

Modelação - Parte IV

1. Modificadores (ou *Modifiers*)

- O *Blender* tem um conjunto de ferramentas chamadas modificadores que simplificam algumas das tarefas de modelação;
- Os modificadores são operações automáticas que afetam a geometria de um objeto de forma não destrutiva. Ou seja, eles alteram a forma como um objeto é exibido e renderizado, mas não a geometria que se pode editar diretamente;
- Pode adicionar-se vários modificadores a um único objeto, formando uma pilha de modificadores;
- Se um modificador for removido, todas as alterações que provocou no objeto desaparecem;
- Deve aplicar-se (através da operação **Apply**) um modificador, quando se desejar que as suas alterações sejam permanentes;
- A sequência em que os vários modificadores da pilha forem aplicados, influencia o resultado final obtido;
- Existem quatro tipos de modificadores:
 - **Generate**: são ferramentas construtivas / destrutivas que afetarão toda a topologia da malha. Podem alterar a aparência geral do objeto ou adicionar-lhe uma nova geometria;
 - **Modify**: são semelhantes aos anteriores, mas no geral não afetam diretamente a geometria do objeto e sim, outros dados, como grupos de vértices;
 - **Deform**: apenas mudam a forma de um objeto, sem alterar sua topologia;
 - **Simulate**: representam simulações de física.
- A Figura 1 mostra os modificadores dos vários tipos que existem disponíveis para um objeto do tipo *mesh* (a lista varia consoante o tipo);

Modify	Generate	Deform	Physics
Data Transfer	Array	Armature	Cloth
Mesh Cache	Bevel	Cast	Collision
Mesh Sequence Cache	Boolean	Curve	Dynamic Paint
Normal Edit	Build	Displace	Explode
Weighted Normal	Decimate	Hook	Fluid
UV Project	Edge Split	Laplacian Deform	Ocean
UV Warp	Geometry Nodes	Lattice	Particle Instance
Vertex Weight Edit	Mask	Mesh Deform	Particle System
Vertex Weight Mix	Mirror	Shrinkwrap	Soft Body
Vertex Weight Proximity	Multiresolution	Simple Deform	
	Remesh	Smooth	
	Screw	Smooth Corrective	
	Skin	Smooth Laplacian	
	Solidify	Surface Deform	
	Subdivision Surface	Warp	
	Triangulate	Wave	
	Volume to Mesh		
	Weld		
	Wireframe		

Figura 1. Lista de modificadores.

- A interface de cada modificador compartilha os componentes básicos que se mostram na Figura 2.

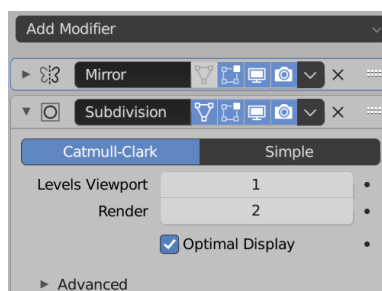


Figura 2. Exemplo da interface de um modificador.

- No topo encontra-se o cabeçalho, no qual, depois do botão de expansão do painel, do ícone que representa o tipo de modificador e do nome, surgem as seguintes opções:
 - **Show on Cage** - Disponível apenas para malhas. Se habilitada, a geometria modificada pode ser editada diretamente, em vez da original. Isso pode conduzir a efeitos finais imprevisíveis e por isso o seu uso deve ser cauteloso;
 - **Show in Edit Mode** - No modo de edição, mostra a geometria modificada, bem como a geometria original que se pode editar;
 - **Show in Viewport** - Alterna a visibilidade do efeito do modificador no editor 3D Viewport;
 - **Render** - Alterna a visibilidade do efeito do modificador na renderização;
 - **Specials** - Permite aceder a um conjunto de opções especiais (Figura 3):
 - **Apply (Teclas CTRL+A)** - Torna o modificador "real", ou seja, converte a geometria do objeto para corresponder aos resultados do modificador aplicado e exclui esse modificador da pilha;
 - **Duplicate (Teclas SHIFT+D)** - Cria um duplicado do modificador, colocando-o na pilha de modificadores, logo abaixo do atual;
 - **Copy to Selected** - Copia o modificador do objeto ativo para todos os objetos que estiverem selecionados;
 - **Move to First / Move to Last** - Move o modificador para a primeira / última posição na pilha de modificadores.

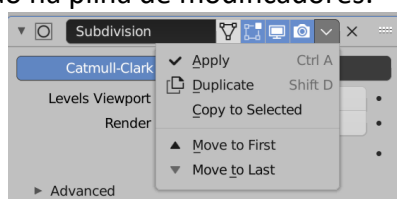


Figura 3. Painel de opções *Specials*.

- **Delete** - Elimina o modificador;
- **Move** - Move o modificador para cima / para baixo na pilha, mudando a ordem de avaliação dos modificadores.
- Em seguida serão apresentados alguns exemplos de modificadores que são usados em tarefas de modelação. Para mais informação sobre estes e outros modificadores, aceder a:

<https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/modifiers/index.html>
<https://artisticrender.com/top-10-blender-modifiers-and-how-they-work/>

Modificador *Simple Deform*

- O modificador ***Simple Deform*** permite a aplicação de uma deformação simples a um objeto (malhas, curvas, superfícies, ...). A deformação pode ser uma rotação (***Twist***, ***Bend***) ou um redimensionamento (***Taper***, ***Stretch***). A quantidade de deformação é especificada pelo ***Deform Angle*** (rotação) ou ***Deform Factor*** (redimensionamento);

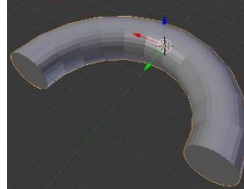


Figura 4. Resultado da aplicação do modificador *Simple Deform*.

- Abri um novo ficheiro do Blender e apagar o elemento *cube*;
- Adicionar uma *mesh* do tipo cilindro, rodado de 90° segundo o eixo dos YY;
- Redimensionar o cilindro no eixo dos XX de forma a ficar mais comprido;
- No modo de edição, aplicar-lhe 10 cortes (operação ***Edge→Subdivide***);
- Passar ao modo objeto;
- No editor *Properties*, selecionar o separador ***Modifier Properties*** e depois pressionar o botão ***Add Modifier***, escolhendo o modificador ***Simple Deform*** (grupo *Deform*);
- Pressionar o botão ***Bend***;
- Escolher a opção ***Object→Apply→Rotation&Scale*** (sem esta opção, o modificador não aplica a deformação a todo o objeto);
- No campo ***Axis***, selecionar a opção ***Z***;
- Alterar os valores do campo ***Angle*** e verificar o resultado (semelhante ao da Figura 4).

Modificador *Boolean*

- O modificador ***Boolean*** executa operações em malhas usando uma de três operações booleanas disponíveis - interseção, união e diferença - para criar uma única malha a partir de duas;

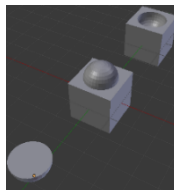


Figura 5. Resultado da aplicação do modificador *Boolean*.

- Esconder a *Collection* e, numa nova coleção, *Collection 2*, adicionar um cubo (*mesh*) na origem;
- Adicionar uma esfera (*mesh*) de dimensão (1.5,1.5,1.5), na posição (0,0,1);
- Criar duas cópias deste conjunto de dois elementos e colocá-las umas ao lado das outras (**Teclas SHIFT + D**);
- Atribuir nomes às esferas criadas ("*Bola1*", "*Bola2*" e "*Bola3*", por exemplo);

- Para cada um dos conjuntos esfera/cubo:
 - Selecionar o cubo;
 - No separador **Modifier Properties** (no editor *Properties*), adicionar o modificador **Boolean** (do grupo *Generate*) e no campo **Object** escolher o nome da esfera que está sobre esse cubo;
 - Selecionar uma das três operações disponíveis, respetivamente, **Intersect**, **Union** e **Difference**;
 - Escolher a opção **Apply** (Teclas CTRL+A);
- Apagar as esferas em cada conjunto e verificar que o resultado é semelhante ao da Figura 5.

Modificador **Array**

- O modificador **Array** cria uma matriz de cópias do objeto base;
- Esconder a *Collection 2* e, numa nova coleção, *Collection 3*, adicionar um cubo (*mesh*) posicionado na origem;
- Adicionar uma esfera (*mesh*), de raio **1.25**, na origem;
- Aplicar ao cubo o modificador **Boolean** de forma a ficar com a diferença entre o cubo e a esfera (depois de aplicar o modificador, apagar a esfera);
- Com o objeto resultante selecionado, adicionar o modificador **Array**, do grupo *Generate*;
- No campo **Count**, colocar o número de repetições a **5**;
- Na área **Relative Offset**, alterar a distância relativa (em “objetos”) de cada repetição em relação à anterior, no eixo dos XX, colocando o valor de **Factor X** a **1.5**;
- No modo de edição, verificar que só é possível editar a geometria do objeto original e que essa alteração se propaga às réplicas. Se o modificador for aplicado (**Apply**), no modo objeto já será possível alterar isoladamente cada cópia;
- Experimentar alterar os valores de **Factor Y** e **Factor Z** do **Relative Offset** para ver o resultado, voltando a colocá-los a zero, no final;
- Colocar a vista em *Top Orto*;
- Adicionar uma curva de *Bézier*;
- Redimensioná-la para que fique do mesmo tamanho que a linha de objetos;
- Voltar a selecionar os cubos;
- No campo **Fit Type** do modificador, escolher a opção **Fit Curve**;
- No campo **Curve**, colocar o nome da curva de *Bézier* criada;
- No modo de edição, efetuar alterações à curva, verificando que estas se refletem no aumento/diminuição do número de cópias.

Modificador **Curve**

- O modificador **Curve** proporciona um método simples, mas eficiente, de deformar uma malha ao longo de um objeto do tipo curva;
- Selecionar os cubos e adicionar-lhes o modificador **Curve**, do grupo *Deform*;
- No campo **Curve Object**, colocar o nome da curva de *Bézier*;
- Aplicar uma translação aos cubos para que fiquem junto à curva;

- Selecionar a curva e, no modo de edição, aplicar-lhe uma extrusão;
- Verificar que são acrescentados cubos segundo o perfil da curva;
- Voltar ao modo objeto e, selecionando os cubos, trocar a ordem dos modificadores para perceber que o resultado é diferente;
- Repor a ordem dos modificadores e aplicá-los;
- Apagar a curva;
- Verificar que todos os cubos passam a ser editáveis.


Modificador *Mirror*

- O modificador ***Mirror*** espelha uma malha ao longo de seus eixos locais X, Y e/ou Z, através da origem do objeto. Também se pode usar outro objeto como o centro do espelho e, em seguida, utilizar os eixos locais desse outro objeto em vez dos seus próprios;

- Esconder a *Collection 3* e, numa nova coleção, *Collection 4*, adicionar um cubo (*mesh*) na origem;
- Aplicar um redimensionamento de **0.1** unidades no eixo dos ZZ (**Teclas S + Z + 0.1 + ENTER**);
- Passar para o modo de edição e aplicar uma subdivisão com ***Number of Cuts*** igual a **2**;
- Adicionar ao cubo o modificador ***Mirror***, do grupo *Generate*;
- No modo de edição, selecionar a face de um dos cantos da parte de baixo do cubo;
- Aplicar uma extrusão de uma unidade (**Teclas E + 1 + ENTER**);
- Aplicar um redimensionamento de **0.5** unidades (**Teclas S + 0.5 + ENTER**);
- No campo ***Axis***, selecionar também o **Y** e verificar que o banco ficou com as quatro pernas;
- Tentar selecionar todas as faces da malha e verificar que as partes que foram acrescentadas pelo modificador ***Mirror*** não podem ser selecionadas ou alteradas;
- Selecionar todo o objeto (**Tecla A**);
- Aplicar uma translação no eixo dos YY de **1.05**, de forma a aparecerem dois elementos ligeiramente separados (**Teclas G + Y + 1.05 + ENTER**);
- No painel do modificador, alterar para **0.1** o valor do campo ***Merge***, de forma a juntar os dois objetos;
- Passar para o modo objeto e aplicar o modificador (opção ***Apply*** ou **Teclas CTRL + A**);
- Voltar ao modo de edição e verificar que todos os vértices/arestas e faces estão selecionados, ou seja, já é possível alterar as partes da malha que foram acrescentadas pelo modificador.

Modificadores *Mask*, *Wireframe* e *Subdivision Surface*

- Esconder a *Collection 4* e, numa nova coleção, *Collection 5*, adicionar a *mesh Monkey* na origem;

- No modo de visualização em perspectiva (**User Persp**), passar para o modo de edição e selecionar todas as faces da parte de trás da cabeça da macaca;
- Selecionar o separador **Object Data Properties**, do editor **Properties**;
- No painel **Vertex Group**, premir o **botão +**, de forma a criar um grupo com todos os vértices selecionados;
- Alterar o nome do grupo para “*Nuca da macaca*”, fazendo um duplo *click* com o botão esquerdo do rato sobre a palavra “*Group*”;
- Para atribuir os vértices selecionados a esse grupo, premir o botão **Assign**;
- Sair para o modo objeto e no botão **Add Modifier** escolher o modificador **Mask** (remove da malha um conjunto de vértices);
- No campo **Vertex Group**, selecionar o nome “*NucaMacaca*”;
- Verificar que a cara da macaca desapareceu;
- Pressionar o botão **Invert** , no extremo direito do campo **Vertex Group**, para alternar para os vértices que não pertencem ao grupo;
- Adicionar o modificador **Wireframe** (remove as faces do objeto e engrossa as arestas) e constatar o resultado;
- Adicionar o modificador **Subdivision Surface** (acrescenta faces ao objeto de forma a suavizar a sua forma) e verificar o seu efeito;
- Troque a ordem dos modificadores na pilha e avalie as diferenças.

2. Geometry Nodes

- O sistema de **Geometry Nodes** permite alterar a geometria de um objeto, bem como fazer outras modificações, através de funções baseadas em nós (**nodes**). Estes nós são, essencialmente, blocos que contêm dados estruturados e que transformam entradas em saídas com base em parâmetros definidos no grupo de nós (árvore de nós interligados).
- O nó inicial da árvore é o **Group Input** que representa o estado inicial do objeto. O nó final é o **Group Output** que é o resultado de todas as operações definidas pelos nós intervenientes. Existem diferentes categorias, como sejam, nós de cor, geometria, material e texto. Grande parte da curva de aprendizagem dos **Geometry Nodes** prende-se com descobrir o que os nós individuais permitem fazer e como usá-los.
- O sistema de **Geometry Nodes** é integrado no Blender como um modificador cujas operações são definidas pelo grupo de nós. Este modificador pode ser gravado e aplicado a outros objetos.
- Os exercícios que se seguem, pretendem testar a utilização de **Geometry Nodes** para efeitos de modelação.

- Criar um novo ficheiro do Blender através de **File→New→General** e selecionar o *workspace* **Geometry Nodes**.

- Na área de trabalho, para além do editor **3D Viewport**, surge agora o *Geometry Nodes Editor* na parte inferior e o *Spreadsheet Editor* à esquerda (este último permite explorar e ajustar dados de geometria).

- Eliminar o *Spreadsheet Editor* já que não vai ser usado neste exercício;

- No *Geometry Nodes Editor*, adicionar um novo *Geometry Node Group* pressionando o botão **+New** do *Header*, ou, através do separador **Modifier Properties** (no editor *Properties*), seleccionar a opção **Add Modifier** e escolher o modificador **Geometry Nodes** do grupo *Generate*.
- Verifica-se que surgiram os nós **Group Input** e **Group Output**. Aproximando o ponteiro do rato da saída do primeiro, ou da entrada do segundo nó, é possível obter informação sobre a geometria da malha, nomeadamente, nº de vértices, arestas e faces.
- Entre os dois nós mencionados, podem ser adicionados outros nós. Neste primeiro exemplo será inserido o nó **Transform** que permite efetuar transformações básicas ao objeto, como sejam, translação, rotação e escala. Para tal:

- Aceder ao menu **Add (SHIFT+A)** do editor *Geometry Nodes* e, no submenu **Geometry**, seleccionar o nó **Transform** (**Add→Geometry→Transform**). Alternativamente, no menu **Add**, usar a opção **Search...** e pesquisar “Transform”;
- Colocar o nó **Transform** entre os nós **Group Input** e **Group Output** e as ligações serão feitas automaticamente;
- Alterar os valores dos parâmetros desse nó e verificar os resultados (ver Figura 6).

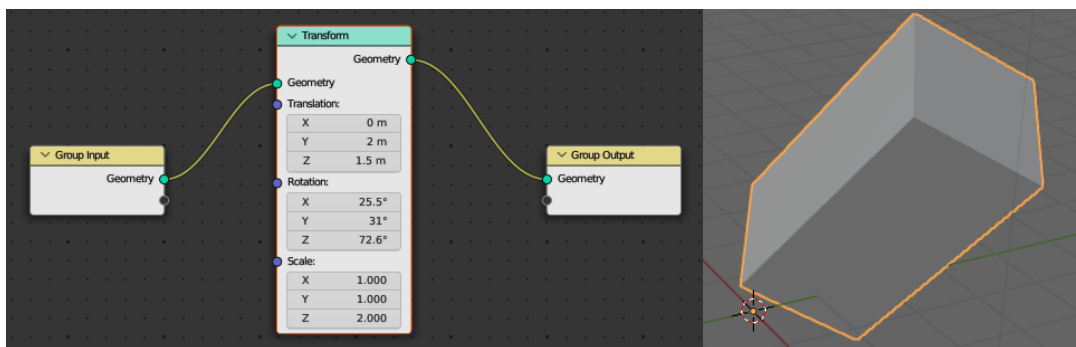


Figura 6. Modelação usando *Geometry Nodes* – Exemplo 1.

- No segundo exemplo, o objetivo é modelar o objeto da Figura 7, recorrendo a outros tipos de *Geometry Nodes*.

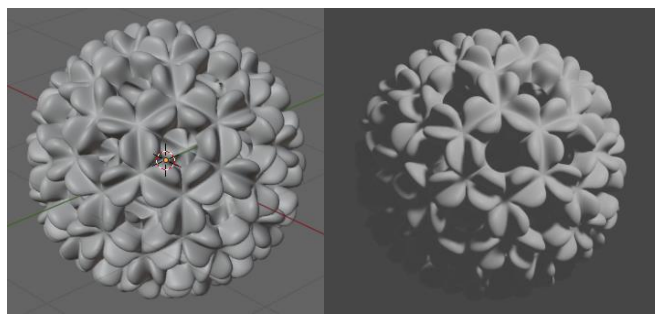


Figura 7. Objeto a modelar no Exemplo 2 (objeto no *3D Viewport* / renderizado).

- Para esse efeito:

- Esconder a *Collection* e criar uma nova coleção, *Collection 2*, tornando-a ativa;
- No *3D Viewport*, adicionar uma *mesh* do tipo *Ico Sphere* (**Add→Mesh→Ico Sphere**);
- No *Geometry Nodes Editor*, adicionar um novo *Geometry Node Group* pressionando o botão **+New** do *Header*;
- Entre os nós **Group Input** e **Group Output**, inserir um nó do tipo **Dual Mesh** que converte faces em vértices e vértices em faces (a partir do *Header Add→Mesh→Dual Mesh*). Pode comprovar-se este efeito, colocando o ponteiro do rato à entrada e à saída desse nó. O resultado é o da Figura 8.

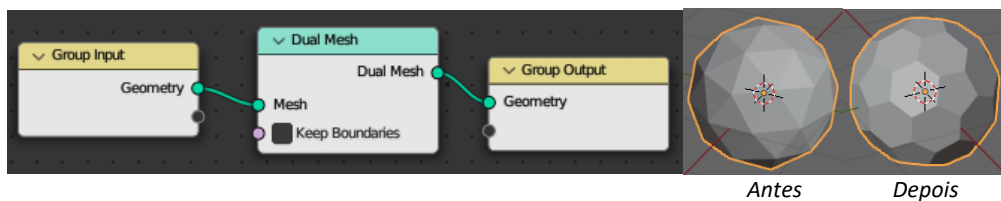


Figura 8. Efeito do nó *Dual Mesh*.

- Adicionar um nó do tipo **Extrude Mesh** que faz uma extrusão aos elementos seleccionados (gerando novos vértices, arestas e faces) com base num dado *offset* (a partir do *Header, Add→Mesh→Extrude Mesh*), colocando-o entre os nós **Dual Mesh** e **Group Output**;
- Alterar o parâmetro **Offset Scale** e verificar o efeito produzido na malha. No final, colocar o seu valor a **0.05** (ver Figura 9);

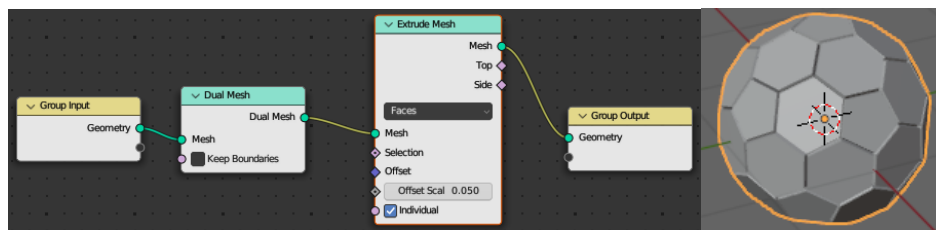


Figura 9. Efeito do nó *Extrude Mesh*.

- Verificar que os números de vértices, arestas e faces foram substancialmente incrementados por este nó, colocando o ponteiro do rato à entrada e à saída desse mesmo nó;
- Entre os nós **Extrude Mesh** e **Group Output** inserir um nó do tipo **Scale Elements** que aplica uma operação de escala a grupos de arestas e faces seleccionados (a partir do *Header, Add→Mesh→Scale Elements*). Neste exemplo, apenas existe interesse em redimensionar as faces do topo. Por esse motivo, além das ligações que o Blender estabeleceu automaticamente, ligar a saída **Top** do nó **Extrude Mesh**, à entrada **Selection** do nó **Scale Elements**. Colocar o parâmetro **Scale** do segundo nó com valor **0.5**. O resultado pode ver-se na Figura 10.

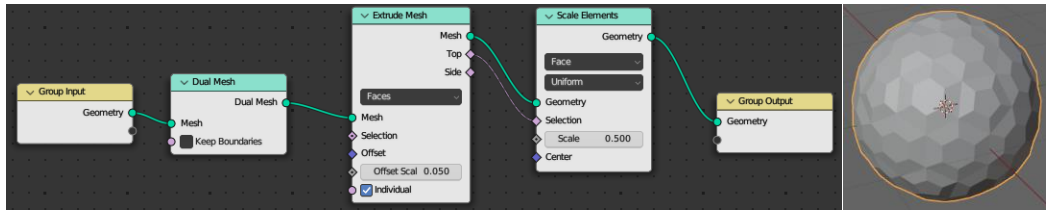


Figura 10. Efeito do nó *Scale Elements*.

- Entre os nós **Scale Elements** e **Group Output** inserir um nó do tipo **Delete Geometry** que apaga os elementos da malha selecionados (a partir do *Header*, **Add→Geometry→Delete Geometry**). Como resultado da inserção deste nó, verificar que toda a malha foi removida;
- Como o objetivo é que apenas as faces do topo sejam eliminadas, alterar o parâmetro **Point** deste novo nó para **Face**, bem como ligar a saída **Top** do nó **Extrude Mesh**, à entrada **Selection** deste mesmo nó (ver Figura 11).

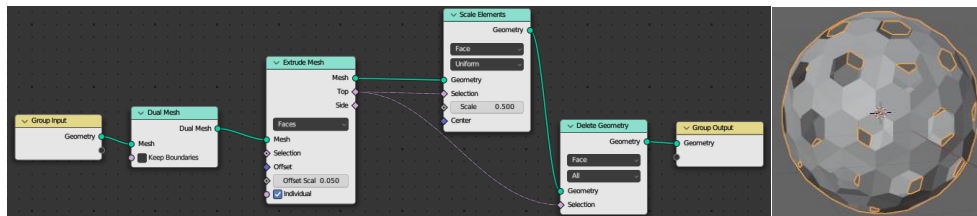


Figura 11. Efeito do nó *Delete Geometry*.

- Adicionar um segundo nó do tipo **Extrude Mesh** (a partir do *Header*, **Add→Mesh→Extrude Mesh**), colocando-o entre os nós **Delete Geometry** e **Group Output**, e alterar o parâmetro **Offset Scale** para **0.2** (ver Figura 12).

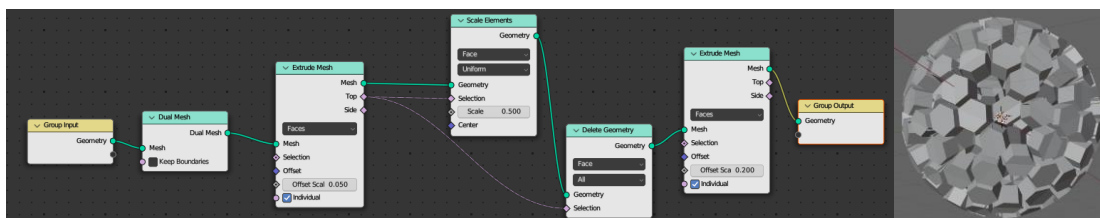


Figura 12. Efeito do segundo nó *Extrude Mesh*.

- Finalmente, entre o segundo nó **Extrude Mesh** e o nó **Group Output** inserir um nó do tipo **Subdivision Surface** que usa um método de subdivisão da malha para tornar a sua superfície mais suave (a partir do *Header*, **Add→Mesh→Subdivision Surface**). Colocando o valor do parâmetro **Level** igual a 4, obtém-se o resultado da Figura 7. O grupo nós completo encontra-se na Figura 13.

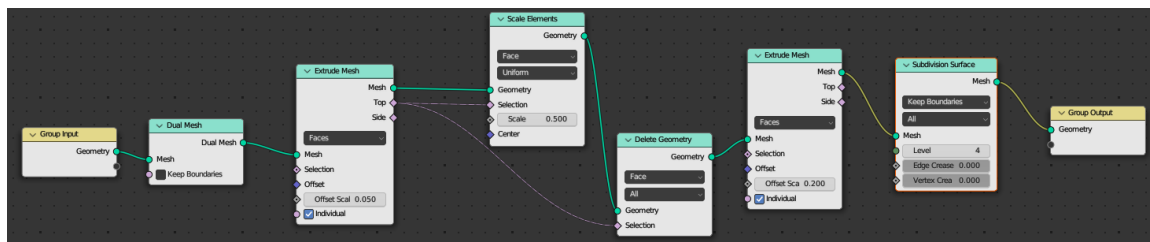


Figura 13. Modelação usando *Geometry Nodes* - Exemplo 2.

3. Exercícios propostos

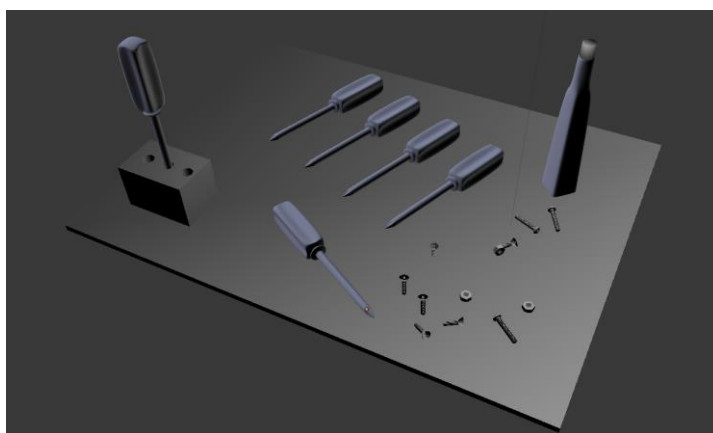


Figura 14. Cena 3D a modelar.

1. Modelar a cena 3D que se apresenta na Figura 14, sabendo que:
 - A bancada é um cubo redimensionado;
 - A chave de estrela é o resultado do exercício 3 proposto no guião anterior (*FCG_02_Modelação_C.pdf*), sendo posteriormente replicada. Para se obter as quatro chaves seguidas (ver Figura 13) deverá ser usado o modificador **Array**;
 - O suporte de chaves começa por ser um cubo. São-lhe “escavados” alguns cilindros usando o modificador **Boolean**;
 - A garrafa é modelada usando a mesma técnica da criação da chave de estrela;
 - A rolha da garrafa é um cilindro;
 - Os parafusos e porcas são criados usando o *add-on Bolt Factory* da categoria *Add Mesh*.

2. Modelar uma planta (caule e folhas) através do uso de *Geometry Nodes*, efetuando os passos que se seguem:

- Criar um novo projeto do Blender (**File→New→General**) e alterar o *workspace* para *Geometry Nodes*;
- Adicionar um modificador do tipo *Geometry Nodes* ao cubo, através do editor *Properties*, separador *Modifier Properties*, opção **Add Modifier**, coluna *Generate*. Alternativamente, seleccionar a opção **+New** do *Header* do editor *Geometry Nodes*. Em qualquer das situações, verificar que foi criado um novo *Geometry Node Group*;

- Desfazer a ligação (a verde) entre os *nodes* **Group Input** e **Group Output** – pressionando o botão esquerdo do rato sobre a extremidade final da ligação e removendo-a;
- Adicionar um *node* do tipo **Quadratic Bezier**, através do menu **Add (SHIFT+A)→Curve Primitives→Quadratic Bezier**;
- Ligar a saída **Curve** do nó **Quadratic Bezier** à entrada **Geometry** do nó **Group Output**;
- Atribuir os seguintes valores aos campos do nó **Quadratic Bezier**:

- Start: 0, 0, 0;
- Middle: 0, 0, 0.5;
- End: 0, 0, 1.

- Para poder atribuir uma espessura à curva, há que transformá-la em *mesh* através de **SHIFT+A→Curve→Curve to Mesh**;
- Ligar a saída **Curve** do nó **Quadratic Bezier** à entrada **Curve** do nó **Curve to Mesh**, e a saída **Mesh** deste último, à entrada **Geometry** do nó **Group Output**.

- Para criar o caule da planta é necessário que este tenha uma forma circular. Para tal:

- Adicionar um novo nó do tipo **Curve Circle**, através de **SHIFT+A→Curve Primitives→Curve Circle**;
- Ligar a saída **Curve** do nó **Curve Circle**, à entrada **Profile Curve** do nó **Curve to Mesh**;
- Para tornar o raio menor, alterar os valores de **Resolution** e **Radius** do nó **Curve Circle** para **12** e **0.02m**. Verificar o resultado esperado a partir da Figura 15.

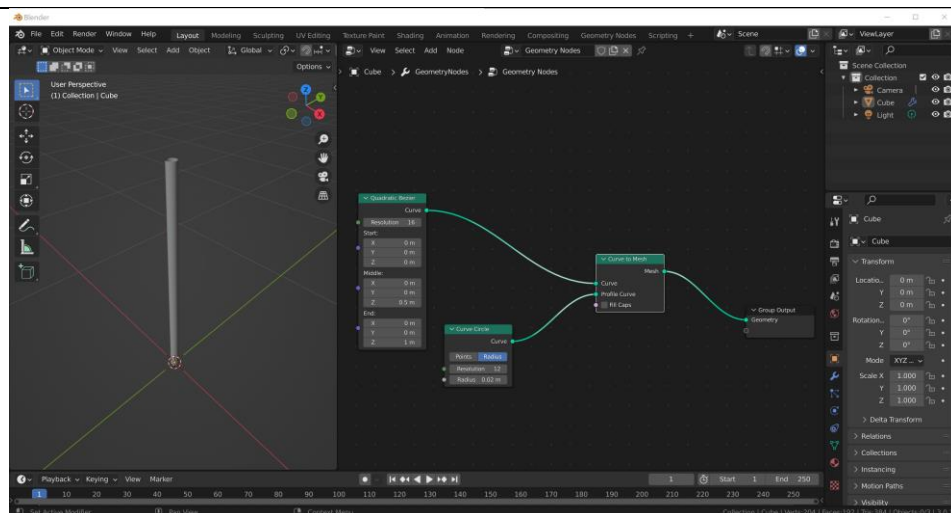


Figura 15. Geometry Nodes – etapa 1.

- De forma a simular as irregularidades de uma planta, adicionar um nó do tipo **Noise Texture (SHIFT+A→Texture→Noise Texture)**;

Para além deste, adicionar outros nós que serão necessários para manipular corretamente a posição, nomeadamente:

- **SHIFT+A→Geometry→Set Position** (controla a localização de cada ponto);
- **SHIFT+A→Curve→Curve Parameter** (gera a distância de um ponto ao longo de uma curva, como um valor entre 0 e 1);
- **SHIFT+A→Vector→Vector Math** (executa a operação matemática selecionada sobre os valores de entrada. Escolher operação **Subtract** para subtrair esses valores);
- **SHIFT+A→Vector→Vector Math** (executa a operação matemática selecionada sobre os valores de entrada. Escolher operação **Multiply** para multiplicar esses valores);
- Proceder às ligações das entradas/saídas dos nós, bem como às alterações de parâmetros, de acordo com a Figura 16;

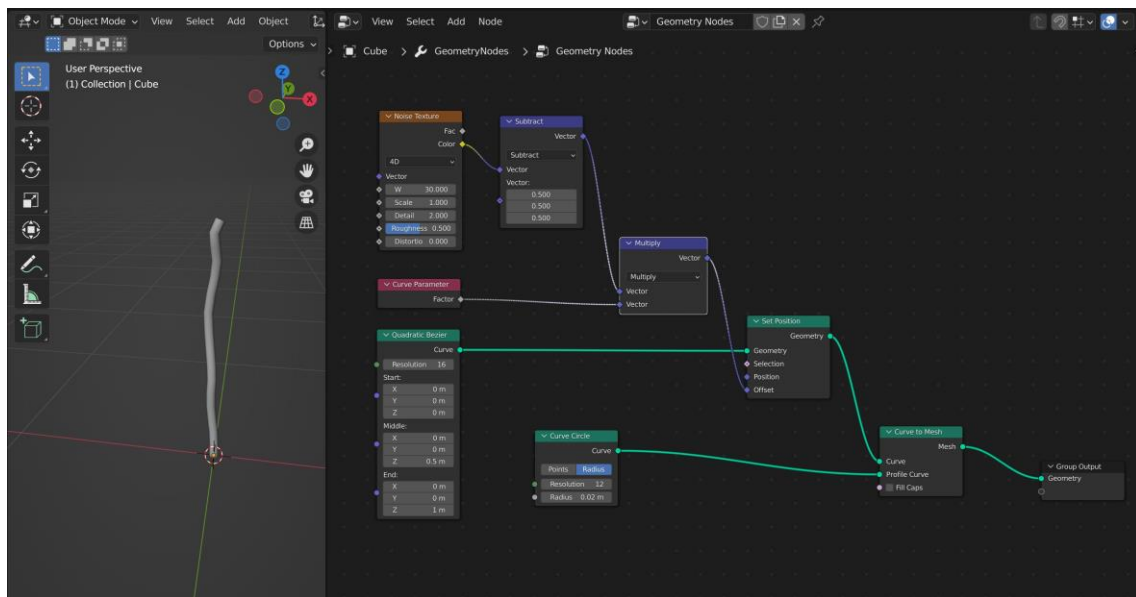


Figura 16. Geometry Nodes – etapa 2.

- Para adicionar irregularidade ao raio da curva, adicionar o nó **Set Curve Radius** (**SHIFT+A→Curve→Set Curve Radius**) e inseri-lo entre os nós **Curve to Mesh** e **Set Position**;
- Em seguida, criar uma ligação entre o nó **Curve Parameter** e o novo nó **Set Curve Radius** através do parâmetro **Radius**. No entanto, com esta configuração, o caule da planta fica com um aspeto exatamente oposto ao que devia ter, uma vez que o valor de saída do nó **Curve Parameter** é 0 no ponto de origem e 1 no topo da curva;

- Para resolver este “problema”, adicionar um nó **Map Range** (**SHIFT+A → Utilities → Map Range**), o qual permite inverter os valores mencionados (que se pretende que sejam **1** na origem e **0** no final da curva). Para tal:
 - Ligar a saída **Factor** do nó **Curve Parameter** à entrada **Value** do nó **MapRange**, e a saída **Result** deste último, à entrada **Radius** do nó **Set Curve Radius**;
 - Alterar os parâmetros **From Min** para **1.000** e **From Max** para **0.000**.
- Agora que o caule está pronto, há que adicionar folhas à planta. Para essa finalidade:
 - Através da opção **File → Append** aceder ao ficheiro “folha.blend”;
 - Na pasta **Mesh** seleccionar o objeto **Plane** e carregar em **Append**;
 - Verificar que surgiu um novo objeto (com a forma de uma folha) no editor **3D Viewport**;
 - No **Outliner**, alterar o nome desse objeto para “Folha”.
 - Com o caule seleccionado, arrastar o objeto “Folha” do **Outliner** para o **Geometry Nodes Editor**;
 - Verificar que foi criado um novo nó do tipo **Object Info** com informação da “Folha”.
- As instâncias são uma forma rápida de adicionar a mesma geometria a uma cena muitas vezes, sem duplicar os dados subjacentes. No caso da planta, a folha será adicionada um determinado nº repetido de vezes.
 - Adicionar um novo nó do tipo **Instance on Points** (**Add → Instances → Instances on Points**);
 - Ligar a saída **Geometry** do nó **Object Info**, à entrada **Instance** do nó **Instance on Points**;
 - Para controlar o número de folhas, criar um novo nó do tipo **Resample Curve** (**Add → Curve → Resample Curve**);
 - Ligar a saída **Curve** do nó **Set Curve Radius** à entrada **Curve** do nó **Resample Curve**, e a saída **Curve** deste último, à entrada **Points** do nó **Instance on Points**;
 - De forma a ser possível ligar a saída do nó **Instance on Points** ao **Group Output**, adicionar o nó **Join Geometry** (**Add → Geometry → Join Geometry**);
 - Ligar as saídas **Instance** e **Mesh** dos nós **Instance Points** e **Curve to Mesh**, respetivamente, à entrada **Geometry** do nó **Join Geometry**;
 - Verificar se ligações estão conforme a Figura 17.

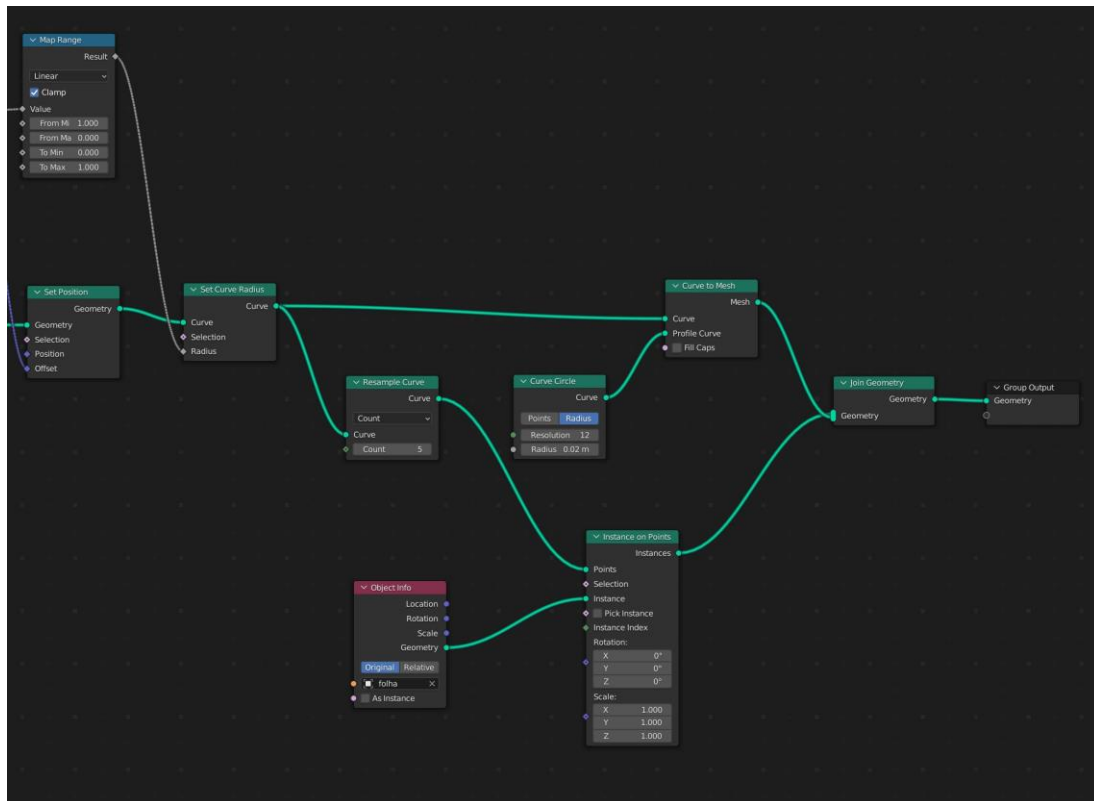


Figura 17. Geometry Nodes – etapa 3.

- No editor *3D Viewport* é possível verificar que as folhas estão na vertical, pelo que é necessário aplicar-lhe uma rotação.
- A alteração dos valores de rotação diretamente no nó *Instance Points*, não produz o resultado pretendido (como facilmente poderá constatar). Com efeito, torna-se necessário alinhar o objeto com algo. Para resolver o problema:

- Adicionar um nó do tipo **Align Euler to Vector** (**Add**→**Utilities**→**Align Euler to Vector**) entre os nós **Object Info** e **Instance on Points**;
- Ligar a saída **Rotation** do nó **Object Info** à entrada **Rotation** do nó **Align Euler to Vector** e a saída **Rotation** deste último, à entrada **Rotation** do nó **Instance on Points**;
- No nó **Align Euler to Vector**, seleccionar o eixo Y e manter os valores de **Vector** com (0,0,1).

- Para que as folhas sigam a irregularidade do caule:

- Adicionar um nó do tipo **Curve Tangent** (**Add**→**Curve**→**Curve Tangent**);
- Ligar a saída **Tangent** (do nó **Curve Tangent**) à entrada **Vector** (do nó **Align Euler to Vector**);
- Criar um nó do tipo **Rotate Instances** (**Add**→**Instances**→**Rotate Instances**) para adicionar rotação às folhas, posicionando-o entre os nós **Instance on Points** e **Join Geometry**. Desta forma, as ligações das entradas/saídas, será feita automaticamente.

- O nó *Rotate Instances* vai controlar a rotação de todas as folhas, o que torna impossível criar o efeito irregular desejado. Para o obter:

- Adicionar um nó do tipo **Index (Add→Input→Index)** que atribui um novo valor a cada ponto e, para conseguir obter um resultado mais controlado, ligar a sua saída ao **eixo Y** de um nó do tipo **Combine XYZ (Add→Vector→Combine XYZ)**. Por sua vez, ligar a saída deste nó à entrada **Rotation** do nó **Rotate Instances**.

- Para concluir, modificar os valores dos parâmetros de alguns dos nós, nomeadamente:

- Colocar o parâmetro **Count** do nó **Resample Curve** com valor **10** (equivalente a adicionar 10 folhas);
- Alterar os valores do parâmetro **Scale** do node **Instance on Points** para (0.400; -2.000; 0.500);
- Alterar o valor do parâmetro X do nó **Combine XYZ** para **-3.000**;

- O resultado final deverá ser semelhante ao da Figura 18.

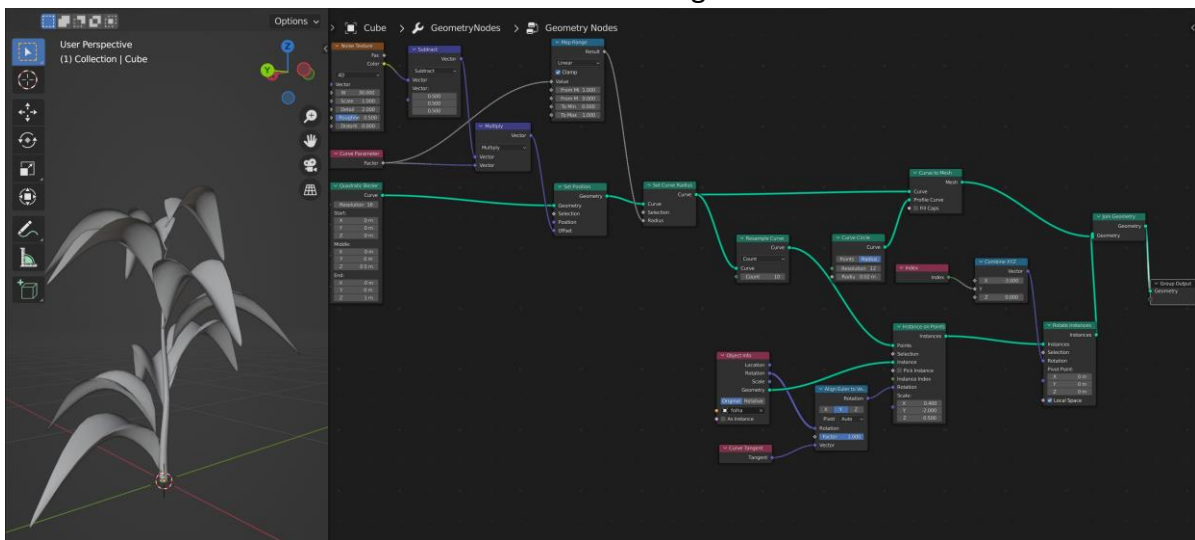


Figura 18. *Geometry Nodes* - Resultado final.