

# Radar de abertura sintética

---

## **SAR**

Synthetic Aperture Radar

---

Manuel João Bacelar Coimbra

# Radar de abertura sintética

---

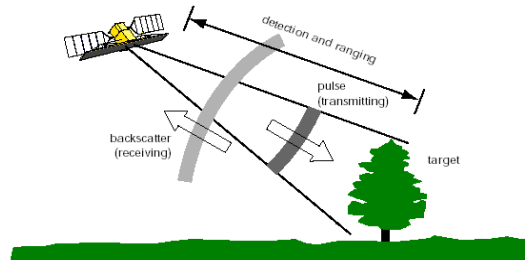
- Como funcionam os radares de imagem
  - SAR (Synthetic Aperture Radar) vs RAR (Real Aperture Radar)
  - Imagens SAR
- 

Uma imagem de radar é o resultado de uma interação entre a energia do sinal do radar e o objecto (alvo) na superfície da terra. A sua aparência depende quer da forma quer da textura do alvo. Existem muitas diferenças entre a forma como é obtida uma imagem de radar e o que nela está representado, e entre uma imagem de um qualquer dispositivo óptico. Para interpretar uma imagem deste género é necessário compreender a configuração do próprio radar, a energia associada com o radar, a maneira como essa energia interage com a superfície da terra e a maneira como esta interação é representada como uma imagem.

# Radar de imagem

---

- Radares são sensores activos que transmitem micro-ondas e depois registam os ecos recebidos.



Os radares em geral possuem um sensor numa plataforma (avião ou satélite) que viajam numa dada rota transmitindo micro-ondas em direcção à terra. Alguma desta energia transmitida é reflectida novamente para o sensor onde é recebida como um eco do sinal original.

Os radares providenciam a sua própria fonte de energia para transmissão, estes são conhecidos como um sistema activo, pode obter imagens de dia e de noite pois não depende da energia do sol para iluminar o alvo. Adicionalmente, a energia transmitida consegue penetrar nas nuvens, fumo e dependendo da frequência usada pelo radar a energia transmitida pode ser mais ou menos atenuada pela chuva.

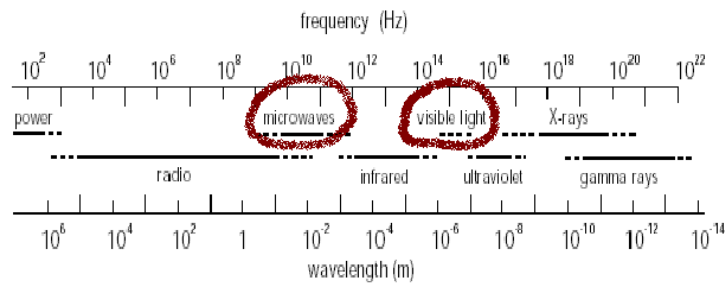
Os radares foram desenvolvidos segundo quatro princípios tecnológicos:

- i) A possibilidade de uma antena transmitir um curto impulso electromagnético numa direcção precisa.
- ii) A possibilidade de detectar também com grande precisão o eco fortemente atenuado proveniente do alvo.
- iii) A capacidade de medir o tempo entre a transmissão e a recepção e como tal a distancia entre o alvo e o sensor.
- iv) A capacidade de detectar vários alvos numa grande área com um feixe direccionado.

Um quinto princípio, a análise espectral de sinais de fase precisamente controlada, permite progressos fantásticos na aplicação dos quatro princípios físicos.

# Radar de imagem

---



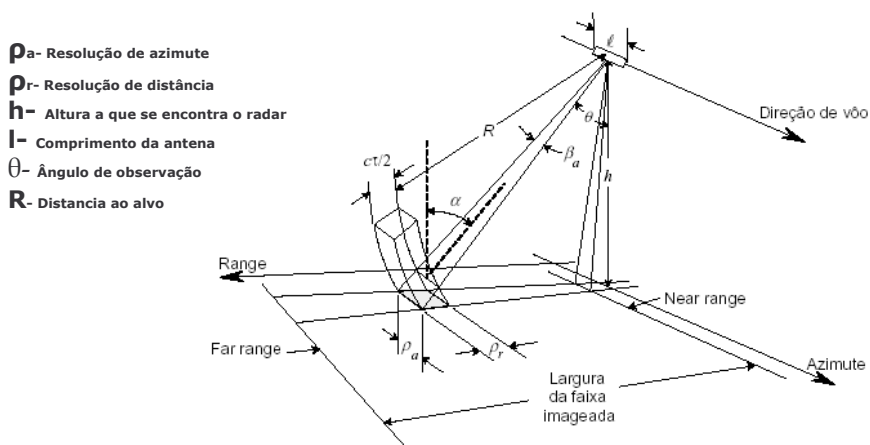
(?!?!?!?!?)

---

é o mesmo que estar a ver um som

O espectro electromagnético contém toda a gama de comprimentos de onda ou então frequências. Os sensores ópticos tradicionais detectam no espectro electromagnético a radiação de luz visível e infravermelhos que foram reflectidas num alvo. Os sensores de radar usam frequências mais baixas (maior comprimento de onda), frequências essas que se situam na região das micro-ondas (0.3GHz até 300GHz). As micro-ondas e as ondas ópticas são sensíveis a diferentes características da superfície do alvo. As frequências ópticas interagem com os materiais a um nível molecular e como tal tem uma resposta consoante as propriedades químicas do material de que é constituído o alvo. As frequências de radar interagem com o mesmo alvo a um nível estrutural macroscópico e respondem consoante as propriedades eléctricas do alvo numa escala perto do comprimento de onda do radar. A informação contida numa imagem de radar vai ser então bem diferente daquela contida numa imagem óptica. É um pouco como estar-mos a ver uma imagem de um som ou até ouvir uma imagem.

# Geometria SAR

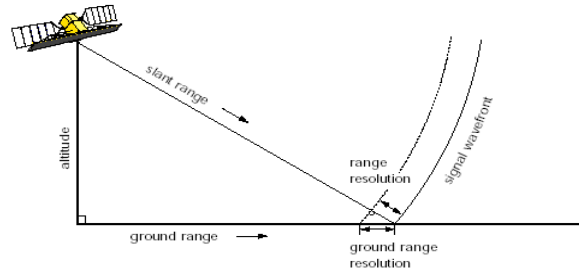


Para obter uma imagem da superfície da terra o radar é transportado num satélite, que se move a uma velocidade e altitude constante. Para ilustração de uma tal geometria recorremos ao satélite ERS SAR, tal como mostra a figura. A projecção da orbita na terra é conhecida como o *ground track*, *nadir track* ou *subsatellite track*. A área que é continuamente vista pelo radar é chamada de *Swath*. Devido ao ângulo de visão do radar (look angle) que é de aproximadamente  $23^\circ$  a imagem coberta pelo radar encontra-se 250 Km à direita do *ground track*. O *Swath* está dividido em duas partes, (*near range* e *far range*) conforme podemos observar na figura. O movimento inerente à trajectória do satélite providencia o *scanning* na direcção de *Azimuth*. A outra direcção é conhecida como *range direction*.

## Slant e ground range

---

A verdadeira distância medida é o espaçamento entre a frente e a cauda da onda electromagnética



A resolução no *ground range* é sempre maior do que a resolução *slant range*.

---

Como a resolução de distância (*Range resolution*) é dependente da duração do impulso  $\tau_p$ , a verdadeira distância medida é o espaçamento entre a frente e a cauda da onda electromagnética. Estes impulsos podem ser vistos como frentes de onda que se propagam a partir do sensor. Quando estas frentes de onda são projectadas para intersectar a superfície da terra, a resolução no *ground range* é sempre maior do que a resolução *slant range*. A figura demonstra bem este tipo de situação.

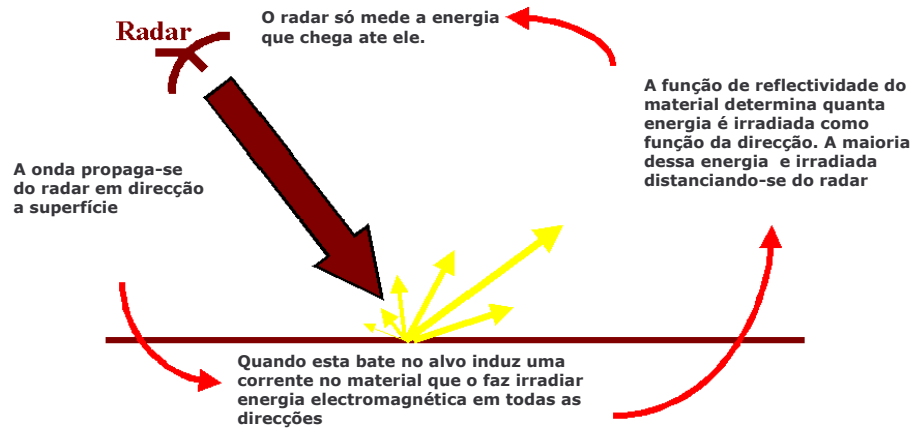
## Como o radar forma a imagem

---

- Em cada ponto o radar envia um impulso e guarda os ecos recebidos no tempo, para gerar uma linha de informação na direcção de *range*.
  - Cada linha de informação é gerada em diferentes posições de azimute na direcção de voo.
  - O resultado é um mapa em azimute e range da energia recebida pelo radar durante o tempo de aquisição.
-

# O que o radar mede

---

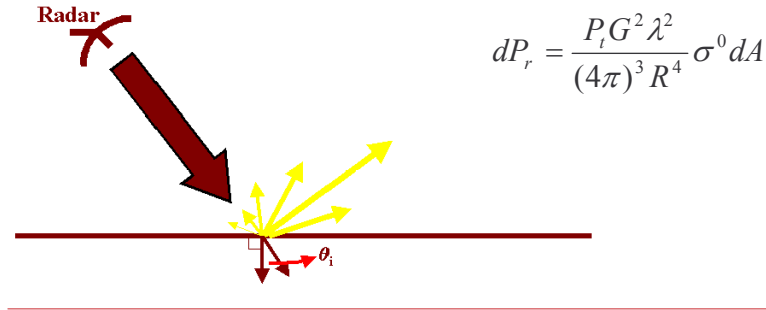


A imagem de radar é uma imagem em tons de cinzento. Estes tons são proporcionais à área efectiva do eco (*backscatter*). Alvos que produzem grande atenuação irão aparecer como cinzento-escuro, enquanto que alvos que produzem pouca atenuação aparecerão como cinzento mais claro.



## A equação de radar

- Pode-se verificar que a potência recebida pela antena é directamente proporcional ao coeficiente de retroespalhamento  $\sigma^0$  (*Radar Cross Section*) que é o único parâmetro relacionado com o alvo

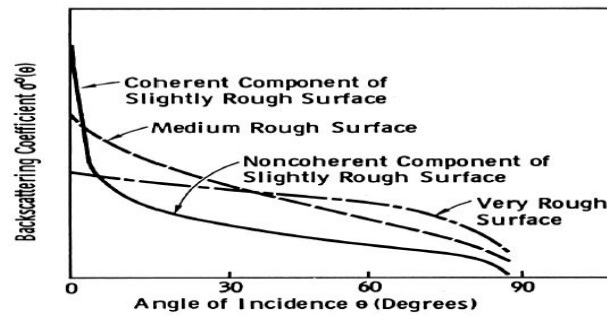


A relação fundamental entre as características do sistema de radar, do alvo e do sinal que é transmitido pela antena que interage com o alvo e novamente retorna para a antena, pode ser resumida através da equação de radar, que para um sistema monoestático pode ser definida na sua forma diferencial tal como é apresentada em cima.

## A equação de radar

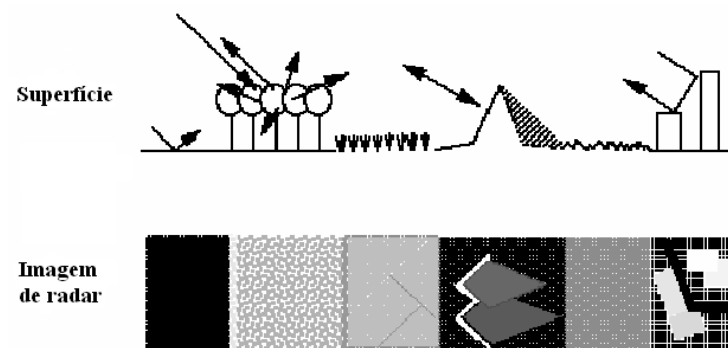
---

- Este coeficiente ( $\sigma^\circ$ ) depende da polarização e do ângulo de incidência entre outras coisas



## Influencia da superfície na imagem

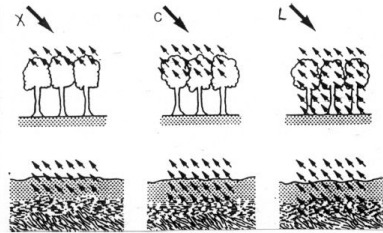
---



A imagem gerada do alvo vai depender, entre muitas outras coisas, deste ser mais ou menos acidentado. As imagens de radar são constituídas por *pixels* que representam o coeficiente do alvo onde zonas mais escuras representam um baixo coeficiente, enquanto que zonas mais claras estão associadas a um coeficiente maior. A figura dá uma boa ideia dos diferentes tipos de imagem que se podem obter consoante o tipo de terreno observado. Superfícies planas dão origem a um baixo coeficiente, logo imagens mais escuras. Se o terreno for bastante acidentado o coeficiente é maior e então teremos uma imagem mais clara.

# Influencia da banda em que opera

Band	Wavelength	Frequency	Uses
X	2.4 to 3.8 cm	8 to 12.5 GHz	military reconnaissance, terrain surveys, Space Shuttle Imaging Radar SIR-C mission, Canada Centre for Remote Sensing (CCRS) Convar 580 airborne sensor
C	3.8 to 7.5 cm	4 to 8 GHz	Canadian RADARSAT, European Space Agency's ERS-1 and ERS-2, SIR-C, CCRS Convar 580 airborne sensor
S	7.5 to 15 cm	2 to 4 GHz	Russian Almaz
L	15 to 30 cm	1 to 2 GHz	NASA's SEASAT, Space Shuttle Imaging Radar series of sensors (SIR-A, SIR-B and SIR-C), Japanese JERS-1
P	75 to 133 cm	225 to 400 MHz	NASA Jet Propulsion Laboratory AirSAR airborne sensor



**Quanto maior for o comprimento de onda maior será a penetração na matéria**

Uma célula de resolução representada na imagem pelo *pixel* pode ser caracterizada por um conjunto de elementos difusores. No caso da vegetação, estes elementos ocupam um certo volume no espaço e estão distribuídos sobre uma superfície também ela difusora representada pelo solo. O sinal de eco que chega até a antena proveniente desta célula de resolução, é resultante da soma das contribuições directas de cada elemento difusor, da superfície e das múltiplas reflexões entre estes.

Quanto maior for o comprimento de onda maior será a penetração na matéria.

# Resolução de distância

---

- ❑ O radar emite um impulso com duração  $\tau$
- ❑ Todos os pontos do alvo dentro do mesmo impulso retornam ao mesmo tempo para o radar
- ❑ Como o radar não consegue distingui-los a resolução em distância é então:

$$\rho_r = \frac{c \tau}{2} \frac{1}{\sin \theta}$$

---

**A radiação é emitida na antena a velocidade da luz (c)**  
**Pontos diferentes do alvo chegam com atrasos diferentes**

Nos radares convencionais, enviar um impulso de frequência constante com duração  $\tau_p$  oferece uma resolução em distância dada pela expressão mostrada em cima ( $c$  é a velocidade da luz).

Esta expressão demonstra que para aumentar a resolução,  $\tau_p$  tem que ser tão pequeno quanto possível. No entanto para manter uma boa relação Sinal-Ruído no receptor é necessário uma grande potência na transmissão. Podemos pensar num impulso de frequência constante e de grande potência um pouco como um *dirac delta function*. Isto torna-se impraticável para um sistema de radar pois a potencia transmitida necessária para uma boa recepção resultaria numa grande perda de energia para o próprio sistema.

## Resolução de azimute

---

- A radiação esta concentrada num arco na direcção de azimute

$$\beta_a = \frac{\lambda}{l}$$

- Todos os pontos do alvo dentro do mesmo feixe a mesma distância vão ser recebidos ao mesmo tempo pelo sistema de radar, logo a resolução de azimute vem dado por:

$$\rho_a = R\beta_a = R\frac{\lambda}{l}$$

---

**De notar que esta resolução depende de um parâmetro físico da antena**

A resolução de *Azimuth* é dependente da abertura real da antena, e como tal do seu comprimento  $l$ . Como a abertura depende do tamanho da antena, existe uma grande limitação para esta resolução nos radares convencionais.

Esta última expressão apresentada é o limite da resolução para os sistemas SLAR (*Side Looking Airborn Radar*) convencionais. A abertura do sinal de radar é inversamente proporcional ao comprimento da antena. Isto significa que para obtermos uma boa resolução de *Azimuth* associada a uma pequena abertura seria necessário uma antena muito longa. Um radar cuja abertura é controlada pelo comprimento da antena é conhecido como um radar de abertura real (RAR). Infelizmente a grande resolução de *Azimuth* pretendida obrigaria a colocação de antenas de grande comprimento o que seria impraticável num qualquer avião ou satélite.

Para ultrapassar esta limitação é necessário aumentar o comprimento da antena. Os problemas mecânicos envolvidos no fabrico de uma antena com uma superfície com a precisão de uma pequena fracção do comprimento de onda e a dificuldade em manter essa precisão num ambiente operacional fazem com que seja muito difícil obter valores de  $\frac{l}{\lambda}$  maiores do que algumas centenas. Para uma distância de 50 Km como aquela

que é útil para radares de vigilância de aeroportos, um valor modesto de 100 para a abertura real resulta numa resolução de 500 metros, que é suficiente tendo em vista a aplicação. Similarmente, uma antena de 1 metro a bordo de um navio, operando na banda X e a uma distância de 10 Km, tem uma resolução de 300 metros, que é novamente aceitável. No entanto, numa plataforma espacial a 800 Km de distância, mesmo com um valor de  $\frac{l}{\lambda} = 200$ , resulta numa resolução de 4 Km, que se torna inaceitável para fins científicos onde são necessárias

imagens com grande resolução. Para obter uma resolução de 1Km com  $R=800$  precisaríamos de uma abertura real de 800 que é irrealizável. Mesmo que este valor fosse obtido, ou outro parecido, o correspondente comprimento da antena seria de 160 metros, o que seria problemático no espaço. A antena do SEASAT com  $\frac{l}{\lambda} = 45$  a uma altitude de 800 Km obteria uma resolução SLAR de 18 Km.

## Vantagens do radar de micro-ondas

---

- Dado que estes são sensores activos (providenciam a sua própria iluminação) podem operar a noite
  - Este tipo de radiação ultrapassa nuvens e chuva, portanto o factor climatérico não é muito relevante
  - Os radares são relativamente simples de construir e podem ser usados em satélites, aviões ou até no chão.
  - Os radares só captam a energia do campo eléctrico recebido (componentes electrónicos fáceis de construir)
-

## Desvantagens do radar de micro-ondas

---

- ❑ A resolução de distância esta limitada pela largura do impulso

**-Uma resolução pequena requer um curto impulso**

**-Se o radar estiver num avião ou satélite o impulso deve conter muita energia de maneira a sobreviver todo o percurso**

**-Não se consegue construir equipamento capaz de emitir essa energia dada a natureza do sistema**

- ❑ Problema resolvido codificando o impulso

**-Implica a descodificação do impulso antes de se poder ver a imagem**

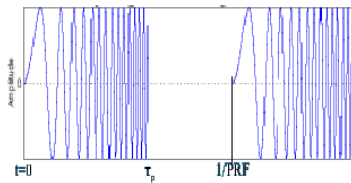
---

Sem codificação o impulso necessário aproxima-se ao impulso de dirac (função puramente académica)



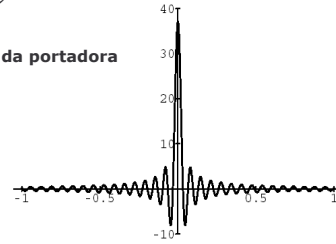
# Resolução de distância

Se recorrer-mos a um sinal FM (*chirp*)



$$f(t) = e^{j2\pi(f_0 t + 0.5 a t^2)}$$

$f_0$ - Frequencia da portadora  
 $a$ - Frequencia



$$\rho_r = \frac{c}{2B} \frac{1}{\sin \theta} = \frac{c}{2a\tau^2} \frac{1}{\sin \theta}$$

Função de auto-correlação do chirp

Nos sistemas de radar, a resolução de distância (*Range Resolution*) é determinada pelo tipo de impulso e pela maneira como os ecos recebidos são processados

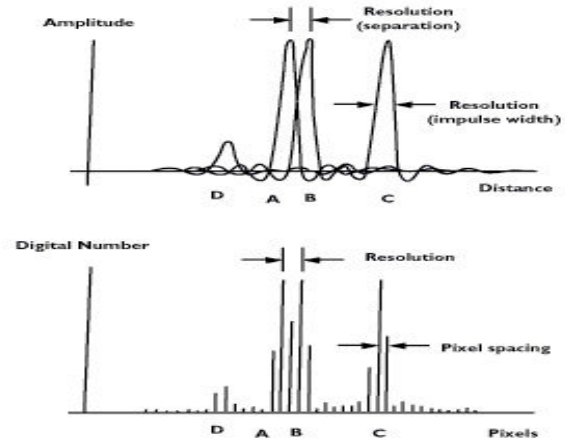
Se em vez do sinal de frequência constante enviarmos um outro de amplitude constante mas que varia na frequência poupamos energia e ganhamos em resolução. Tal sinal é conhecido por um *chirp* (se considerado no espectro auditivo) e essa mesma resolução passa a ser dada pela expressão apresentada, onde  $B$  é a largura de banda do *chirp*. Como uma largura de banda de alguns MHz é facilmente alcançada, uma boa resolução pode ser assim conseguida.

Estes tipos de sinais são conhecidos como sinais sofisticados dada a sua capacidade de transportar mais informação. Dado que a duração do impulso é constante (existe a necessidade de receber impulsos durante um grande intervalo de tempo de maneira a cobrir uma grande área na superfície), a frequência do *chirp* terá que aumentar para se conseguir um produto tempo largura de banda elevado.

A frequência do chirp é a derivada temporal da fase na equação  $f(t)$ , ou seja,  $2\pi(f_0 + at)$  resultando numa largura de banda  $aT$  sobre a duração de impulso  $T$ . O ganho em resolução (*Pulse compression ratio*) é  $aT^2$ , que é o produto tempo largura de banda do chirp.

O *chirp* possui uma função de auto-correlação mostrada na figura do canto inferior do slide.

# Resolução



A resolução em radares de imagem traduz o espaçamento entre dois pixels consecutivos.

# Resolução RAR

---

## □ ERS-1

$\lambda=5,6$  cm  
B=15 MHz  
l=10 m  
 $\theta=23^\circ$   
R=850 Km

$$\rho_r = 25m$$

$$\rho_a = 4,8Km$$

## □ DRA-Airborne SAR

$\lambda=3,1$  cm  
B=100 MHz  
l=1,8 m  
 $\theta=23^\circ$   
R=14 Km

$$\rho_r = 3,8m$$

$$\rho_a = 0,24Km$$

---

Alguns exemplos reais da resolução em sistemas RAR.

## Desvantagens do radar de micro-ondas

---

- A resolução de azimute é determinada pela abertura do feixe

**-A resolução aumenta com a distância**

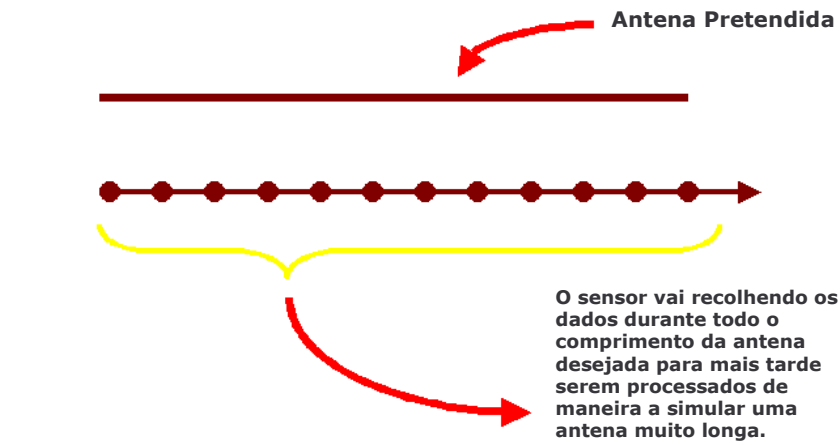
**-Resolução pequena implica uma grande antena já que**

$$\beta_a = \lambda \backslash l$$

**-As antenas tornam-se muito grandes para poderem ser colocadas nos aviões**

- Este problema foi resolvido com o uso de uma pequena antena para sintetizar o efeito de uma antena muito longa
-

## Sintetizar uma antena mais longa



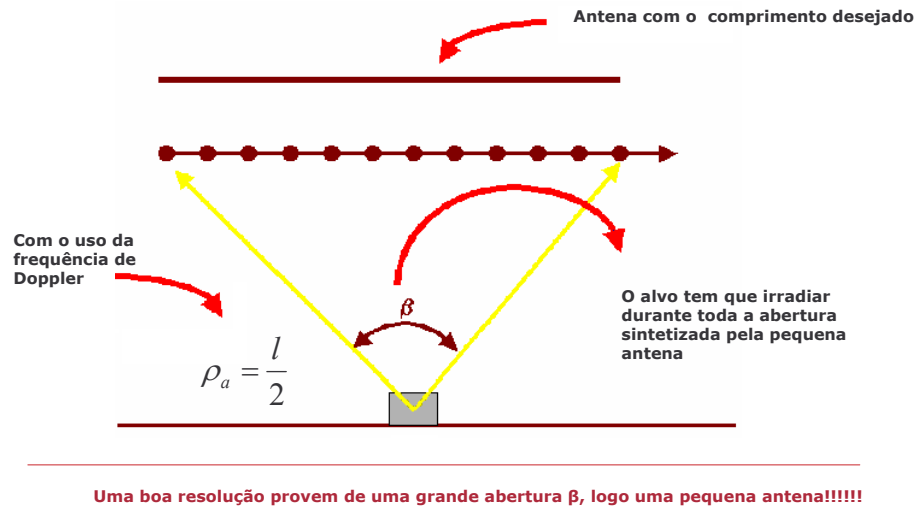
Para ultrapassar este problema os engenheiros de radares criaram uma técnica para sintetizar o efeito de uma antena muito longa usando apenas uma pequena antena. Através de sofisticado processamento de sinais recebidos de uma pequena antena real é possível obter a mesma resolução de *Azimuth* que seria obtida com uma antena muito longa.

A observação que marcou o progresso nos sistemas de radar data de 1951 e é originalmente atribuída a Wiley (1965). Este observou que dois alvos com ângulos ligeiramente diferentes em relação a plataforma, tem sempre velocidades diferentes em relação a mesma. Portanto o impulso de radar quando é reflectido em dois alvos diferentes vai ter dois desfasamentos em frequência. Para um alvo numa coordenada de *Azimuth*  $x$  e a uma distancia  $R$  da superfície, o desvio de frequência em relação ao sinal original vem dado por:

$$f_D \approx \frac{2V_{ST}x}{\lambda R}$$

$V_{ST}$  é a velocidade relativa entre a plataforma e o alvo. Assim sendo todos os sinais recebidos são analisados em frequência e qualquer energia recebida correspondendo a distancia  $R$  e com um desvio de frequência  $f_{D1}$ , esta associado com a coordenada  $x_1 = \frac{\lambda R f_{D1}}{2V_{ST}}$ . Da mesma maneira, diferentes frequências de Doppler ( $f_{Dn}$ ) serão atribuídas a outras coordenadas de *Azimuth*  $x_n$ . Assim, mesmo que os alvos estejam a mesma distância e no mesmo feixe, eles podem ser distinguidos através da análise em frequência do sinal recebido.

## Sintetizar uma antena mais longa



Com o uso da análise de Doppler dos ecos recebidos, a resolução  $\rho_a$  do alvo na coordenada da trajetória está relacionada com a resolução  $\delta_{f_D}$  da medida da frequência de Doppler. A abertura horizontal da antena já não é um factor limitativo. Da equação do desvio em frequência já referida a resolução de *Azimuth* passa a ser dada por:

$$\rho_a = \left( \frac{\lambda R}{2V_{ST}} \right) \delta_{f_D}$$

Como  $\delta_{f_D} = \frac{1V_{ST}}{\lambda R}$ , resulta em:

$$\rho_a = \left( \frac{\lambda R}{2V_{ST}} \right) \left( \frac{1V_{ST}}{\lambda R} \right) = l \setminus 2$$

Este é um resultado contra intuitivo, ma grande resolução provem de pequenas antenas. Foram feitas algumas simplificações e suposições que nem sempre são correctas mas este resultado dá-nos uma aproximação do limite para esta resolução nos sistemas SAR. Como estamos a sintetizar uma antena muito longa recorrendo a uma de dimensões bastantes reduzidas estamos na realidade a medir a radiação do alvo com maior precisão. O SEASAT com uma antena de 10,7 metros e a 800 Km de altitude da terra obtém uma resolução de *Azimuth* de 6 metros.

# Radar de Doppler

---

- Dois alvos com ângulos ligeiramente diferentes em relação a plataforma, tem sempre velocidades diferentes em relação a mesma
- O impulso de radar quando é reflectido em dois alvos diferentes vai ter dois desfasamentos em frequência
- Assim, mesmo que os alvos estejam a mesma distância e no mesmo feixe, eles podem ser distinguidos através da análise em frequência do sinal recebido

---

A observação que marcou o progresso nos sistemas de radar data de 1951 e é originalmente atribuída a  
Wiley

# Radar de Doppler

---

- O uso da frequência de Doppler providencia a segunda coordenada, a primeira é Rg (*Ground Range*) e a segunda é a distância  $x$
- Assim sendo, todos os sinais recebidos são analisados em frequência e qualquer energia recebida correspondendo a distância R e com um desvio de frequência  $f_{D1}$ , está associada com a coordenada:

$$x_1 = \frac{\lambda R f_{D1}}{2V_{ST}}$$

---

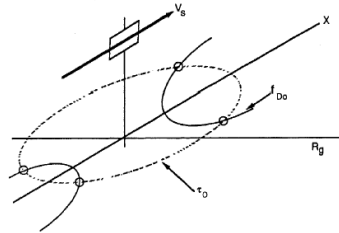
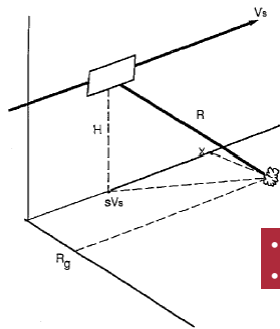


# Mapeamento de pontos no alvo

**R é a hipotenusa de dois triângulos rectângulos**

$$R^2 = R_g^2 + H^2 + (x - V_{ST}s)^2$$

$$f_D \approx \frac{2V_{ST}x}{\lambda R}$$



- Para um dado atraso  $\tau$  obtemos a equação de um círculo
- Para um dado desvio de frequência obtemos a equação de uma cônica

A ambiguidade esquerda direita é resolvida com o nosso conhecimento do lado para que a antena esta virada, enquanto que o lado da hipérbole é nos indicada pelo sinal do desvio de Doppler

Na primeira expressão apresentada  $s$  é o tempo de voo. Para  $s=0$  o atraso do eco vem dado por  $\tau = 2R(0) / c$ , e podemos escrever:

$$R^2(0) = x^2 + R_g^2 + H^2$$

$$f_{D_0} = \frac{2V_{ST}x}{\lambda R(0)}$$

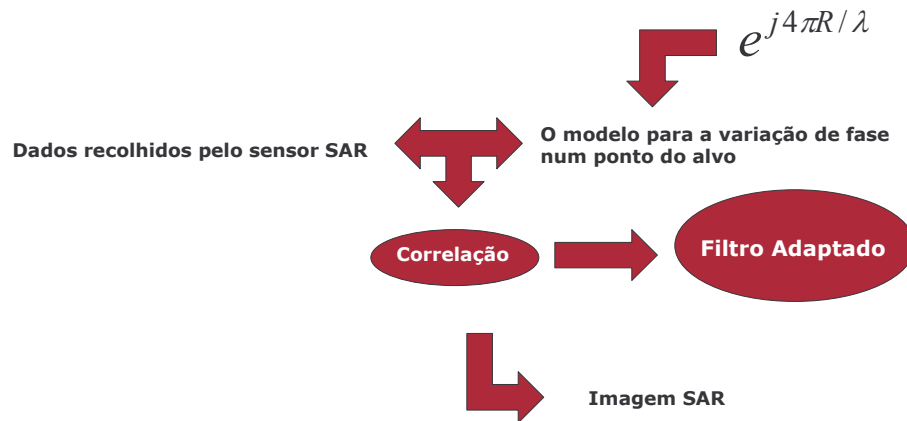
Após algumas manipulações somos capazes de escrever:

$$x^2 \left[ \left( \frac{2V_{ST}}{\lambda f_{D_0}} \right)^2 - 1 \right] - R_g^2 = H^2$$

$$\left| \frac{2V_{ST}}{\lambda f_{D_0}} \right| = \left| \frac{R(0)}{x} \right| > 1$$

Esta é a equação de uma cônica e de um círculo no plano  $(R_g, x)$ .

## Sintetizar uma antena mais longa



A modelação de uma grande antena é feita através da correlação dos dados pelo modelo de variação das fases do sinal recebido de um ponto no alvo

Dado que o impulso enviado é linear em frequência, medir o desvio de frequência é na realidade medir as fases dos sinais recebidos durante o tempo em que a antena é sintetizada. Isto requer a recolha do sinal quer em magnitude quer em fase, levando a uma complexidade adicional exigida ao sistema. Os ecos recebidos tem um comportamento não linear em fase e como é demonstrado em vários artigos de referencia, o filtro adaptado é ideal para se obter a grande resolução pretendida.

# Filtro adaptado

---

- ❑ O filtro adaptado procura o inverso convolutivo do sinal de entrada
- ❑ A ideia é calcular  $h$  de maneira que:  $f * h = \delta$   
onde  $\delta$  denota um impulso de *Dirac*
- ❑ O filtro adaptado é o coração do radar SAR

---

Estamos a adaptar o sinal de eco ao sinal original com um atraso apropriado para a distância a que estamos do alvo

O filtro adaptado é o coração do radar de abertura sintética. Existem muitas maneiras de implementar um filtro adaptado. A mais fácil de visualizar é a técnica da correlação. A auto-correlação de um sinal ( $acf$ ) é definida como uma função de atraso. Para um dado atraso  $\tau$ ,

$$acf(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} f^*(t) f(t + \tau) dt$$

Para um atraso nulo o integrando será o quadrado da magnitude e o integral passa a representar a energia  $E_f = \int_{-\infty}^{+\infty} |f(t)|^2 dt$ , que terá obrigatoriamente um valor maior que zero. Se a forma do impulso variar com o tempo, os valores positivos e negativos do integrando tenderão a cancelar-se uns aos outros. A função de auto-correlação irá ter uma pequena magnitude para grandes atrasos, ou seja, o sinal tenderá a ficar descorrelacionado com ele próprio quando atrasado. Pode-se então usar a desigualdade de *Schwartz* para garantir  $|acf_f| \leq E_f$  para qualquer atraso. O objectivo passa então por obter um sinal com uma função de auto-correlação tão estreita quanto possível. Quando o eco recebido está correlacionado com o sinal transmitido, irá aparecer um impulso muito estreito no atraso correspondente ao *round trip*. Estamos então a adaptar o sinal de eco ao sinal original com um atraso apropriado para a distância a que estamos do alvo.

Um impulso que é descorrelacionado com ele próprio para grandes atrasos é um harmónico, cuja frequência aumenta linearmente com o tempo. Este tipo de sinal é chamado de modulação linear de frequência (FM) e quando emitido com duração limitada produz um chirp (se o considerar-mos nas frequências auditivas). Um chirp infinito, como por exemplo  $\sin t^2$ , tem de facto uma função de auto-correlação que é zero em todo lado menos para  $\tau = 0$ . Um chirp finito com frequência de portadora  $f_o$ , duração  $\tau_p$  e frequência  $a$ , vem dado pela expressão atrás referida e que possui uma função de auto-correlação um pouco mais complexa mas que pode ser calculada explicitamente.

# Formação de imagens SAR

---

- ❑ O processo de sintetização de uma grande antena por correlação dos dados recebidos através de um modelo de um ponto no alvo e na realidade um processo de formação de imagem
- ❑ É essencialmente a descodificação das respostas em azimute para um ponto do alvo.
- ❑ As mudanças da fase nos dados recebidos á medida que o radar passa pelo alvo são provocadas pelo efeito de Doppler

---

**Os radares SAR são muitas vezes chamados de radares de Doppler**

# Formação de imagens SAR

---

- O processo de formação de imagens é computacionalmente dispendioso

**E necessário a realização da correlação em duas dimensões sobre um vasto conjunto de dados**

- O modelo usado para a correlação das fases é determinado pela variação da distância entre o radar e o alvo

**Movimentos desconhecidos do alvo resultam num desvio dos objectos na imagem**

---

## SAR vs RAR

---



**Imagem RAR**



**Imagem SAR**

---

Comparação entre duas imagens do mesmo alvo obtidas pelos dois sistemas diferentes.

# Vantagens e desvantagens SAR

---

- A principal vantagem é a excepcional melhoria da resolução de Azimute

1. Esta passa a ser dada por:  $\rho_a = \frac{l}{2}$

2. Pode-se mostrar que a resolução é independente da distancia

- Um grande numero de desvantagens aparecem

1. Requer a medição quer da fase quer da magnitude
  2. Requer o conhecimento prévio da rota do radar (necessário compensação de movimento)
  3. O sistema e muito sensível a movimentos do alvo
  4. Processamento final para a geração de uma imagem e bastante complexo
-

## Efeito de movimento do alvo

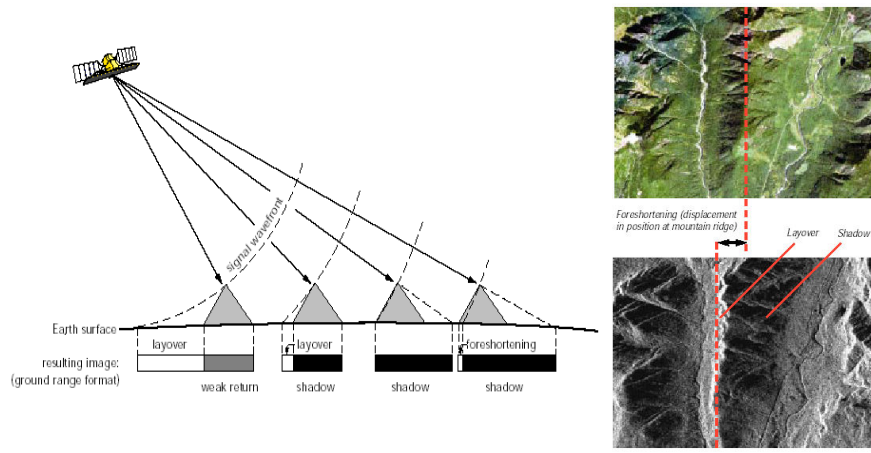
---

- Se existir uma componente da velocidade na direcção de *range* ( $V_r$ ) por parte do alvo, este vai ser *shiftado* na direcção de azimute
  - Se existir uma mudança de  $V_r$ , durante o tempo em que a antena é sintetizada o alvo fica desvanecido em azimute
  - Se existir uma componente da velocidade do alvo na direcção de azimute, este ficará desvanecido também na direcção de azimute
- 

Os sistemas SAR são muito sensíveis a movimentos do alvo.



## Distorções provocadas pelo terreno



Um sistema SAR é um dispositivo que mede distâncias. Este mede na realidade o tempo entre a transmissão e a recepção de um impulso para determinar se os alvos estão relacionados na direcção perpendicular a direcção do voo. Quando este tenta obter uma imagem de uma montanha, o impulso pode chegar ao topo primeiro e só depois ao fundo desta. Portanto, numa perspectiva SAR o topo da montanha está mais próximo que a base desta. Quando este constrói a respectiva imagem da montanha a duas dimensões esta parece estar inclinada em direcção ao radar. Estes tipos de distorções são referidas como *foreshortening*, *layover* e *shadow*.

O primeiro (*foreshortening*) ocorre quando o ângulo de incidência local é menor que o ângulo de iluminação mas maior que zero. Isto leva a que a imagem de por exemplo uma montanha fique mais clara no lado em que está o sensor. O intérprete deve então saber que estes pontos mais claros são produto da diminuição do ângulo de incidência e aumento da energia dos ecos recebidos, em vez de um aumento da complexidade do terreno.

*Layover* ocorre quando a onda emitida pelo radar chega primeiro ao cimo de um alvo alto antes de chegar a sua base. O eco provocado pelo sinal que reflectiu no topo vai chegar primeiro que o eco que bateu na base, e como tal o topo está mais próximo do que a base resultando no topo do objecto inclinado para o sensor. Isto ocorre quando o ângulo de incidência local é maior que o ângulo de iluminação.

*Shadow* em imagens SAR indicam as áreas que não foram cobertas pelo feixe do radar. Como próprio nome indica trata-se do mesmo efeito da sombra nas ondas visíveis.

## Aplicações SAR

---

- Movimentos do gelo
  - Vulcões
  - Impacto ambiental (derrames de petróleo)
  - Fogos
  - Meteorologia
  - Geologia
  - Detecção de navios
-

# Imagens SAR

---

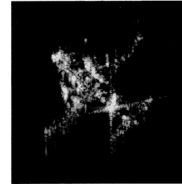
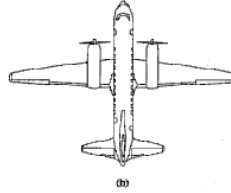
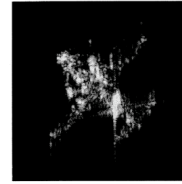
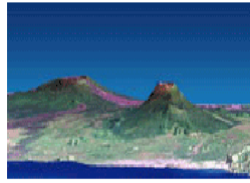


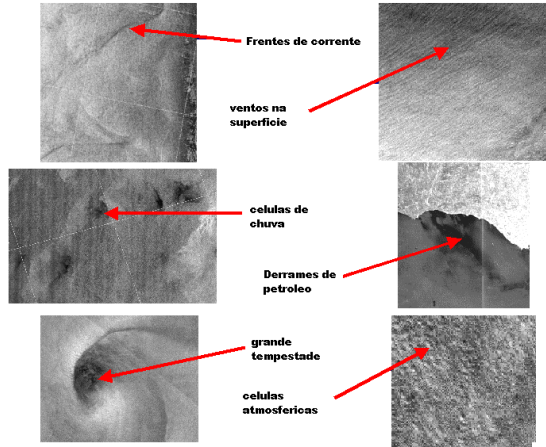
Figure 7.13 Convaiv CV-580 aircraft: (a) Photograph; (b) Plan view.

Figure 7.18 Processed SAR image: (a) Single prominent point; (b) Two prominent points.

---

# Imagens SAR

---



## Vários sistemas SAR

	Seasat	AIRSAR (aircraft) NASA/JPL	SIR-C (shuttle) U.S.- German- Italian	Almaz- 1 Russian SA	ERS-1/2 European SA	JERS-1 Japanese SA	RADARSAT- 1 Canadian SA	RADARSAT- 2 Canadian SA
<b>Mission Dates</b>	1978	1988-	1990-	1991-92	1991-99 1995-	1992-98	1995-	2003
<b>Wavelength (cm)</b>	23.5 (L)	67 (P) 23.5 (L) 5.7 (C)	23.5 (L) 5.7 (C) 3.2 (X)	10 (S)	5.7 (C)	23.5 (L)	5.6 (C)	5.6 (C)
<b>Polarization</b>	HH	all	all	HH	VV	HH	HH	all
<b>Incidence Angle</b>	23	20-60	15-55	30-60	23	35	20-59	20-60
<b>Swath Width (km)</b>	100	10-17	15-90	350	100	75	50-500	10-500
<b>Resolution (m)</b>	25	2-8	10-60	10-30	30	18	10-100	3-100

<i>Mission</i>			
<i>Orbit</i>	ERS-1	JERS-1	Radarsat
Altitude	785 km	568 km	793-821 km
Inclination	98.516°	97.662°	98.594°
Period	6027.907 s	5799.72 s	6042 s
Repeat Cycle	3, (35, 176) days	44 days	24 days
Orbit Type	sun synchronous	sun synchronous	sun synchronous
Ground Track Velocity	6.628 km/s	6.883 km/s	6.576 km/s
<i>Instrument</i>			
Frequency	C-Band (5.3 GHz)	L-Band (1.275 GHz)	C-Band (5.3 GHz)
Wavelength	5.66 cm	23.5 cm	5.66 cm
Pulse Repetition Freq.	1640–1720 Hz	1505.8–1606 Hz	1270–1390 Hz
Pulse Length (BW)	37.1 $\mu$ s (15.5 MHz)	35 $\mu$ s (15 MHz)	42 $\mu$ s (11.6, 17.3, 30 MHz)
Polarization	VV	HH	HH
Antenna Size L X W	10 X 1 m	11.9 X 2.4 m	15 X 1.5 m
Peak Power	4.8 kW	1.3 kW	5 kW
Average Power	300 W	71 W	300 W
Noise Equivalent $\sigma_0$	-18 dB	-20.5 dB	-21 dB
<i>Image</i>			
Swath Width	100 km	75 km	50, 100, 150, 500 km
Max Resolution Rg X Az	12.5 X 12.5 m	7 X 7 m	10 X 10 m
Resolution @ # looks	30 @ 4	18 @ 3	28 X 30 @ 4
<i>System</i>			
On Board Storage	None	Tape 20 min	2 Tapes @ 14.5 min
Look Angle	Right 20.355°	Right 35.21°	R & L 20–50°
Incidence Angles, Mid	19.35–26.50°, 23°	36.14–41.51°, 38.91°	22.64–59.56°, 45.12°
Footprint Rg X Az	80 X 4.8 km	70 X 14 km	50-150 X 4.3 km
Doppler BW	1260 Hz	1157 Hz	939 Hz
Coherent Integ Time	.6 s	1.7 s	.46 s
Windowing	Hamming	Hamming	Hamming
Pulse Compression Ratio	580:1	525:1	491, 727, 1260:1
Range Sample Rate	18.96 MHz	17.1 MHz	12.9, 18.5, 32.3 MHz
Maximum Data Rate	105 Mb/s	30 Mb X 2 Mb/s	105 Mb/s
Quantization	5 bits/sample	3 bits/sample	4 bits/sample

# FIM

---

