

Para compreender o movimento que deve fazer a nossa ferramenta, por conveniência didática iremos considerá-la plana.

A figura (1) representa um plano inclinado genérico (A), cuja vista B está representada na figura (2), da qual é retirada uma ampliação (C) na Figura (3). É claro que para a obtenção de um plano inclinado é preciso usinar um bloco com certos movimentos em três eixos (um movimento no plano XY, outro no eixo Z). Posicionamos a fresa (borda) no ponto 1, executamos o primeiro passe, voltamos, em seguida, vamos repetindo o mesmo movimento para cada ponto do plano inclinado.

Problema: como determinar os pontos 1, 2, 3... até completar o plano?

A solução baseia-se na trigonometria (mas não só). O conceito de tangente nos dá uma fórmula matemática, mas também uma solução prática, bem tangível.

Por definição (fig 4) dado um ângulo (a), a tangente deste ângulo, $TAN(a)$, é a relação entre o lado oposto ao ângulo (B) e o lado adjacente (A): $TAN(a) = B/A$.

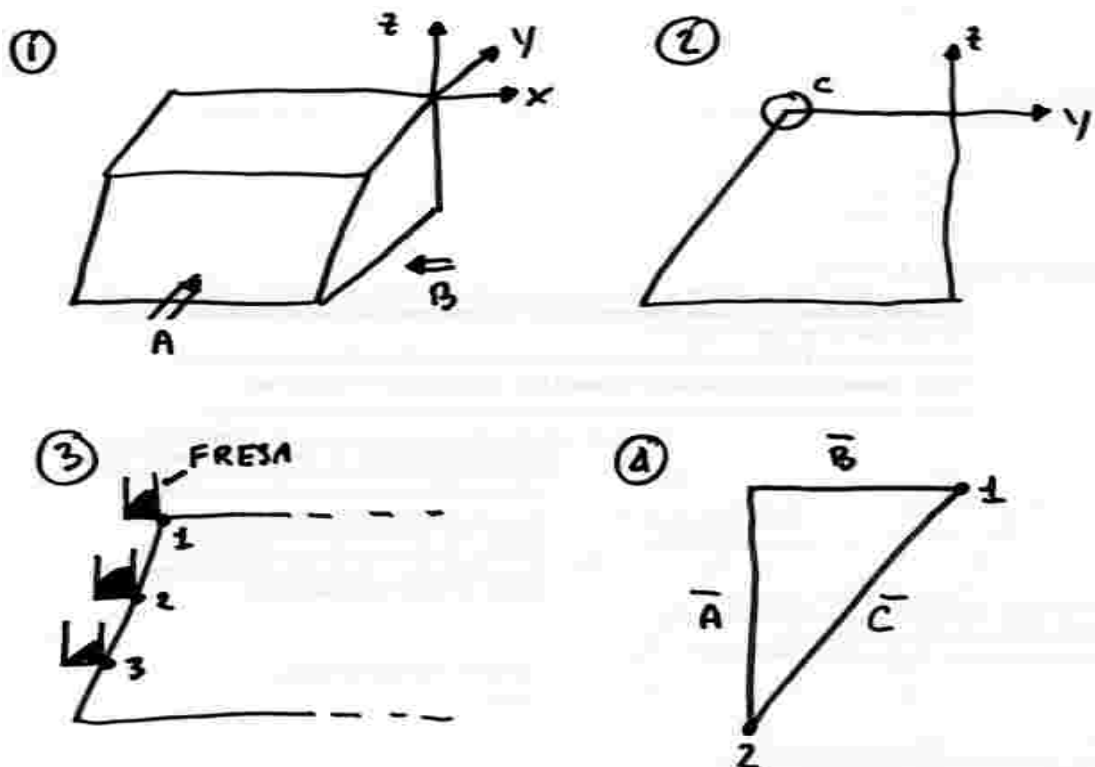
Mas o que isso quer dizer? A divisão, é uma relação entre duas variáveis, em seguida, fisicamente expressa, a relação entre os catetos (que por nós representam o eixo Z(A) e o eixo Y(B)). Dizer que $TAN(a)=1$, é expressar o fato de que $A=B$, porque só podemos ter 1 quando duas dimensões são iguais. Dizer que $TAN(a)=0,5$ ou 10 significa que a relação entre A e B representa, no primeiro caso A é o dobro de B, no segundo caso, de que B é 10 vezes A. O que eu quero dizer é que a proporção expressa uma relação fisicamente e geometricamente representável. Agora perguntam-se: o comprimento de A e B dependem do que?

É claro o ângulo! (suposto ter $C=1$, o ângulo (a) determina os comprimentos de A e B). Com $a=0^\circ$ ou 90° , o triângulo desaparece reduzindo-se ao lado A ou B.

Qualquer outro ângulo irá descrever um triângulo que tem um valor de A e B dependente de (a). Quanto menor for o ângulo (a), maior será o cateto A; quanto maior for o ângulo (a) menor será o cateto A e vice-versa para B. A relação entre A e B é a tangente (como anteriormente descrito), e as fórmulas de seno e cosseno: $TAN(a)=B/A$ $SIN(a)=B/C$ $COS(a)=A/C$

Pergunta: como determinar esses pontos?

Resposta: com a trigonometria.



Para ir do ponto 1 para o ponto 2 temos que mudar para um novo valor de Y e Z. Agora suponha ter definido o valor de Z (remoção), temos de determinar o movimento em Y aplicando as formulas conhecidas:

$$\text{TAN}(a) = B/A \quad \rightarrow \quad B = A * \text{TAN}(a)$$

Note-se que sendo os deslocamentos em Z (A) constantes, devemos calcular o valor de B, apenas a primeira vez (estamos a tratar planos, não superfícies variáveis, em seguida, a variação angular é constante).

O primeiro problema é resolvido: decidido realizar um movimento específico em Z, facilmente calcularemos o movimento em Y.

Concretamente, agiremos assim:

- Posicionamento ao lado da peça
- Primeira passagem ao nível 0 (borda da fresa no ponto máximo)
- Voltar para a posição inicial
- Decida em Z, deslocamento relativo em Y (Z foi impostada, Y vai ser calculada)
- Outras passagens: continuamos repetindo o caminho até chegar ao fundo do plano inclinado.

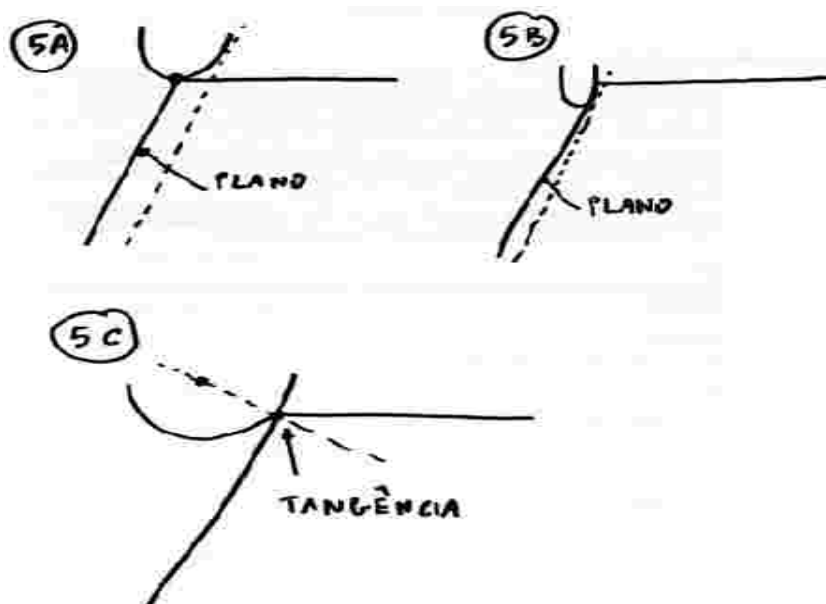
Bem, não foi difícil!

Abordar o problema com o uso de uma fresa plana é útil para mostrar o conceito geral que não muda com o tipo de ferramenta que você escolhe: os movimentos são calculados dependendo da TAN.

Na realidade, para operações de acabamento usa-se ferramentas tóricas ou esféricas, pois a utilização de fresas planas levaria quase certamente à ruptura do ângulo da ponta (o valor do ângulo, muito pequeno, não é adequado para o contacto tangencial).

Utilizar ferramentas esféricas ou tóricas apresenta um problema adicional: determinar o valor certo de Z ou se preferir o raio real de usinagem.

(Uma ferramenta tóricas pode ser pensada como uma ferramenta plana equipada com raio de ponta esférico, nosso raciocínio irá considerar uma ferramenta esférica. As operações de usinagem relativas aos planos inclinados são varias, então descreveremos o conceito geral, a ser aplicado sempre com as modificações necessárias inerentes à condição de trabalho).



E' possível usar o ponto mais baixo de uma ferramenta esférica para executar o nosso trabalho? (Figura 5A) Não!

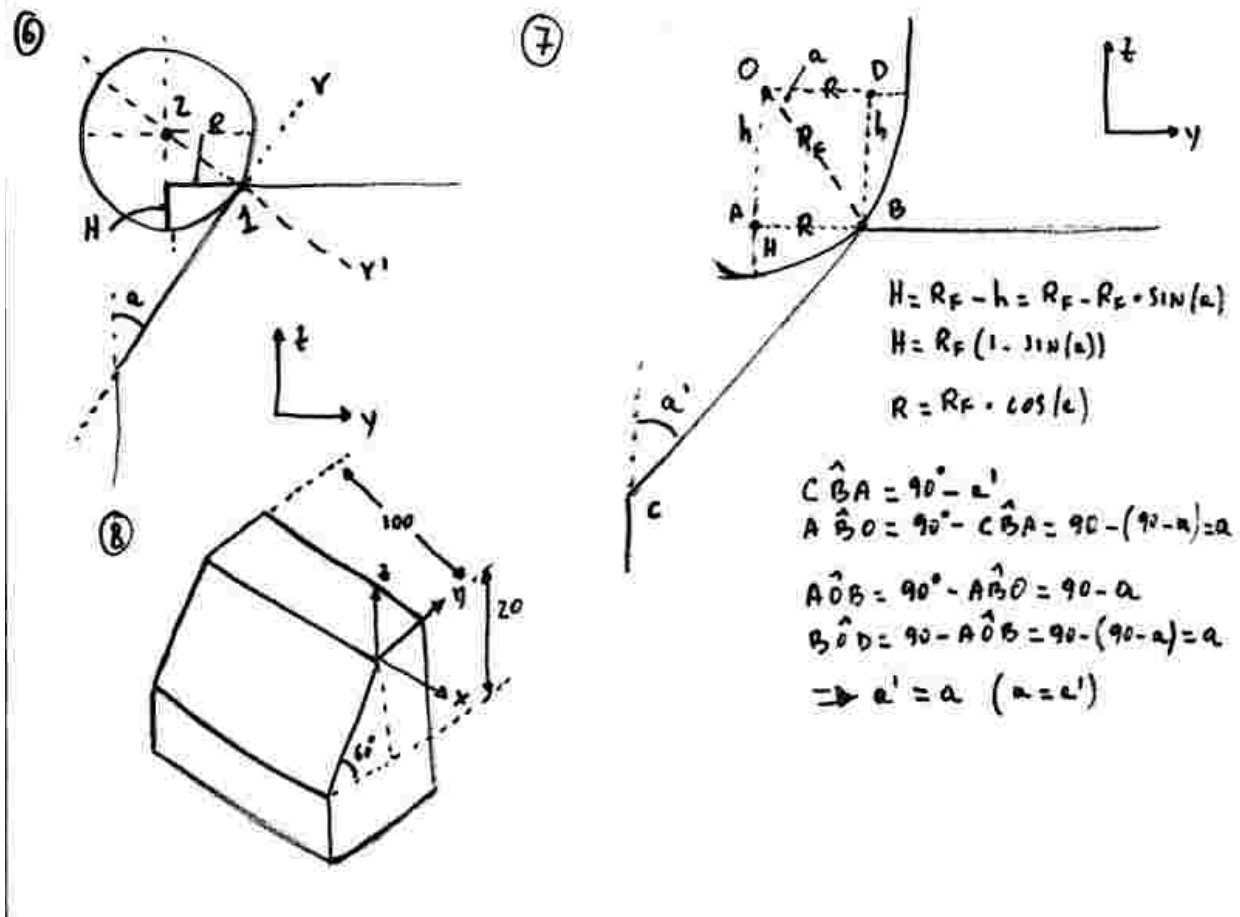
Não podemos executar movimentos incrementais pois a fresa cortará o plano inclinado no ponto errado.

E 'possível utilizar o bordo exterior da ferramenta? (Fig. 5B). Não!

Estamos na mesma condição de trabalho.

Existe apenas um ponto (o de tangência) que assegura o contacto entre a ferramenta e a peça! (Fig. 5C).

Como você o determina?



Desenhar uma linha reta (r') perpendicular ao plano inclinado (r) que passa pelo ponto 1 (r'). Nesta linha (r') desenhar o centro esférico da ferramenta (2) e, em seguida, a circunferência (nossa ferramenta ideal). Como esperado, o ponto 1 é o contacto tangencial entre a ferramenta e o plano inclinado. Partindo desta situação e aplicando os conceitos discutidos acima (deslocamentos em Z e Y), podemos ter a certeza de sempre manter o contato com o plano; não dentro, não de fora, mas sempre tangente. A solução do problema é, portanto, determinar o valor de R (raio de usinagem real, ou distancia em Y) e H, a profundidade. Fazendo o zoom do interessado partido (fig. 7), podemos dizer que R é a projeção de OB (raio de corte, R_F) no eixo Y (o raio real), h é também a projeção de OA, então o valor de Z, profundidade. H será a subtração entre R_F e h, o que determina a profundidade real. ($H=R_F-h$). Você pode optar por trabalhar com H ou h dependendo do zero ferramenta.

Agora, os valores de R e H (figura 6) são dedutíveis, como visto anteriormente com a trigonometria, R e H representam nosso seno e cosseno (triângulo AOB ou BOD). Procedemos, então!

$$\sin(\alpha) = h/R_F \quad R_F = h/\sin(\alpha) \quad \cos(\alpha) = R/R_F \quad R = R_F \cdot \cos(\alpha).$$

R_F é o raio de corte, mas sabemos quanto vale o ângulo (α)? O único ângulo que

sabemos é (a'), o que indica a inclinação do nosso plano referido ao eixo Z. Considere o ângulo CBO (ângulo formado pelas linhas de CB e BO) é de 90°, dado que (r) e (r') são ortogonais. O ângulo CBA será de 90°-a, e o ângulo ABO=90-CBA=90-(90-a)=90-90+a=a.

Usamos o mesmo raciocínio para o retângulo BAOD. O ângulo AOB=90-ABO=90-a, enquanto que o ângulo BOD=90-AOB=90-(90-a)=90-90+a=a.

Determinou-se o ângulo BOD (ângulo formado entre o raio de corte no ponto tangente e o eixo Y) igual ao ângulo do plano inclinado.

A demonstração foi realizada para esclarecer o valor de (a), (claro, já sabíamos): o ângulo de inclinação (em relação a Z) corresponde ao ângulo que o raio da fresa forma com o ponto tangente, em referência ao eixo Y. É claro que, considerando os ângulos complementares, o plano referido ao eixo Y, ou raio ferramenta em relação a Z, o raciocínio não muda!

Vamos recapitular: $H=R_f-R_f*\sin(a)$ $R=R_f*\cos(a)$ ($a=a'$)

Temos tudo para determinar o raio de usinagem real e o valor inicial de Z.

Por que é importante determinar esses valores?

Como vimos anteriormente, não é possível usar qualquer valor: você vai ficar longe do plano, ou cortar demais! O ponto de tangência é único e você precisa determiná-lo!

Os dois principais problemas relacionados com o processamento de um plano inclinado foram abordados, a teoria pode demorar algum tempo para ser compreendida (talvez não), mas o que é importante é que determinamos as relações que ligam a ferramenta com o plano inclinado.

Repetir o raciocínio para cada plano.... seria melhor matar-se, mas viu que determinamos umas relações aplicamo-las!

#100=Rf=R*cos(a)	raio real, ângulo (a) referido à Z
#102=H=Rf-Rf*SIN(a)	valor de profundidade inicial
#104=Y=Z*TAN(a)	deslocamento em Y
#106=Z	incremento Z escolhido por nós

Realizamos uma operação de acabamento (fig 8) usando uma fresa esférica de raio 2.

(dados definidos pelo operador)

#108=30	ângulo
#110=2	raio ferramenta
#106=0.2	profundidade programada

Estas são as únicas variáveis a serem definidas num programa paramétrico genérico (não estamos falando de macro).

Então calculamos os valores necessários para programar

#100=#110*COS[#108]	(raio real)
#102=[#110-[#110*SIN[#108]]]	(primeira profundidade)
#104=#106*TAN[#108]	(mudança em Y)
#112=20/0.2=100	(número de passagens mono direcionais)

Você pode decidir se quer trabalhar em compensação ou não, o valor de #100 vai indicar o deslocamento inicial de Y.

Agora por-se na proximidade da peça, utilizando as fórmulas encontradas para realizar o processamento. Você pode decidir o rumo do movimento, sempre de acordo ou não, a escolha é sua.

T1M6 (fresa esférica D=4)

G90G0G54X5Y[-#100+#104]S1000M3

G43H1Z10M8

G01F1000Z[-#102+#106]

(o posicionamento Y é realizado considerando o deslocamento do ciclo repetitivo)

(a posição de Z é feita considerando o movimento do ciclo repetitivo)

Aqui começa o loop, repetido de acordo com o valor de Z plano inclinado e a profundidade de corte e o modo de trabalho (mono direcional ou bidirecional). Optamos para usinar em ambos os sentidos de modo que o valor de #112 será reduzido para metade (50). Um loop é um ciclo repetitivo que deve terminar em condições rigorosas. No exemplo utilizaremos a #112 como contator, atingindo o número de iterações desejados (isto é, #112=0, o loop vai acabar).

```
WHILE[#112NE0]D01      (WHILE, continua até # 112 é 0)
G91Y-[#104]Z-[#106]    (executar os movimentos em Z e Y calculados)
G90X-105                (ir na direção oposta)
G91Y-[#104]Z-[#106]    (executar os movimentos em Z e Y calculados)
G90X5                  (de volta para o ponto de partida X)
#112=#112-1            (decremento contator e repetição)
END1                    (fim do ciclo)
```

Quando o loop acabar afastar-se da peça e admirar o que aconteceu!

Como mencionado anteriormente esta é uma discussão geral sobre os planos inclinados. Se você deve executar uma operação de desbaste é preferível escolher ferramentas adequadas, não fresas esféricas; é preciso remover a maior parte de material, escolhendo valores apropriados de Z e Y. Remover 0,2 milímetros neste caso, não é lógico, porque não estamos acabando o plano. 1, 2, ... 3 milímetros, escolher um valor adequado para remover o material rapidamente.

Se queremos usinar um forma a V, temos outro problema a considerar quer dizer que estamos posicionados dentro da peça e, em seguida, selecionar a ferramenta só pode depender das grandezas envolvidas, as medidas da peça. O fundo vai determinar o raio de corte que usaremos para o acabamento, enquanto sua largura será uma indicação para ferramentas de desbaste. Às vezes é necessário o uso de várias ferramentas (desbaste possível) às vezes não; no entanto, o conceito é sempre o mesmo

A lógica descrita é um típico raciocínio para a construção de planos inclinados, lembrem-se de ir além do âmbito e aplicar essa mesma lógica para as variedades de situações.

Se quisermos usar fresas tóricas?

A utilização de fresas tóricas não muda o raciocínio acima. O truque consiste em considerar a parte plana da ferramenta que deve ser adicionada ao valor do raio real calculado. Um fresa tórica D=10 R2 possui uma parte plana de raio 3 (D=6), que deve ser adicionado ao valor de R(#100). Decida se pretende utilizar uma variável extra ou calcular automaticamente o raio real é uma decisão inteiramente de você.

Um último comentário! Você pode encontrar-se em situações diferentes daquelas descritas, seja pelo ângulo definido, seja por escolha pessoal para não escolher a mudança de Z, mas Y, o plano poderia ser parte de uma peça mais complexa em qualquer situação em que está o princípio é sempre válido, adaptá-lo a situações específicas e você vai encontrar nenhum problema!

Bem! O que precisamos para definir a usinagem de um plano inclinado?

- O ângulo de inclinação - O raio da ferramenta (esférica ou tóricas)
- A profundidade de corte.

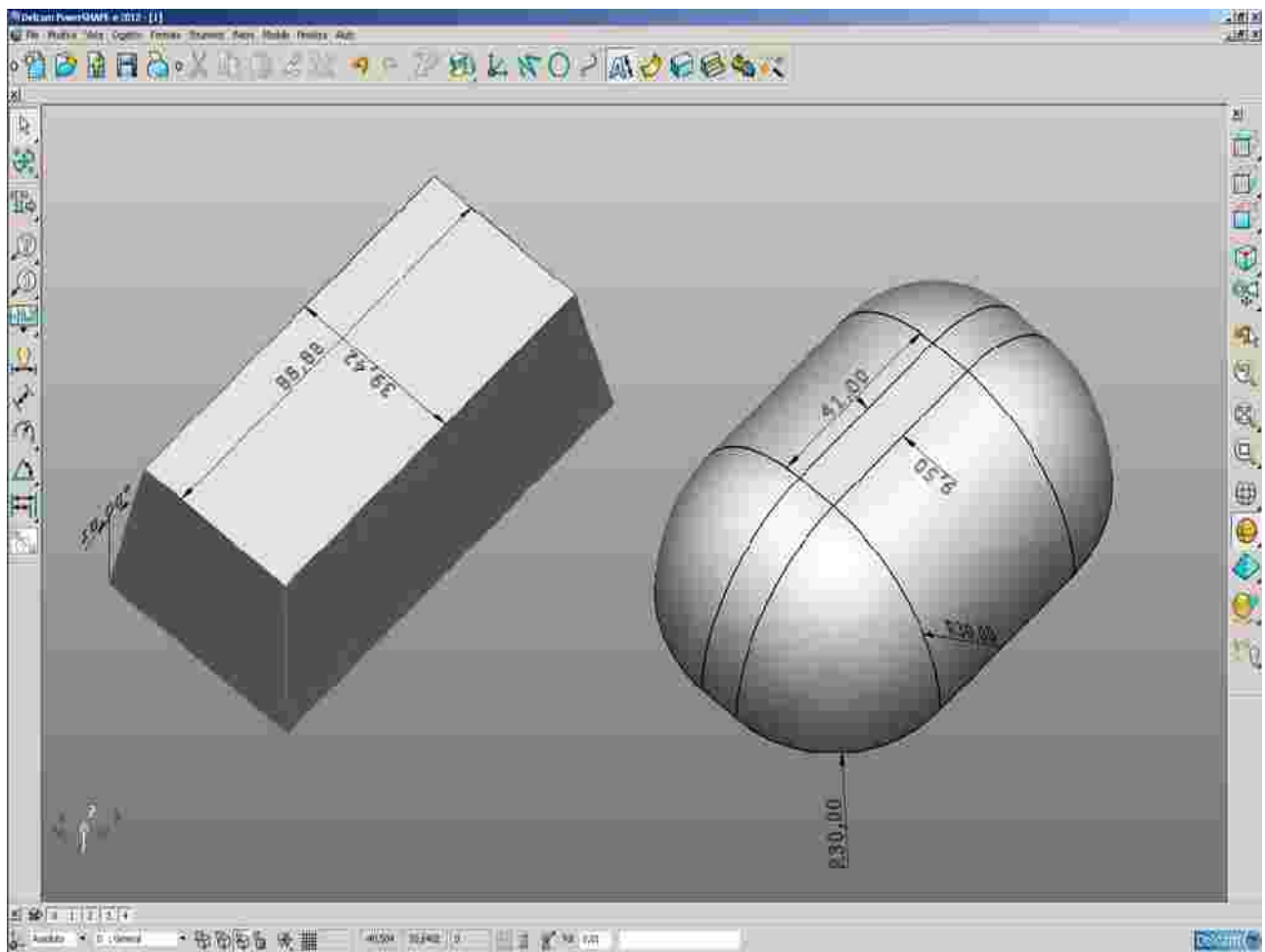
E tudo aqui!

Você lembra o que eu disse no início?

Para fazer um programa "complexo" é bom começar do básico e, em seguida, abordar figuras mais complexas. Agora que sabemos como fazer um plano inclinado você pode escolher diferentes figuras. Aqui é um exercício de aplicação!

Realizar o chanfro e junção circular de figura.

Para realizar uma junção circular deve-se aplicar o mesmo princípio usando a fórmula apropriada (não uma linha, mas uma circunferência).



Não vai ser difícil ... deixe-me saber.
Até a próxima!