

*ESTRUTURAS GEOMÉTRICAS DOS **MOLUSCOS***

As estruturas geométricas das conchas dos moluscos são notáveis por diversas razões de ordem : pela sua diversidade, pela beleza das suas formas bem como pela eficiência funcional das espirais complexas das conchas que servem de proteção ao molusco.

As formas destas conchas são caracterizadas por **Formas Curvas**, **Formas Espirais**, e por possuírem simetria bilateral .

- **Espirais Logarítmicas** - os moluscos gastrópodes, como caracóis ou caramujos dos mar, possuem uma concha em espiral de peça única e contínua, em que o seu desenvolvimento segue muitas vezes as regras geométricas do crescimento como no caso das espirais logarítmicas ou da Espiral de Cornu ou Clotóide ¹. Com as regras geométricas de crescimento aplicadas a estas espirais, dá-se a alteração da curvatura da espiral e, consequentemente, o aumento do raio da sua curva em cada ponto, nascendo assim espaço para locar uma maior secção de abertura da concha. Esta lei do crescimento configura aqui uma Homotetia ², permitindo o crescimento da forma sem alterar as suas proporções, e mantendo sempre a sua forma inicial.
- **Formas Bivalves** - os moluscos bivalves, como as amêijoas ou os mexilhões, possuem, tal como o seu nome indica, uma estrutura biológica com duas válvulas - uma de entrada da água do mar e outra de saída de água limpa - que se articulam com uma concha de abertura plana para funcionamento simultâneo das duas válvulas. Estas conchas são de duas peças, côncavas por dentro e crescem linearmente aumentando o perímetro da sua abertura.

Havendo outras formas de conchas de moluscos, como a forma cónica, vamos limitar o estudo destas estruturas às duas acima.

¹ A Clotóide é uma curva cujo grau de curvatura varia linearmente ao longo de toda a linha, variando simultaneamente o raio da curva em cada ponto. É uma curva usada em soluções rodoviárias para a transição de velocidades - de altas velocidades para baixas e vice-versa.

² Matéria leccionada em GDC - Leis do Crescimento - Operações Geométricas.

MOLUSCOS GASTRÓPODES

Os moluscos gastrópodes, tal como o nome indica, possuem o estômago, ou todo o aparelho digestivo, sobre o músculo que lhes promove a locomoção, os pés.

Quando se desenvolvem dentro de uma concha, esta tem uma abertura, onde se encaixa o corpo do molusco, e dentro desta fica toda a parte posterior do aparelho digestivo. Conforme cresce o molusco cresce também a concha que se adapta ao seu corpo, e por conseguinte, cresce também a secção por onde passa o corpo do molusco.

Na maior parte dos exercícios que se seguem, esta secção é a Geratriz, ou Shape, da superfície que se vai criar.

Das conchas destes moluscos, de desenvolvimento espiralado, destacam-se, pela natureza da construção da sua estrutura geométrica, dois tipos distintos: as de espiral plana e as de espiral cónica, listando-se as seguintes:

de **Espiral Plana** :

- Spirula
- Planorbis
- Nautilus

de **Espiral Cónica** :

- Caracol
- Caramujo do Mar

Para o desenvolvimento de todo este estudo, vem criar-se os *layers* necessários para o efeito e que são os seguintes :

Layers auxiliares	- Aux 1	- a Branco	- traço interrompido
	- Aux 2	- a Preto	
Layers de Directrizes	- Dir 1 / Rail 1	- a Branco	
	- Dir 2 / Rail 2	- a Preto	
Layers de Geratrizes	- Ger 1 / Shape 1	- a Vermelho	
	- Ger 2 / Shape 2	- a Azul	
Layer Cone Aux	- Cone	- a Verde	
Layers das Conchas	- Spirula	- a cores à escolha	
	- Planorbis		
	- Nautilus		
	- Caracol		
	- Caramujo do Mar		

SPIRULA



A Spirula é a pequeníssima concha interna de uma pequena lula que tem o mesmo nome Spirula Spirula.

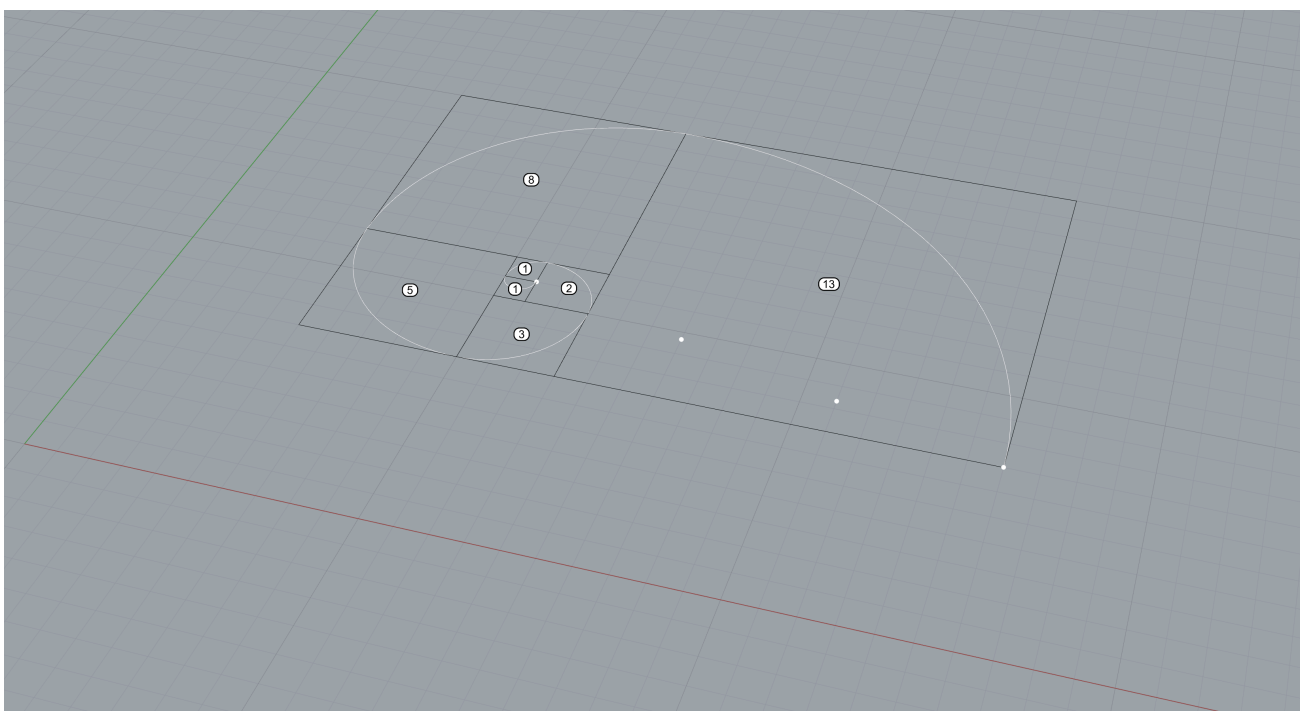
Esta concha, de secção circular, desenvolve-se segundo uma espiral plana que pode crescer de acordo com a Sequência de Fibonnaci e que nunca toca a concha existente.

O modelo desta concha será uma superfície gerada por uma circunferência que se desloca do centro para fora de modo crescente e apoiada em duas Directrizes espirais.

CRIAÇÃO DA BASE DO MODELO

Embora a proporção da curva da Spirula não seja baseada em quadrados mas sim em rectângulos, ainda assim, para recriar o modelo desta concha vamos usar este padrão e marcar no plano xy, uma sequência de quadrados justapostos e cujos lados têm as mesmas medidas que se encontram na sequência de Fibonnaci - 1, 1, 2, 3, 5, 8 e 13 - e que vão cobrir uma área rectangular, utilizando para o efeito a ajuda da grelha do plano de trabalho do Rhino, e tal como se pode ver na imagem abaixo.

Esta grelha de quadrados crescentes vai ajudar a construir os arcos crescentes da primeira espiral que será a directriz exterior da superfície da concha.



Imag 01 - Grelha quadrática e espiral da directriz para a Spirula

1ª DIRECTRIZ

No primeiro quadrado, e para iniciar a espiral, desenha-se um semi-círculo no lado contíguo ao outro quadrado de 1 de lado. Seguidamente constroem-se arcos de circunferência de $\pi/2$ em cada um dos quadrados seguintes.

Terminado o último arco, estes devem ser juntados numa única curva com o **Join**. Esta curva é a directriz exterior da superfície a criar.

2ª DIRECTRIZ

Como segundo passo vamos definir o plano vertical onde vai ficar a boca da concha ou seja a geratriz circunferencial da superfície. Esse plano vertical tem traço horizontal na linha que une os dois extremos da espiral já definida. Vamos escolher uma medida para o diâmetro da geratriz e assim divide-se a linha anterior em 2 ou 3 partes, conforme a proporção que se desejar para a superfície e o espaço que a separa.

Antes do desenho vertical da geratriz há que criar a 2ª espiral que será a directriz interior da superfície. Assim, copia-se a directriz sobre ela própria e em seguida vai escalar-se esta para um tamanho de metade ou de $2/3$.

Divide-se a linha recta que une os extremos da 1ª espiral obtendo-se os pontos que localizam a divisão. Para o segmento de recta usa-se o comando **Scale** e indica-se o número de divisões que se pretende. Se dividir por três pode escalar a espiral para $1/3$ do seu tamanho, indicando o Ponto Base do escalamento no extremo interior da espiral, e colocando o ponto exterior desta, que é o mesmo do do segmento, no 2º terço da divisão, em direcção ao centro, andando por isso 2 terços do segmento de recta.

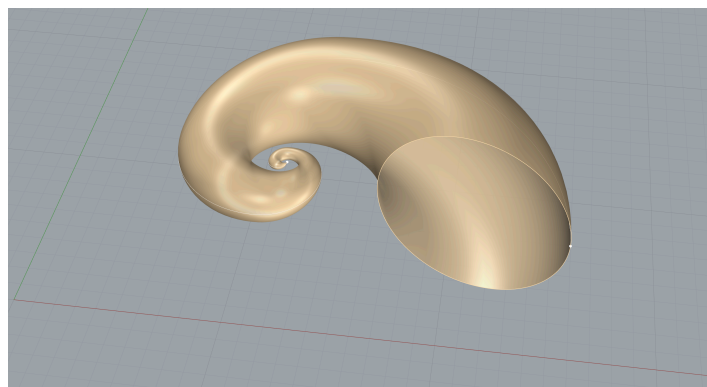
GERATRIZ

Agora, pode desenhar uma circunferência vertical com 2 pontos, definindo o diâmetro desta entre os dois pontos exteriores das duas espirais. Esta circunferência vertical é a geratriz da superfície e deve ficar no *layer* respectivo.

Para criar a superfície da Spirula usa-se a operação **Sweep2**, que usa duas directrizes para apoiar a geratriz no processo de geração de superfícies.

SUPERFÍCIE

Assim, faz-se **Sweep2** e escolhe-se 1º a directriz exterior, seguida da directriz interior e da geratriz, fazendo-se **Enter** para terminar a escolha dos elementos de geração da superfície. Deve aparecer uma linha com setas que indicam o sentido dos elementos e ainda um quadro de opções que não se altera, clicando-se novamente em **Enter** e criando a superfície final, que deve ficar como na imagem abaixo.



Imag 02 - Spirula

PLANORBIS



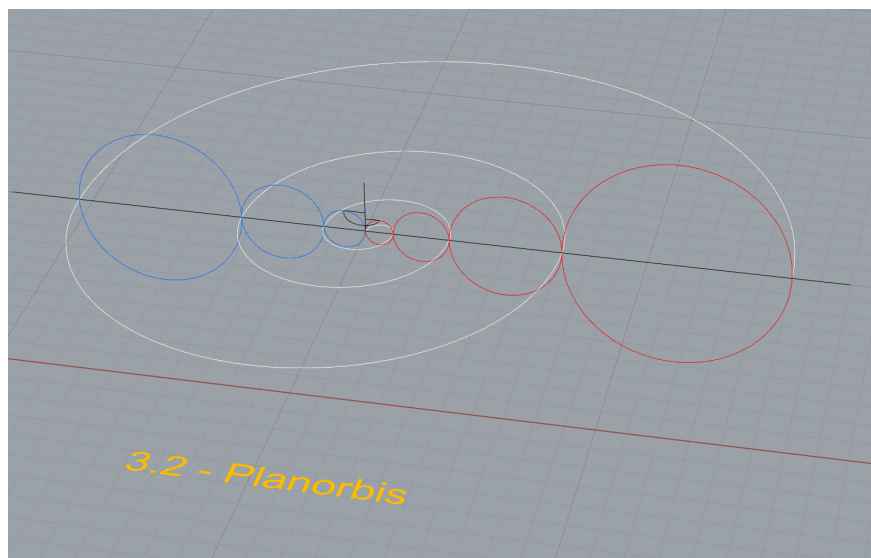
O Planorbis é a concha externa, o exoesqueleto de um pequeníssimo caracol que tem o mesmo nome, Planorbis Planorbis, e cuja dimensão é menor do que o tamanho de uma unha.

A concha tem o seu desenvolvimento segundo uma espiral plana, e desenvolve-se sempre tangente num ponto da concha existente, tal como se pode ver na fotografia acima.

O modelo desta concha será construído em segmentos de 180° pelo que será gerado por várias geratrizes circunferenciais que, em cada tramo, se deslocam apoiadas em duas directrizes semi-circunferenciais. Este processo será mais complicado no início mas depois é repetitivo.

CRIAÇÃO DA BASE E DO MODELO

Inicia-se o modelo com o desenho vertical das secções que vão ser as geratrizes da superfície, ao longo dos tramos de 180° . Assim, no ponto central do que vai ser a superfície desenha-se uma linha vertical de 10 unid. que será o eixo, e a seguir uma outra linha horizontal paralela a x, com cerca de 40 un. e que cortará toda a construção.



Imag 03 - Base de construção da superfície do Planorbis

Nesse ponto central faz-se uma circunferência vertical de diâmetro igual a 1. Esta circunferência será a primeira e mais pequena geratriz da concha. Nela, para começar será criada uma semi-esfera, com o comando **Sphere** e **Trim** para cortar a metade que não interessa. Logo a seguir à primeira circunferência, e encostada a ela num ponto (outro extremo do diâmetro) faz-se uma outra circunferência vertical de diâmetro 2, seguindo-se o procedimento com outra de $d=4$ e

outra de $d=8$, sempre, por exemplo, para o lado direito. Todas estas circunferências verticais, que se tocam nos seus diâmetros são secções da concha, para o lado direito do eixo e pressupõem que em cada volta que a concha completa ela cresce para o dobro da sua dimensão: de 1 para 2, de 2 para 4 e de 4 para 8.

À esquerda do eixo da superfície teremos as secções que correspondem a meia volta ou seja 180° . Assim, ao dar meia volta a concha crescerá apenas metade do crescimento da volta correspondente, pelo que de 1 para 2 terá $d=1,5$, de 2 para 4 terá $d=3$ e assim sucessivamente.

Entre estas secções, que são as geratrizes duas a duas dos tramos de 180° , há que construir os arcos de circunferência de 180° , directrizes de cada tramo da superfície. Assim, desenha-se uma circunferência horizontal, com dois pontos, definida pelo extremo esquerdo da geratriz de 6 e o extremo direito da geratriz de 8. Esta circunferência contém dentro dela todas as geratrizes anteriormente desenhadas, mas dela só vamos querer uma metade pelo que se pode cortar a metade de baixo com o comando **Trim** e a linha horizontal de 40 un..

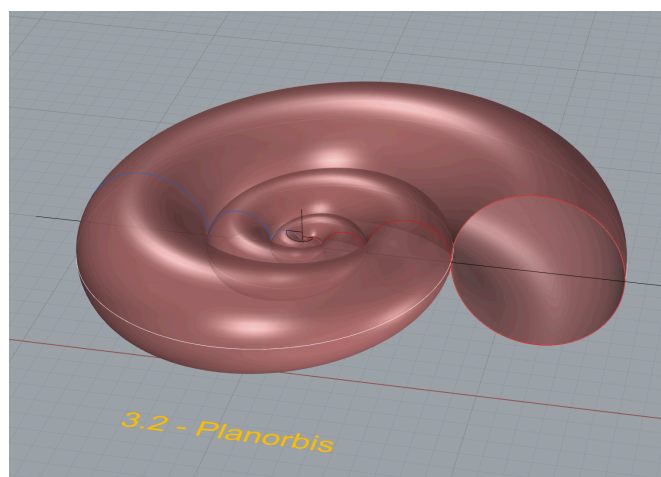
Repete-se o procedimento anterior desenhando uma outra circunferência horizontal que contenha todas as geratrizes menos a maior de todas a de 8 un.. Se da anterior cortámos a metade de baixo, desta agora vai cortar-se a metade de cima, de modo a começar uma espiral constituída por semi-circunferências cada vez menores, em direcção ao centro da concha. Quando se chegar ao último arco de circunferência da espiral, este corresponderá ao diâmetro da geratriz vertical de menor dimensão e por isso mesmo, à semi-esfera inicial da concha.

Construídas que estão, as geratrizes verticais e a espiral, constituída por segmentos de 180° , vai proceder-se à construção dos tramos da superfície da concha com o comando **Sweep2**.

SWEEP2

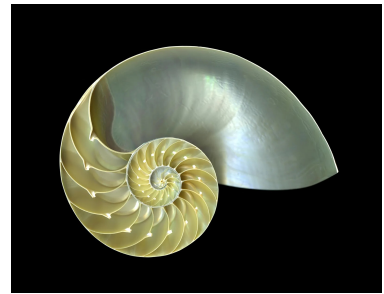
O comando **Sweep2** permite criar uma superfície qualquer desde que se tenha uma ou duas linhas geratrizes - **Shapes** - e sempre duas linhas directrizes - **Rails**.

Este processo pressupõe que a linha geratriz, a **Shape**, desliza apoiada nas duas linhas directrizes, as **Rails**, até atingir a geratriz do fim da forma. Assim, quando se digita **Sweep2**, o Rhino pede para seleccionar de seguida as duas geratrizes - **Rails** - e as duas geratrizes - **Shapes** - e só depois dar **Enter** para finalizar a superfície.



Imag 04 - Planorbis

NAUTILUS



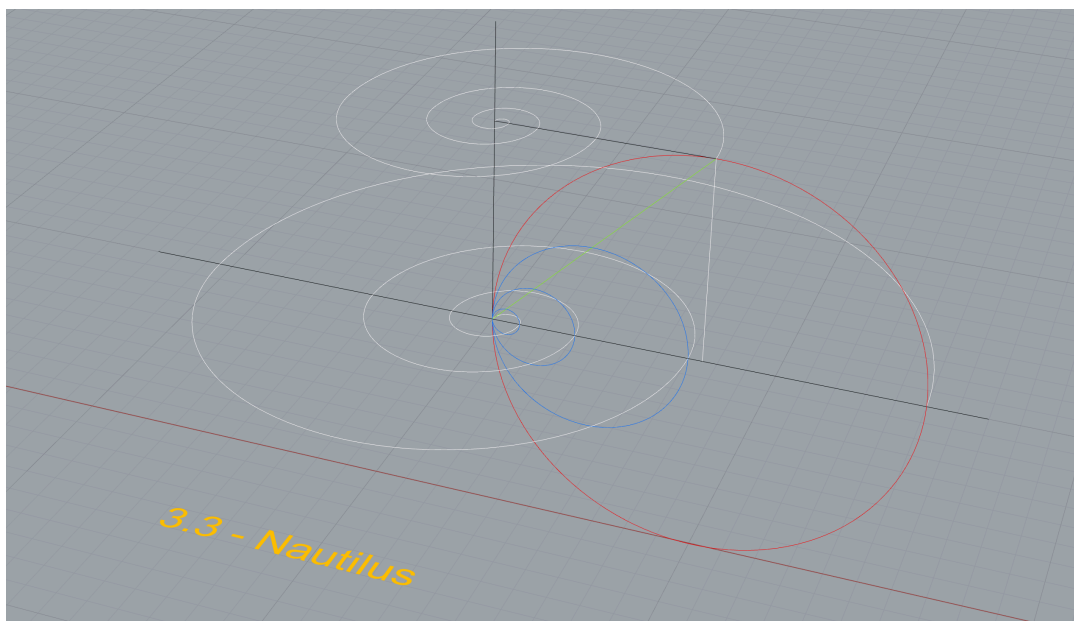
A concha do Nautilus é um exoesqueleto, também de crescimento em espiral plana, em que concha cresce sobre ela própria, pelo que as secções pelo eixo são todas tangentes no mesmo ponto do eixo, centro da espiral.

CRIAÇÃO DA BASE E DO MODELO

Este modelo utiliza uma espiral idêntica à do modelo anterior e também será criado com duas directrizes pelo que o comando final será o **Sweep2**.

Assim, a construção do modelo desta superfície pode trazer a espiral de arcos de 180° da construção anterior, a do Planorbis, bem como os dois eixos auxiliares, o vertical e o horizontal. Os arcos da espiral na construção anterior eram independentes entre si, mas nesta construção deverão ser unidos numa linha única, através do comando **Join**, pois em vez de criar tramo a tramo será realizado um único movimento de geração.

Após copiar a espiral e os eixos do modelo do Planorbis, desenha-se verticalmente a circunferência da secção maior, que será a geratriz deste modelo, unindo-se os dois extremos da espiral, tal como na figura abaixo se encontra a circunferência vermelha. Deste modo, a directriz toca no quadrante direito da geratriz e esta poderá rodar ao longo de toda a espiral.



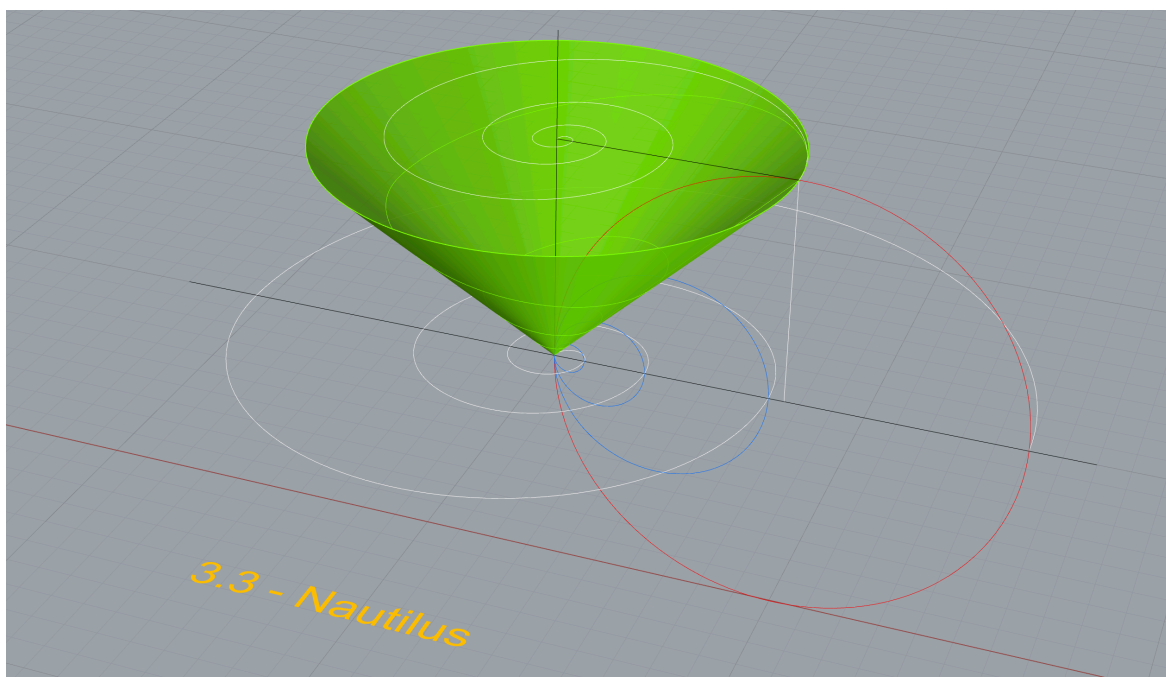
Imag 05 - Base de construção da superfície do Nautilus

Tangentes ao eixo e à geratriz podem desenhar-se, também verticalmente, as secções menores da concha do Nautilus, pelos pontos de intersecção da espiral com o eixo horizontal.

Agora determina-se no eixo vertical a altura do quadrante superior da geratriz e copia-se para esse ponto a espiral da directriz, escalando-se esta, tal como na imagem acima, para que o seu extremo exterior se situe no quadrante superior da circunferência vermelha. Deste modo teremos duas directrizes a apoiar a geratriz.

No entanto verifica-se que esta segunda directriz não toca nas secções a azul que serão as circunferências por onde tem de passar, obrigatoriamente, a geratriz ao longo do seu movimento de geração e de cada vez que dá uma volta, pelo que a segunda espiral ainda não serve.

Se se criar uma linha oblíqua desde o extremo exterior da 2ª espiral até ao centro da 1ª, verificamos que esta linha passa em todos os quadrantes superiores de todas as circunferências verticais, pelo que, para obrigar a que a espiral mais pequena toque em todos esses pontos ela deverá ser projectada num cone de revolução cuja geratriz será a linha oblíqua a verde e o eixo será o eixo vertical da construção base. Cria-se o cone com o comando **Revolve**, seleccionando a geratriz verde e os dois pontos do eixo de revolução, entre os dois centros das duas espirais (altura do cone).



Imag 06 - Cone onde será projectada a espiral mais pequena, 2ª directriz

Neste ponto do exercício utiliza-se o comando **Project** e selecciona-se a espiral, saindo-se da selecção com **Enter**, e de seguida selecciona-se o cone e dá-se novo **Enter**. A espiral fica agora

uma hélice de desenvolvimento vertical, a que o Rhino chama Espiral Vertical e que é, finalmente, a 2ª directriz da superfície da concha do Nautilus.

GERAÇÃO DA SUPERFÍCIE - 1

Faz-se **Sweep2** e seleccionam-se pela ordem a primeira directriz, a 2ª directriz e a geratriz, dando-se **Enter** no final desta operação.

Partindo do princípio de que o comando **Sweep2** funcionou correctamente e sem produzir erros na superfície gerada, o exercício termina aqui.

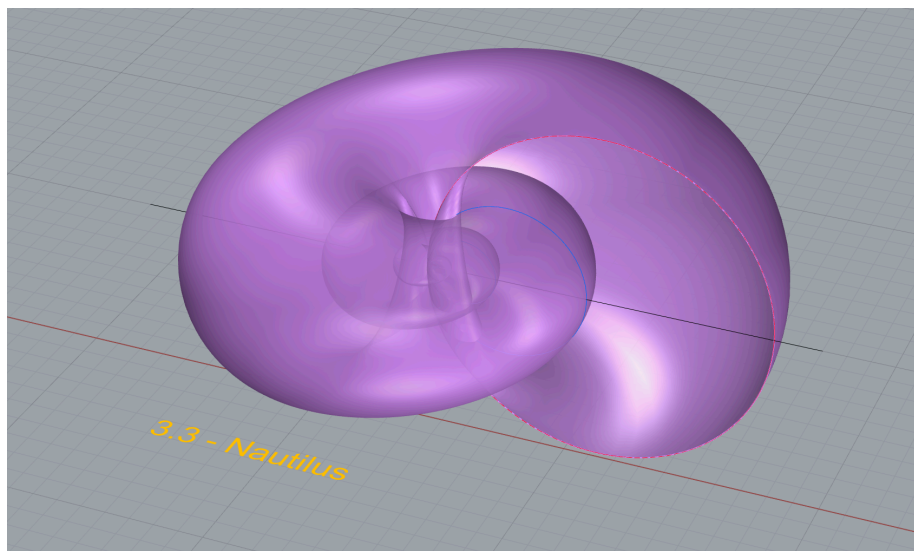
No entanto, erros de cálculo do próprio Rhino podem produzir erros evidentes na forma final. Se assim for, procede-se do seguinte modo:

GERAÇÃO DA SUPERFÍCIE - 2

Em vez de trabalhar com uma geratriz única, divide-se a circunferência em dois arcos de circunferência através de uma linha vertical que une os quadrantes superior e inferior desta curva, usando para o efeito o comando **Split**.

Ao fazer isto, vamos realizar dois movimentos diferentes de geração, **Sweep2**, um para cada semi-circunferência. Como as duas geratrizes estão separadas em cima e em baixo, a espiral plana já não serve de directriz e por isso vai ter de se criar uma cópia espelhada, **Mirror** com 3 pontos, da espiral cónica para servir de 2ª directriz e tocar nos extremos inferiores dos dois arcos de circunferência, geratrizes da superfície a criar.

A superfície cria-se ao fazer o **Sweep2** para os dois arcos de circunferência, usando as duas hélices, ou espirais cónicas, como directrizes.



Imag 07 - Superfície da concha do Nautilus

CARACOL



A concha do Caracol é um exoesqueleto de crescimento em espiral cônica, em que concha também cresce sobre ela própria, pelo que a sua construção tem semelhanças com a construção da concha do Nautilus.

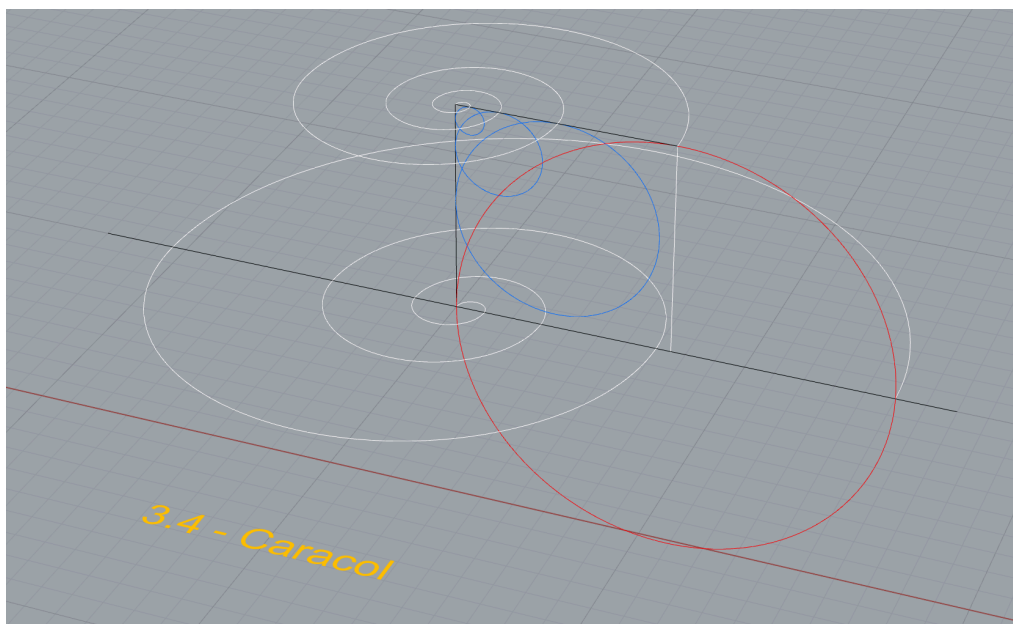
CRIAÇÃO DA BASE E DO MODELO

Deste modo, pode copiar-se a base da construção do exercício anterior para este exercício com a cópia das duas espirais planas planas, os dois eixos auxiliares e todas as secções, geratriz vermelha e geratrizes de passagem a azul, tal como na imagem abaixo.

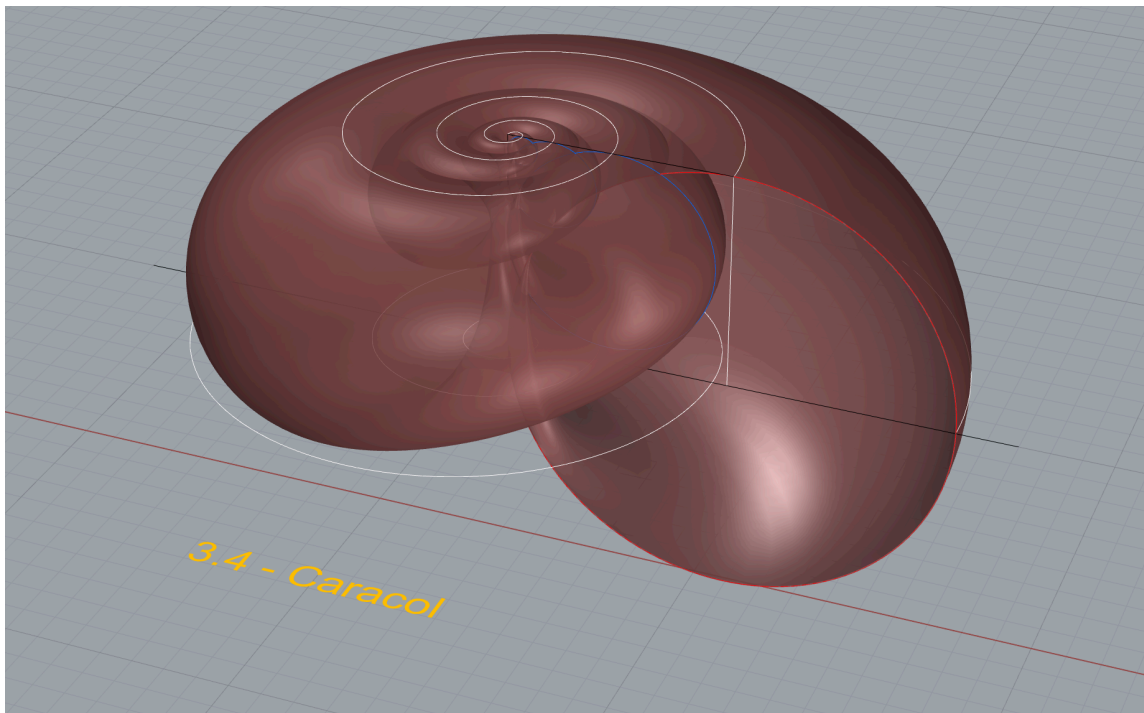
A concha do caracol desenvolve-se agora sempre tangente à espiral plana superior, passando esta a ser a 1ª directriz da superfície.

A 2ª directriz é o eixo vertical de base, tangente ao qual são todas as secções circulares que se tirem.

Assim, com o comando **Sweep2**, selecciona-se a 1ª directriz, espiral menor, a 2ª directriz, eixo vertical, e a geratriz vermelha, podendo dar-se, no final, o ponto no centro da espiral 2ª directriz. Com o **Enter** final, criar-se-á a superfície da concha do Caracol.



Imag 08 - Base de construção da superfície do Caracol



Imag 09 - Concha do Caracol

CASO DE ERRO DE CÁLCULO NA CONCHA

Deste modo, deixa-se a geratriz vermelha tangente ao eixo vertical e com o quadrante superior no extremo da espiral menor e movem-se as secções menores, a azul, para serem tangentes, agora, a esta espiral e à linha horizontal superior que a posiciona, tal como na imagem 08 da página anterior.

Verificamos que estas secções azuis tocam sempre a espiral pequena à medida que a concha dá cada volta, no entanto agora é a espiral maior que não consegue acompanhar o movimento de geração da superfície; verifique-se que as secções azuis não tocam nesta espiral maior.

O problema inverteu-se, em relação ao exercício anterior. Agora é necessário encontrar um cone para projectar a espiral maior de modo a que a espiral projectada acompanhe todas as secções azuis, e se o fizer acompanhará a superfície da concha no processo de geração.

O cone auxiliar onde se vai projectar a espiral maior tem a sua geratriz a nascer no quadrante direito da circunferência vermelha mas é agora ascendente até ao centro da espiral superior. Gera-se este cone, com o comando **Revolve**, e projecta-se nele a espiral maior, encontrando assim a 2ª directriz da superfície da concha.

Faz-se então um **Sweep2** dando como 1ª directriz, a espiral plana superior, como 2ª directriz, a espiral cónica, e a geratriz vermelha, fechando a acção com o **Enter**.

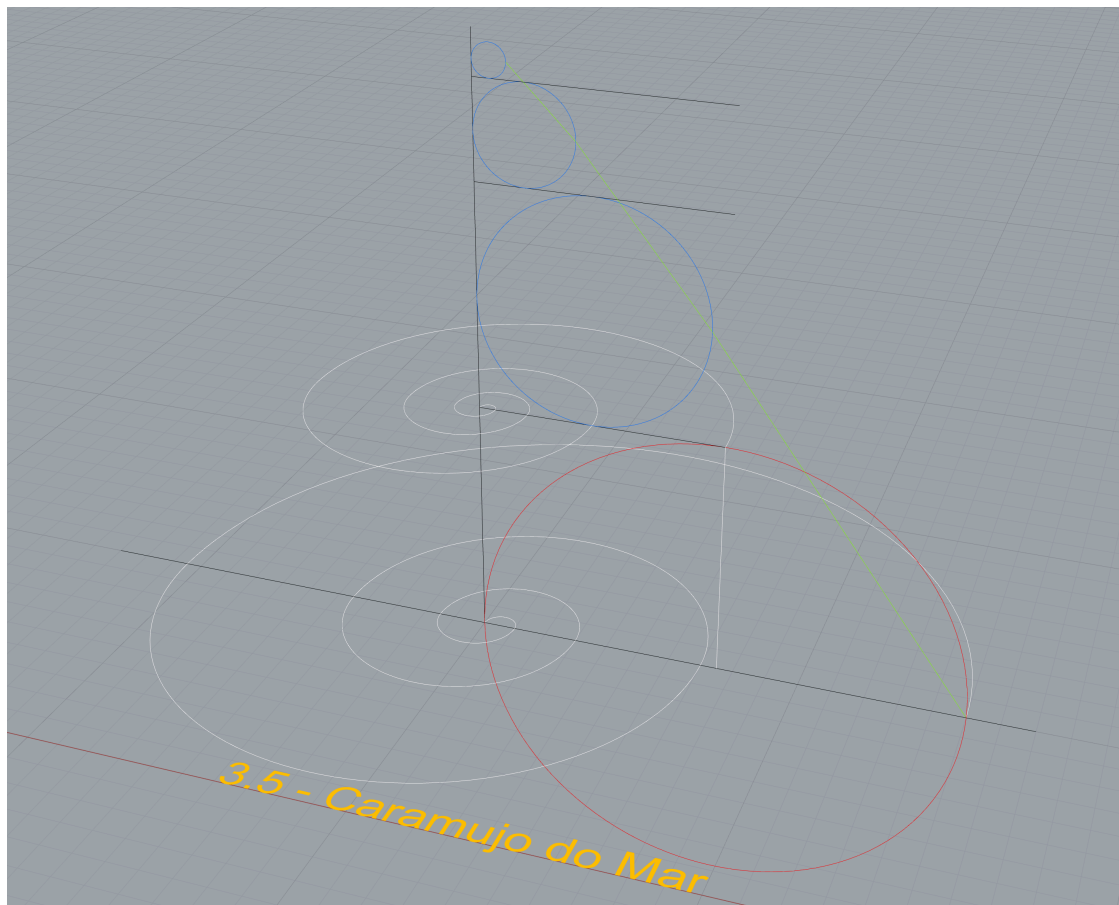
CARAMUJO DO MAR



A concha do Caramujo do Mar tem semelhanças, na construção da sua superfície, com a concha do Caracol, mas difere no desenho da espiral cónica que não se encontra num cone de geratriz recta mas sim numa superfície cónica de geratriz ligeiramente curva.

CRIAÇÃO DA BASE E DO MODELO

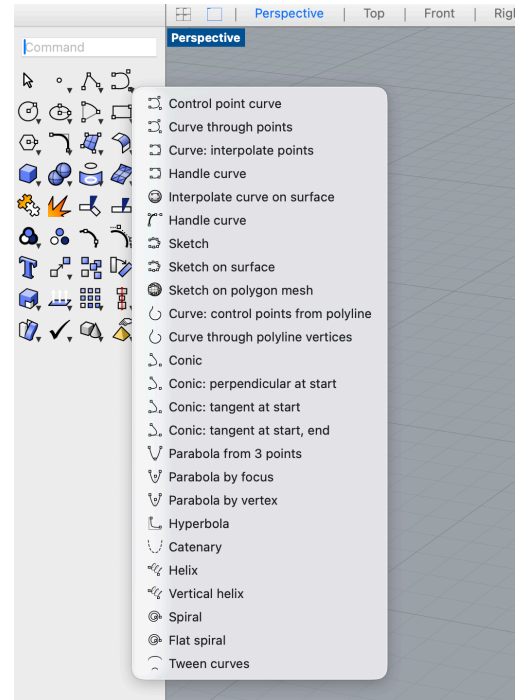
Pode usar-se como base de trabalho, toda a base de construção da superfície da concha do Caracol, mas coloca-se agora cada uma das secções verticais azuis assente na linha horizontal que passa no quadrante superior de cada secção maior, que fica abaixo, tal como na **IMAG 10**.



Imag 10 - Base de construção da superfície do Caramujo do Mar

Ao desenhar uma linha que una todos os quadrantes direitos das diferentes secções, para criar a geratriz de uma superfície cónica onde projectar a espiral plana, verifica-se que esta linha é constituída por segmentos diferentes com diferentes inclinações, pelo que esta geratriz deverá ser curva.

Assim vamos criar essa geratriz, a passar pelos quadrantes das secções, com o comando **Curve: Interpolate Points** que se encontra no 4º item da linha de cima do menú standard, como na figura abaixo.



Imag 11 - Menú Standard, Sub-Menú Curves

Curve: Interpolate Points

O comando **Curve: Interpolate Points**, cria uma curva calculada entre os pontos indicados, que se manterão fixos no desenho.

Estes pontos indicados nesta curva serão os quadrantes das secções verticais pela superfície e que se encontram representadas a vermelho e azul. Esta geratriz terminará na ultima secção pelo que deverá ser estendida , comando **Extend**, até ao eixo e deverá cortar aí o que sobrar de eixo acima do vértice do cone.

Com esta geratriz curva cria-se uma superfície cónica de revolução, comando **Revolve**, onde se vai projectar a espiral plana que passa nos quadrantes escolhidos, e que será a 1ª directriz, sendo que a 2ª directriz é o eixo vertical até ao vértice do cone.

Cria-se a superfície da concha com o comando Sweep2, dando as duas directrizes, a geratriz circular vermelha e o ponto, extremo superior da hélice cónica.

