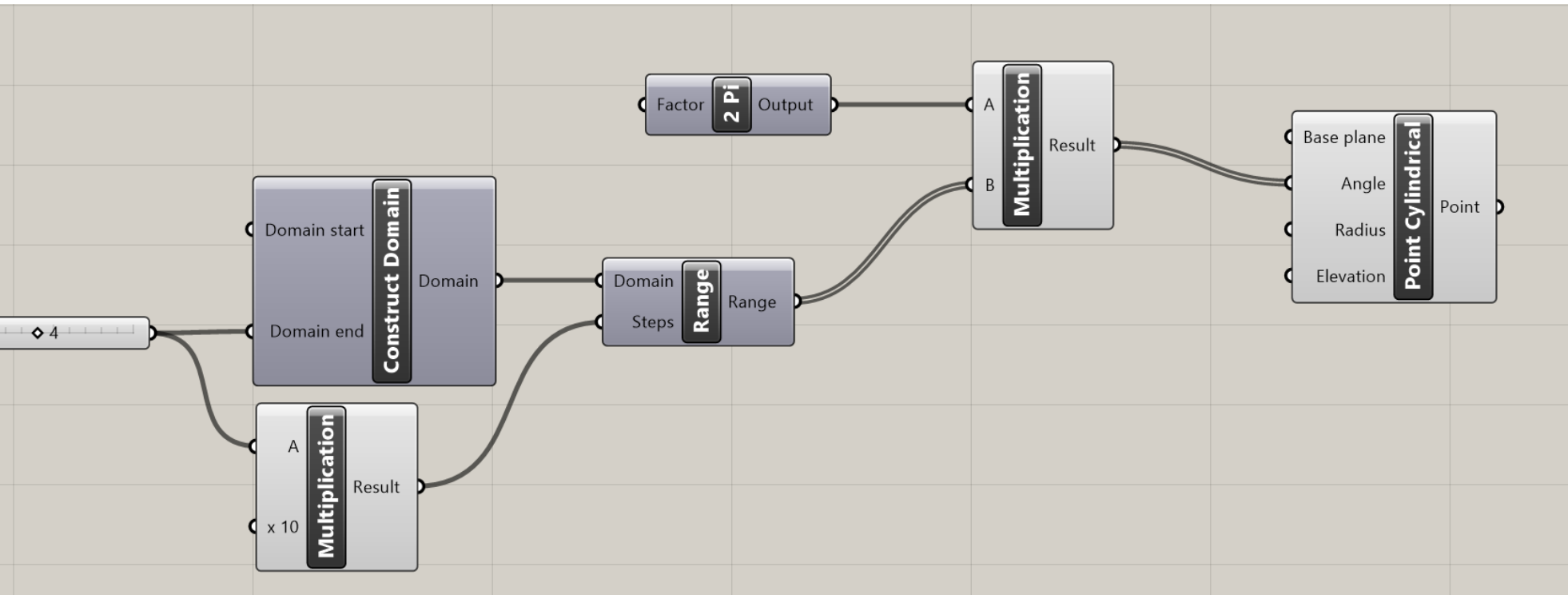


Caramujo do mar em Grasshopper

Meter o Construct Domain e adicionar um Number Slider mudar para “Nº de voltas” e definir para 7. Adicionar Multiplication e definir um valor de 10 para multiplicar o número de voltas. Com Range ligar o domínio criado antes à entrada Domain. Na entrada Steps, definir o valor 40(?).

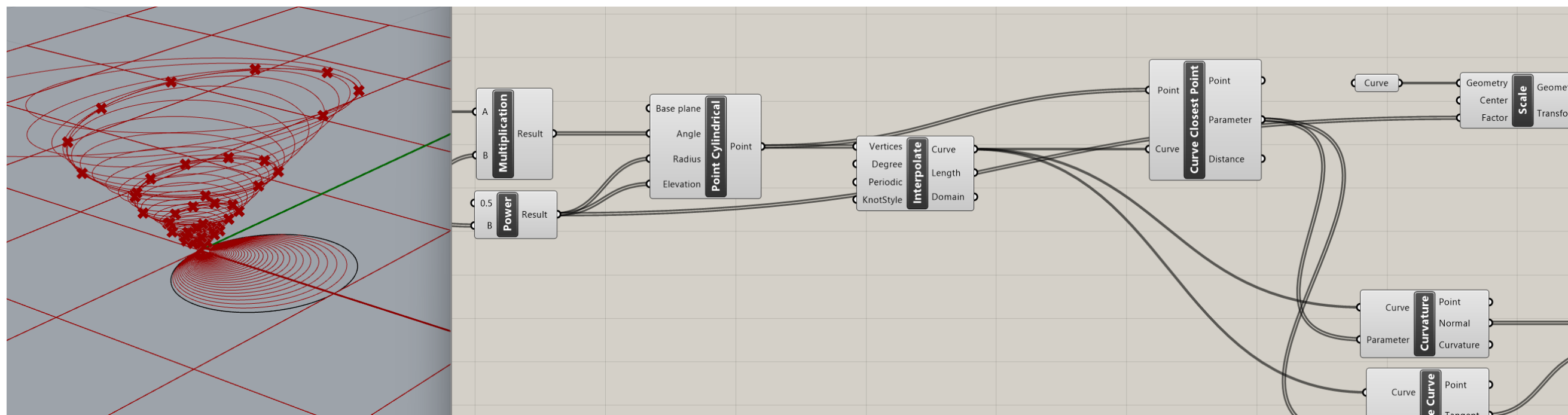
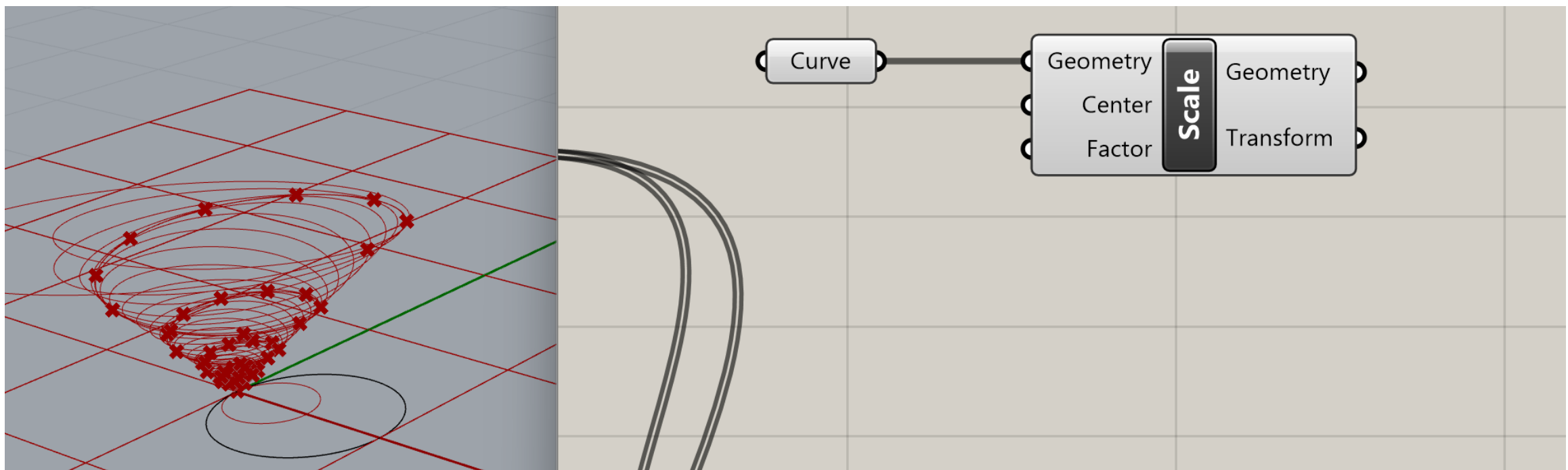
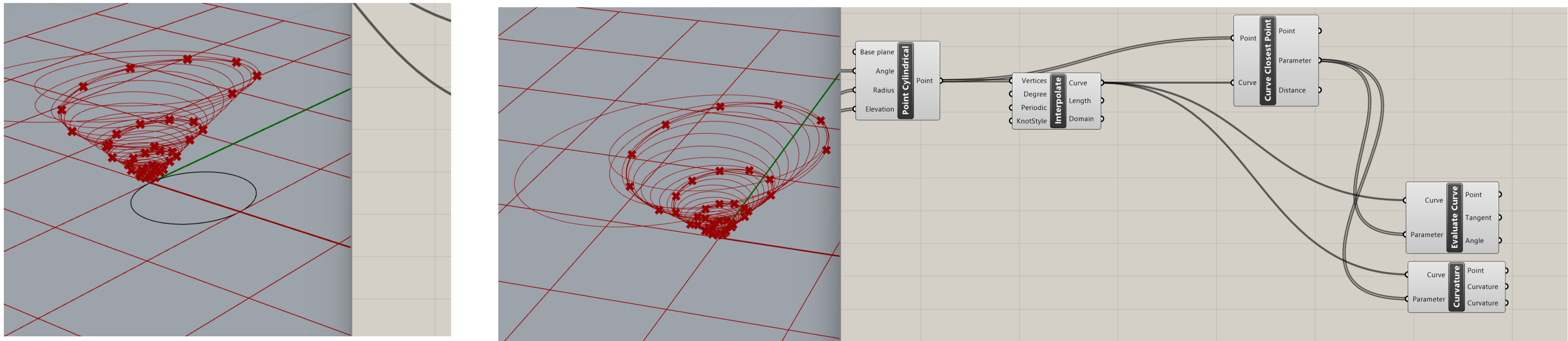
Adicionar o Power e definir 0.5. Ligar os valores do Range. Para controlar a rotação da espiral, adicionar um componente 2 Pi e um novo Multiplication. Multiplicar os valores do Range por 2Pi para criar os ângulos da espiral.

Meter um Point Cylindrical. Ligar o resultado da multiplicação dos ângulos aAngle, o resultado do Power a Radius e novamente a Elevation (para criar pontos na espiral). Interpolate Curve e ligar os pontos à entrada Vertices (cria a curva do caramujo).



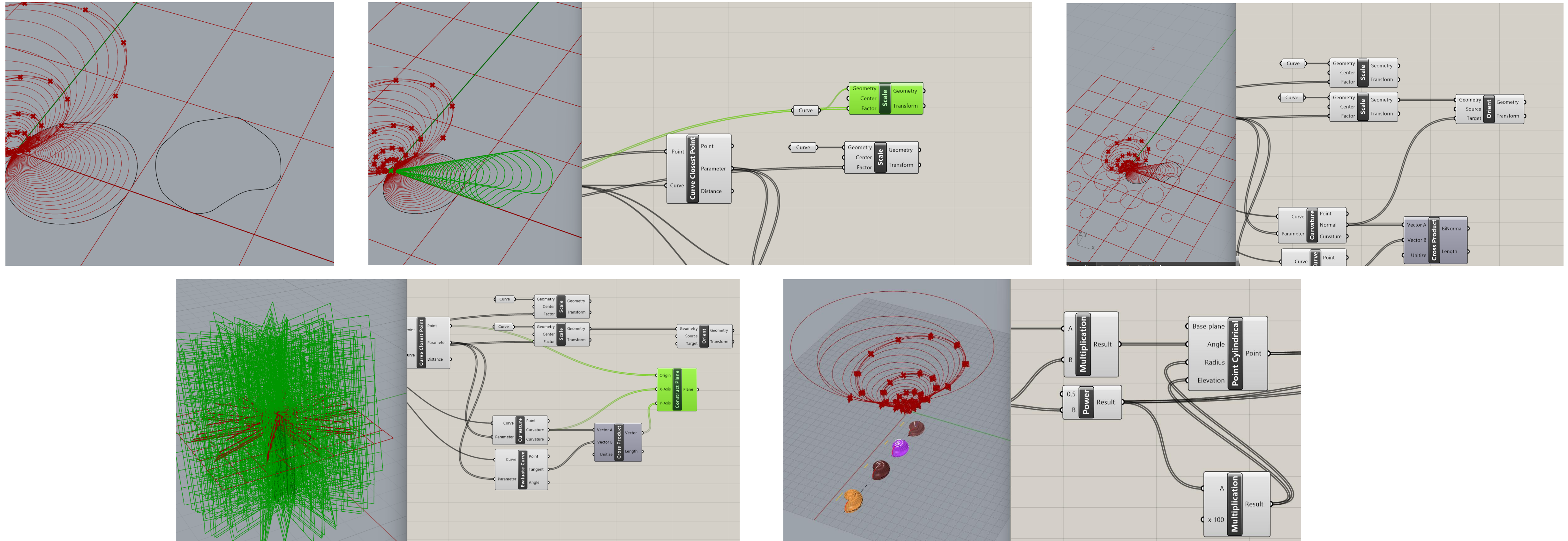
Caramujo do mar em Grasshopper

Curve Closest Point > Ligar a curva principal à entrada **Curve** e os pontos da espiral à entrada **Point**.
Depois, adicionar o componente **Evaluate Curve** e ligar curva a **Curve** e os parâmetros do **Curve Closest Point** a **Parameter**.
Curvature ligar a **Curve Closest Point**, obtendo vetores.
Adicionar dois **Scale** para controlar o crescimento das superfícies. Ligar as curvas de secção a **Geometry**, os pontos da curva a **Center**.



Grasshopper

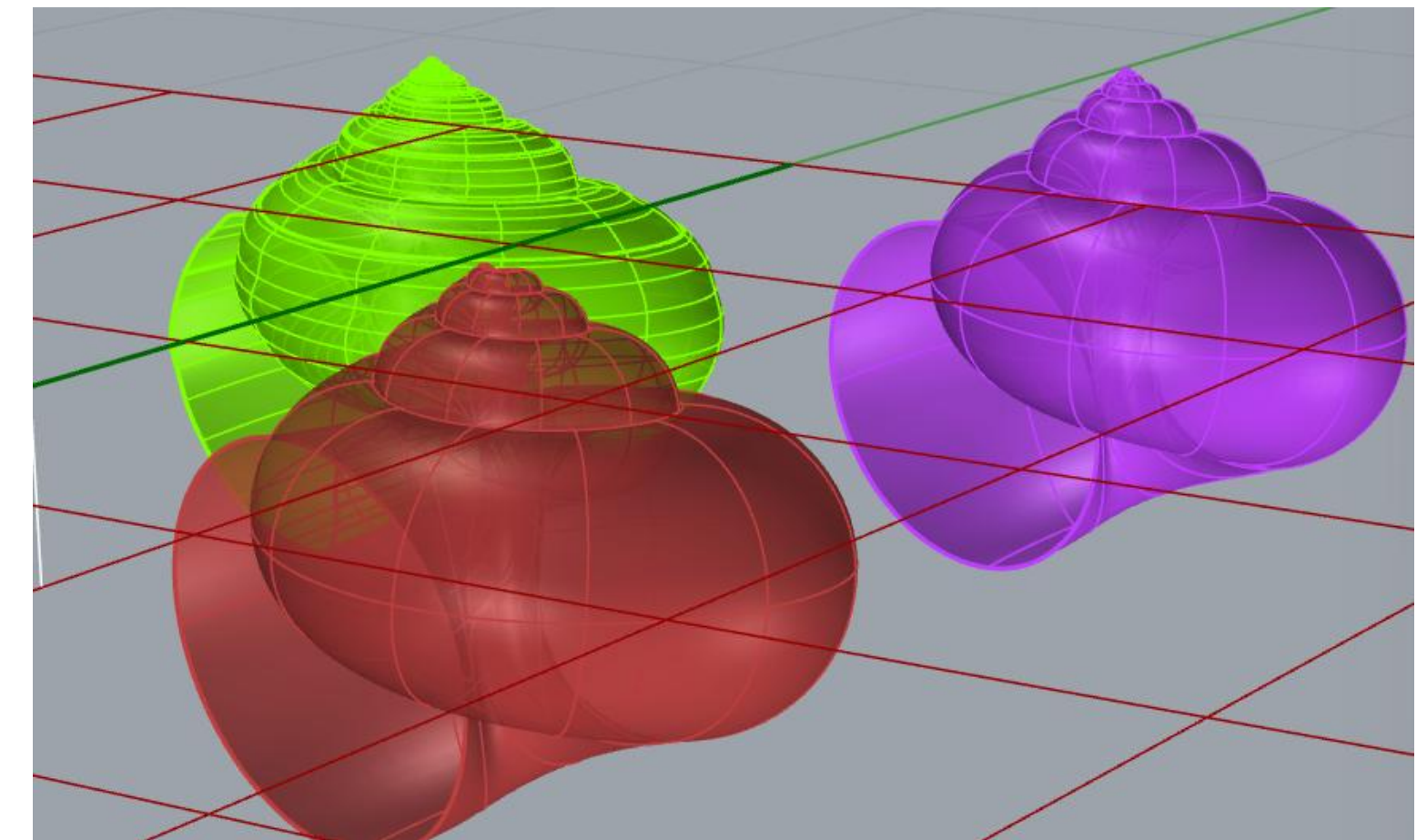
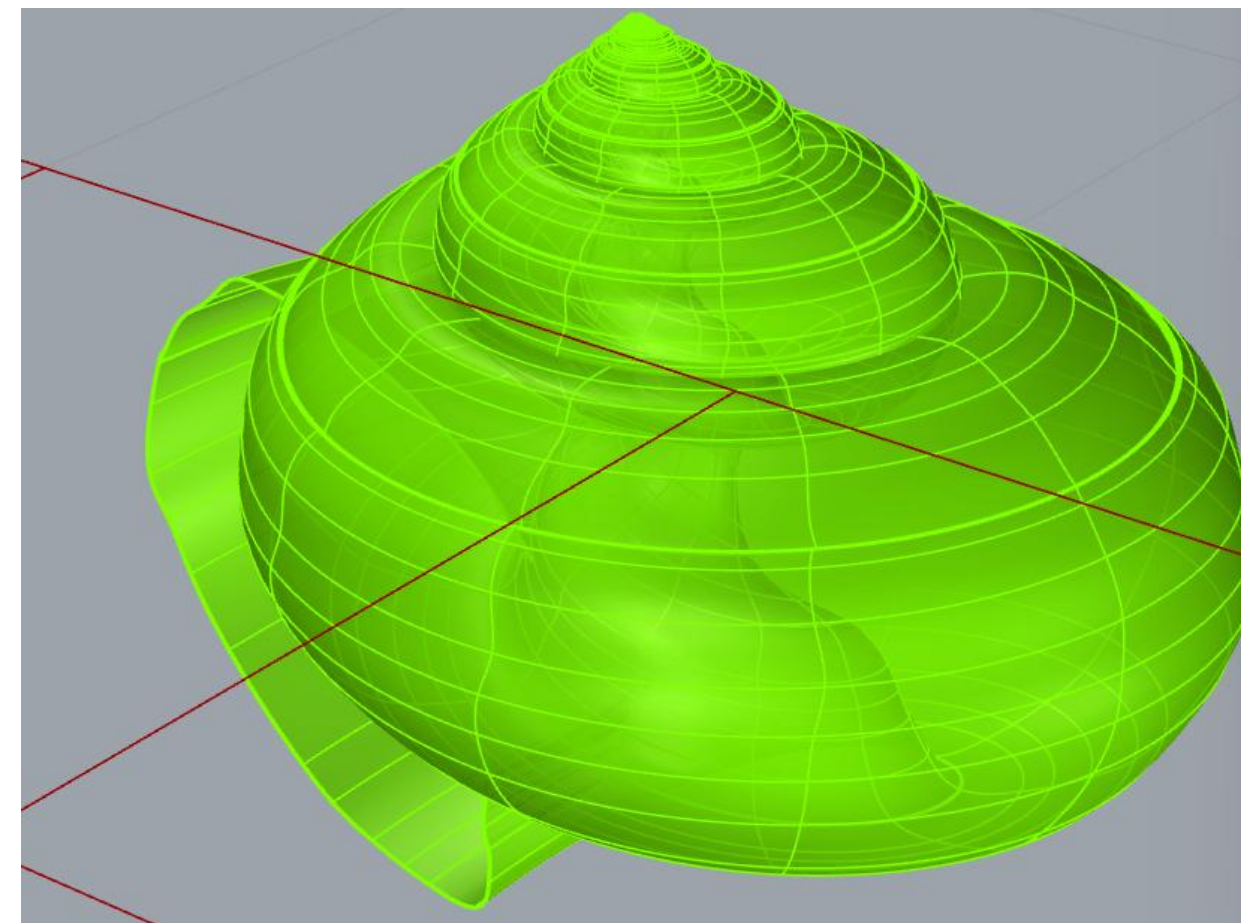
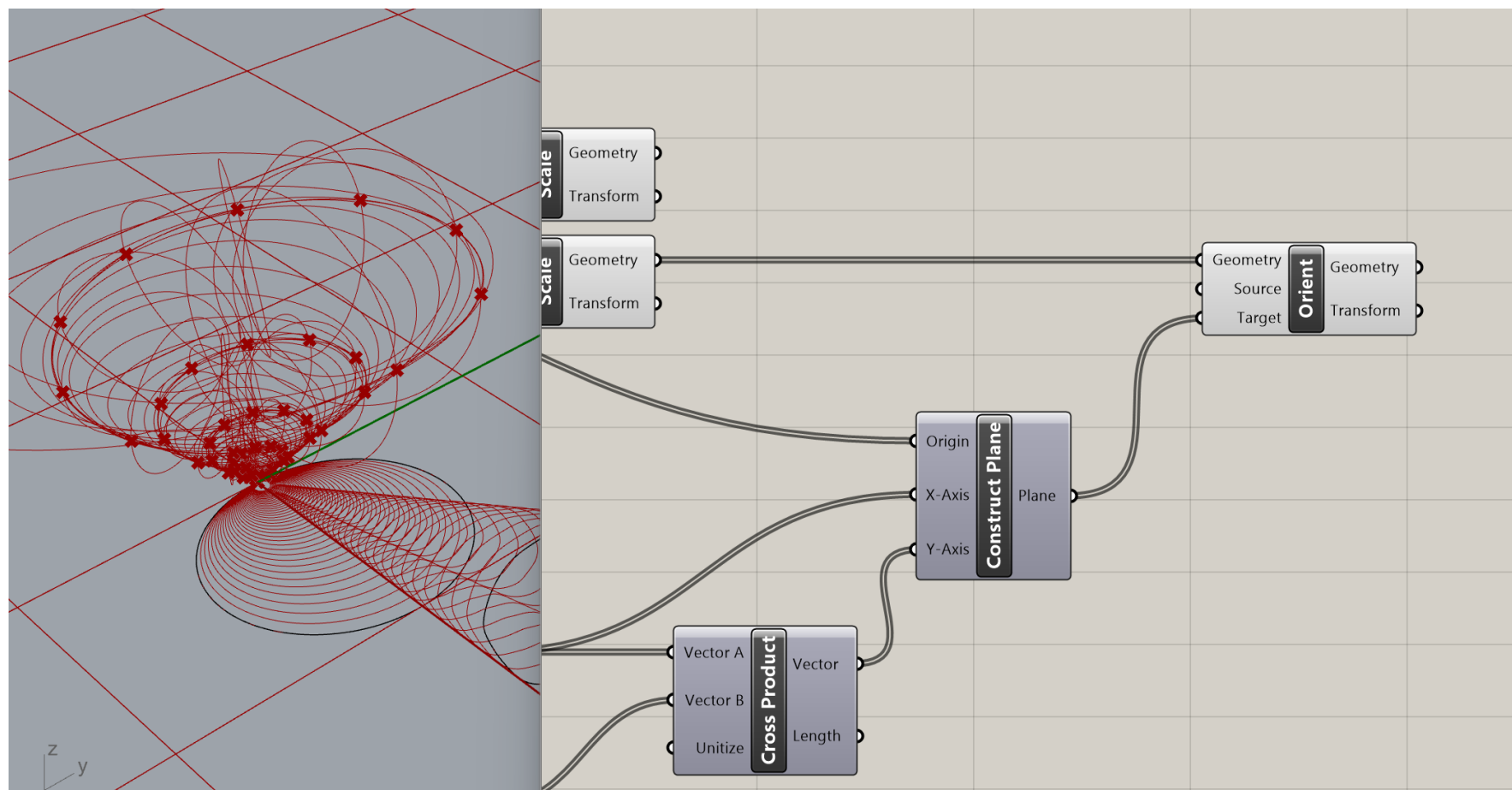
Para construir os planos, adicionar **Cross Product**. Ligar o vetor de curvatura a **A** e o vetor tangente a **B**. Depois, o **Construct Plane** liga-se o ponto da curva a **Origin**, o vetor a **X-Axis** e o resultado do **Cross Product** a **Y-Axis**. Aparecem planos na espiral. Adicionar o **Orient**, ligar as curvas à entrada **Geometry**, o plano original à entrada **Source** e os planos construídos a **Target**. as secções ficam na direção correta.



Grasshopper

Nesta maneira a forma final também é criada através de um Loft. Ligar as curvas à entrada **Curves**.

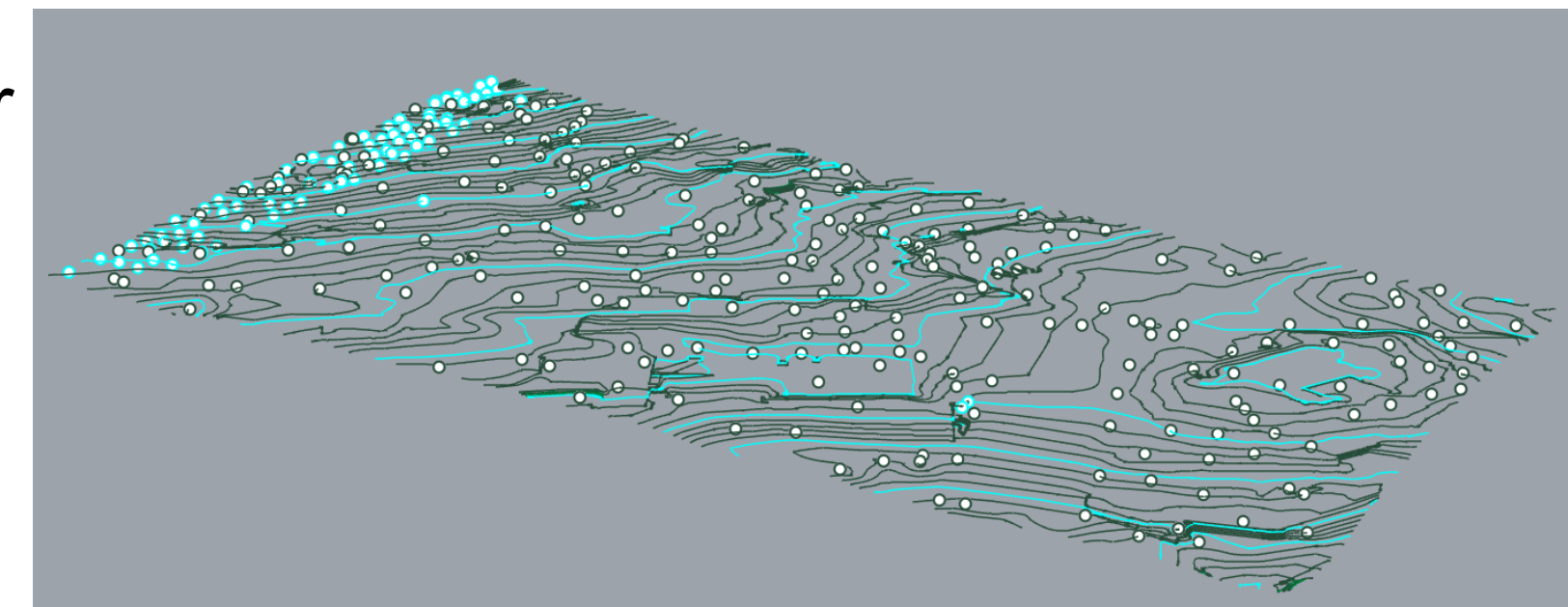
Para terminar, usa-se **Scribble para dar nomes aos e** agrupar-se tudo. Para se poder mexer no modle é necessário fazer bake da superfície. Para criar uma segunda com menos voltas altera-se no grasshopper o número de voltas para 4 e faz-se novamente bake. Uma superfície mais organica tem de se começar numa forma diferente que não o círculo. Para isso desenhamos uma forma irregular e trocamos as curves.



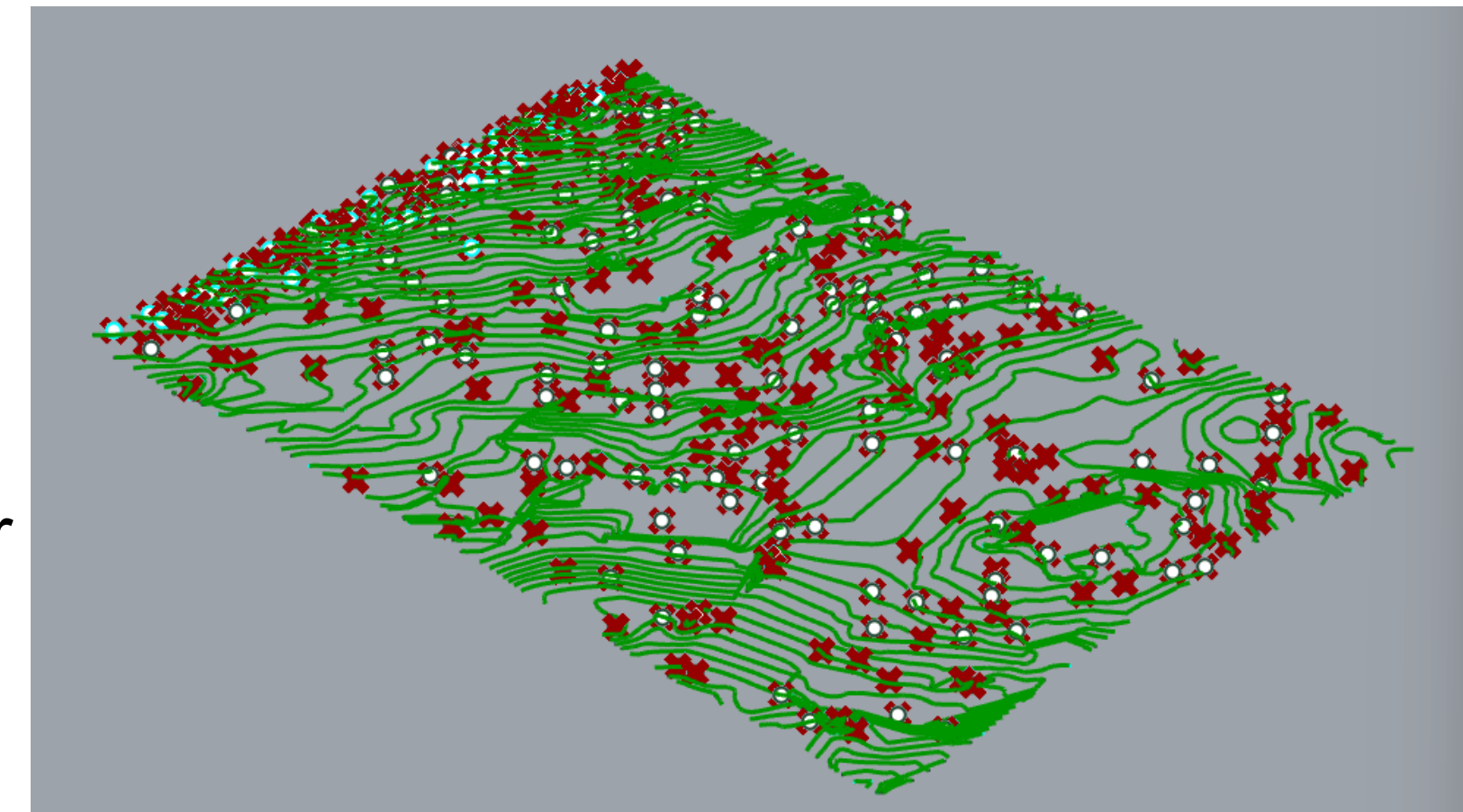
Rhino : Modelação de um terreno

Abrir o ficheiro do terreno no Rhino e seleccionar a opção Large Objects –Meters para trabalhar em metros. Import>Enter >Enter para importar o terreno altimétrico.. A imagem vectorizada é composta por linhas e curvas editáveis, enquanto a imagem raster é formada por píxeis.

Abrir o Grasshopper e adicionar um Point. Utilizar Set Multiple Points para seleccionar os pontos da planta altimétrica. Adicionar uma Curve e seleccionar todas as curvas de nível da planta.



Adicionar Merge e ligar os pontos. Adicionar o componente Length e ligar as curvas para obter o comprimento de cada uma. Inserir uma Division com o valor 7 e ligar a Length para ver quantas divisões serão feitas nas curvas.



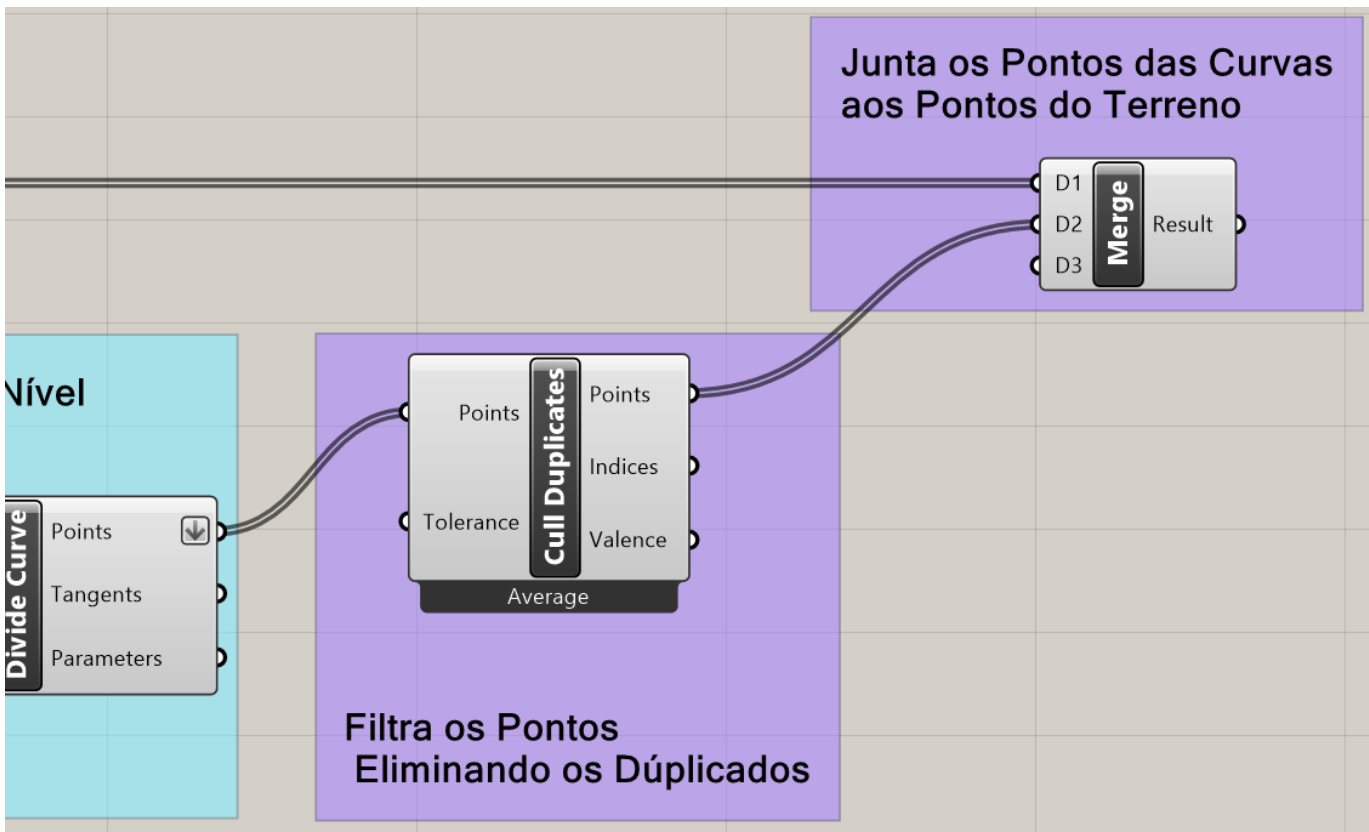
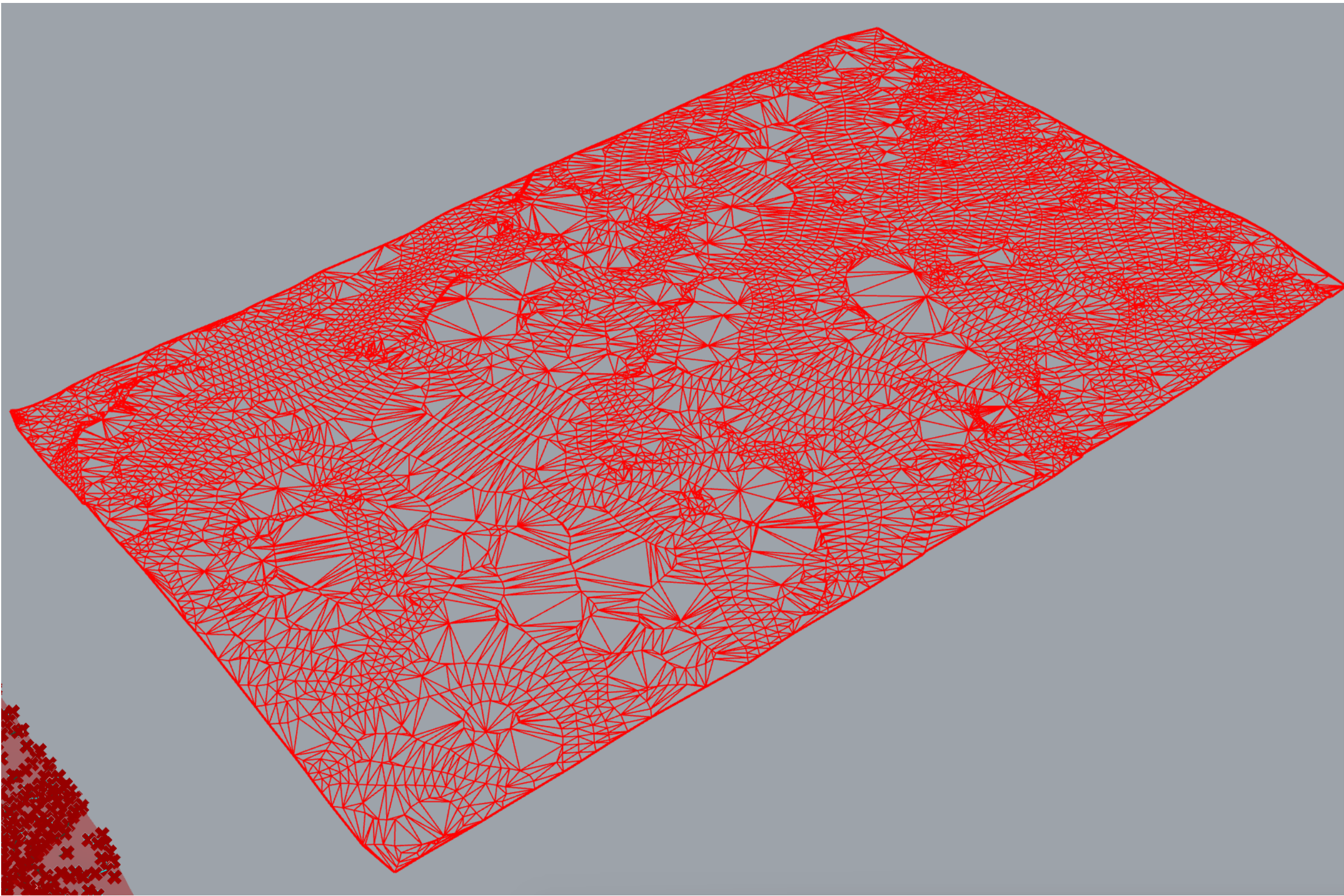
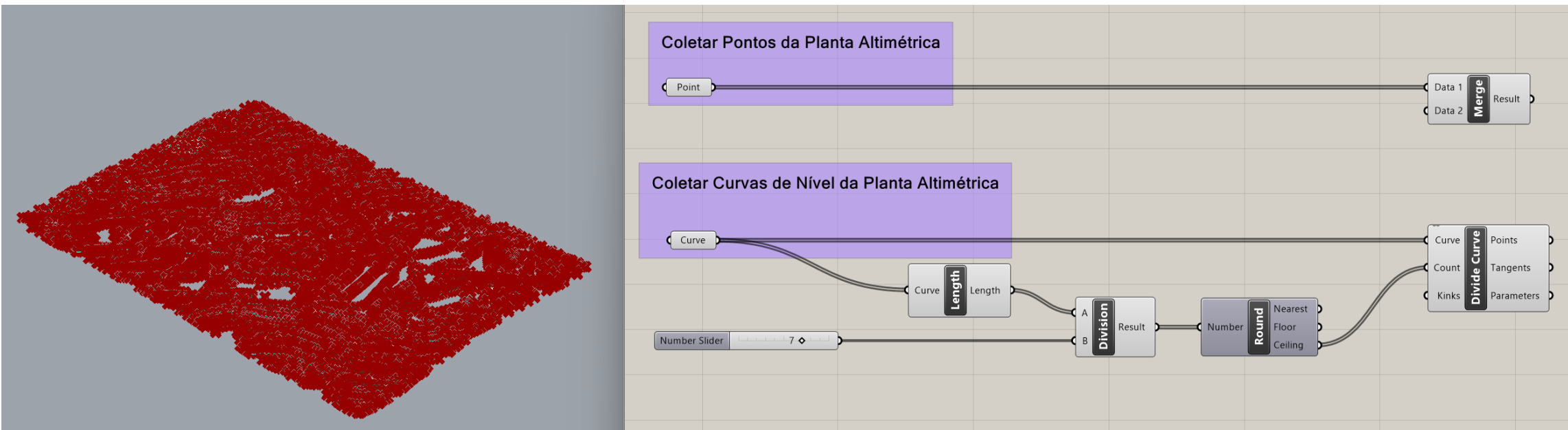
Adicionar Round e definir o arredondamento para Ceiling, para que os valores sejam arredondados para cima. Divide Curve, ligar as curvas e os valores arredondados. O resultado cria pontos distribuídos ao longo das curvas de nível.

Adicionar Cull Duplicates para eliminar pontos repetidos e ligar os pontos criados. Ligar também o resultado ao Merge.

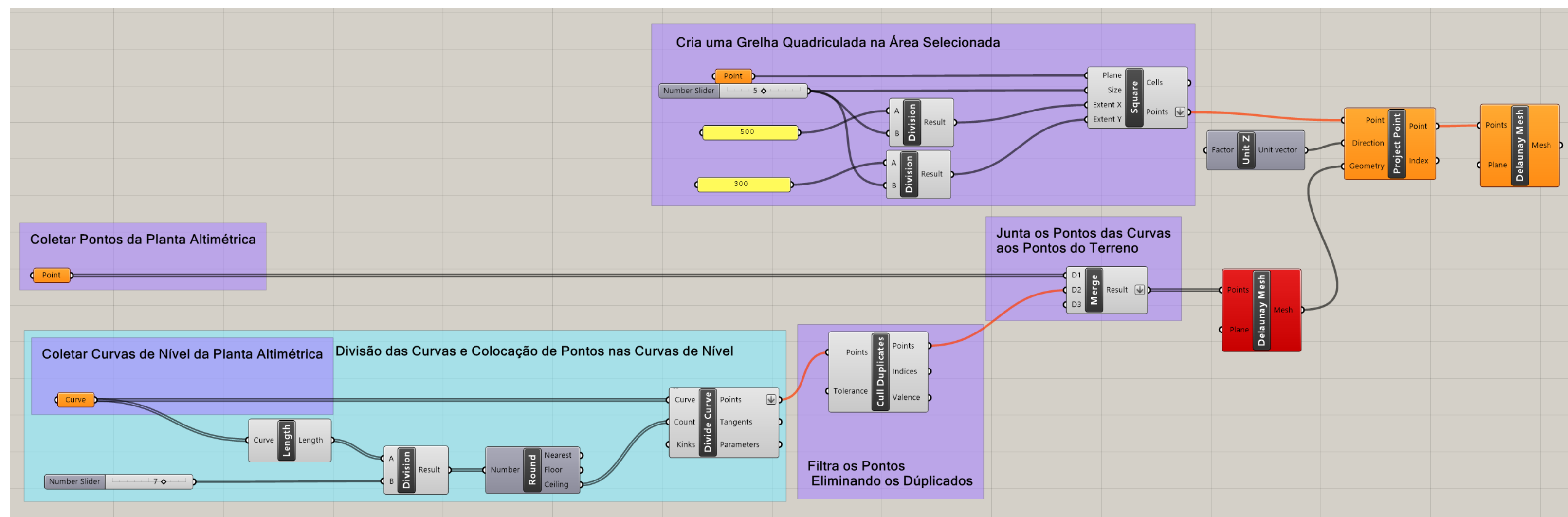
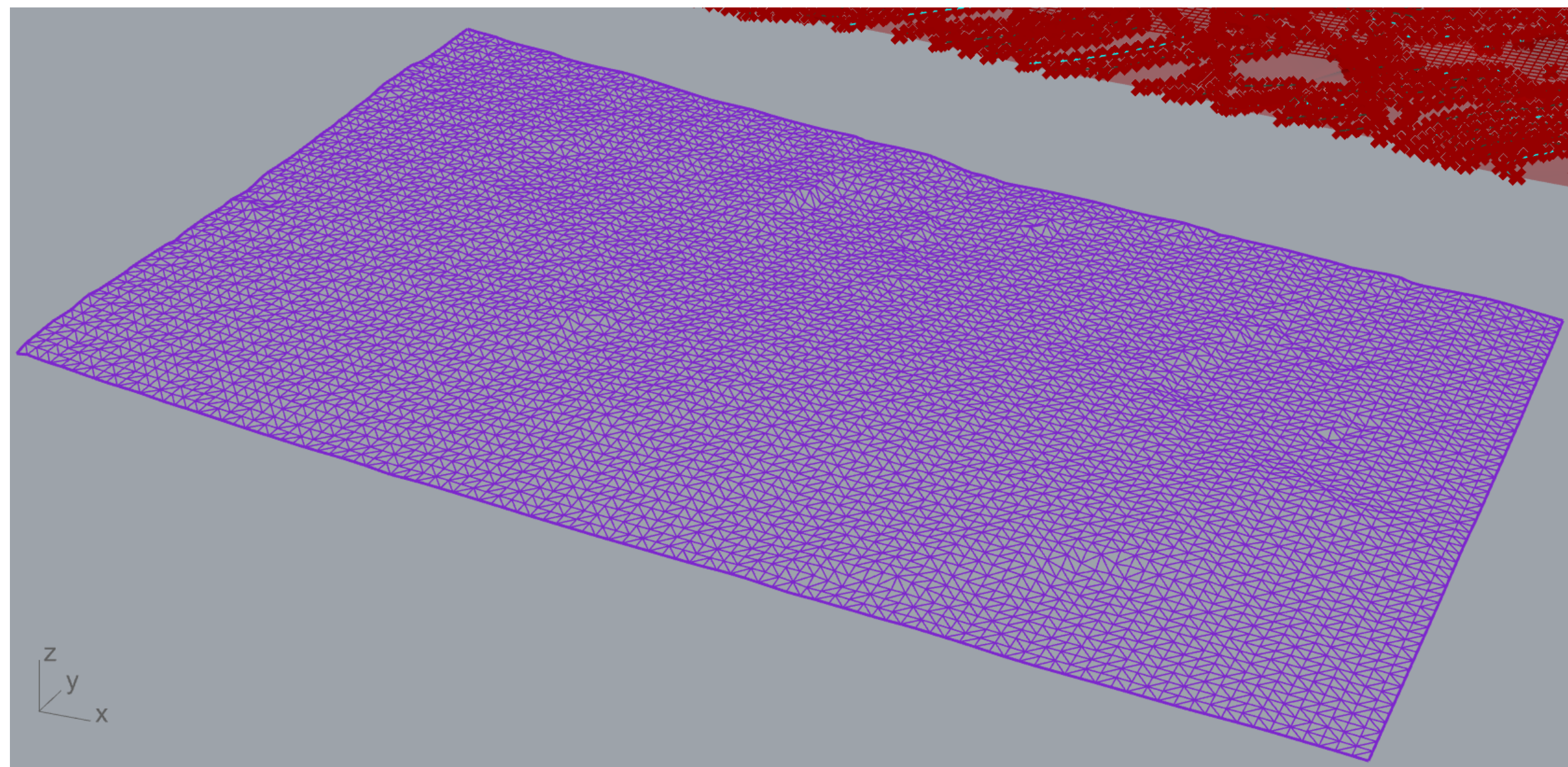
Delaunay Mesh, ligar os pontos do Merge. Vai gerar a malha com pequenos triângulos do terreno. Fazer Bake da malha no Rhino e mudar a visualização para Wireframe para visualizar os triângulos da superfície.

Na Top View, criar um retângulo @500,300. Posicionar o retângulo a no terreno. Adicionar um Point e meter num dos vértices do retângulo.

Adicionar o Square Grid e ligar o ponto à entrada do plano da grelha.



Adicionar um Project Point. Ligar os pontos da grelha, definir a direção vertical no eixo Z e ligar a malha do terreno. Os pontos da grelha serão projetados sobre a superfície triangulada, e organiza melhor a superfície do terreno. Delaunay Mesh>ligar os pontos projetados (Cria a superfície final do terreno).



Entrega da Avaliação Final da Disciplina

x

Aula. 14

21/5/2026