

# **Sensores na Faixa das Microondas**

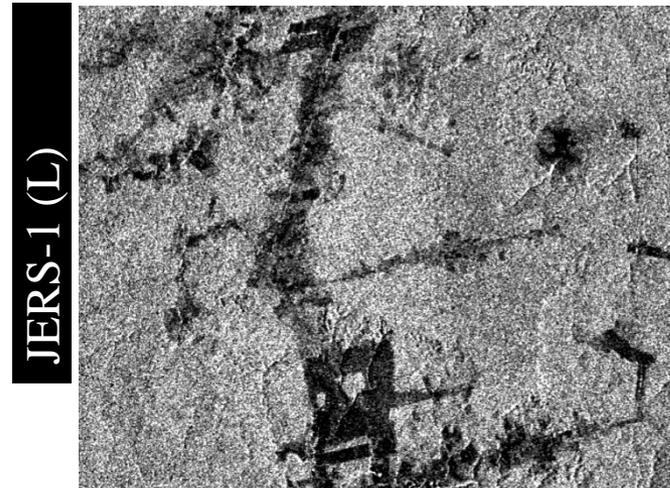
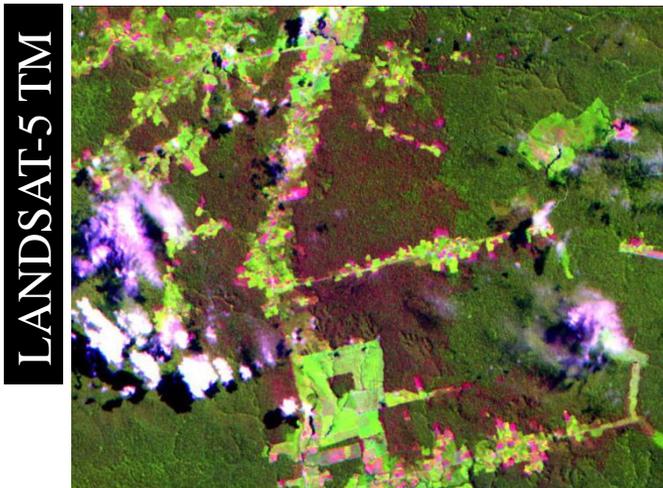
Prof. Dr. Rogério Galante Negri

---

# RADAR

- Espectro do microondas vai de  $2,4 - 100\text{cm}$  ( $2 \cdot 10^4 \times \lambda_{\text{visível}}$ )
- São usadas pelos radares
- RADAR – *Radio Detection And Ranging* (fonte de radiação própria)
- Registra os “ecos” (REM refletida) que retornam ao sensor

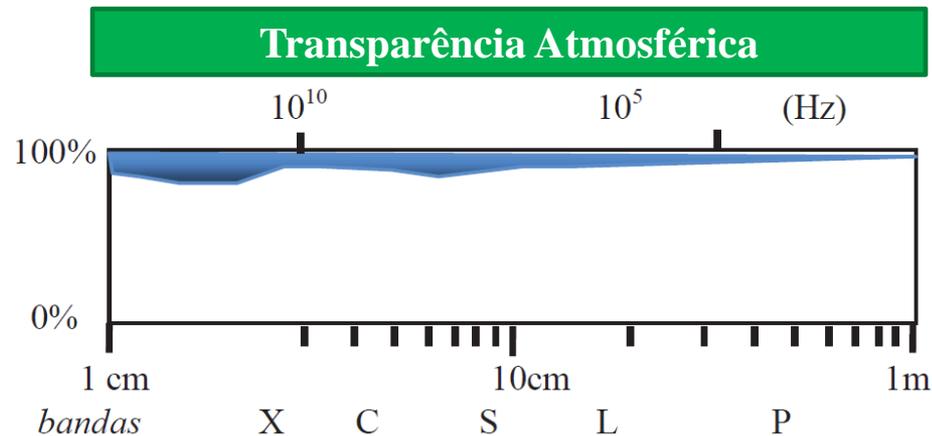
Vantagens	Desvantagens
Microondas não são barradas pela atmosfera	Aspecto da imagem diferente do visível/termal
Independente das condições de iluminação	Ruído multiplicativo inerente ( <i>speckle</i> )
Obtém imagens independente do Sol	



# Comprimentos de onda

- Comprimentos de onda são representados por letras

Nome - $\lambda$	Frequência
<i>X</i> – 2,4 ~ 3,8 cm	12,5 ~ 8 GHz
<i>C</i> – 3,8 ~ 7,5 cm	8 ~ 4 GHz
<i>S</i> – 7,5 ~ 15 cm	4 ~ 2 GHz
<i>L</i> – 15 ~ 30 cm	2 ~ 1 GHz
<i>P</i> – 30 ~ 100 cm	1 GHz ~ 300 MHz

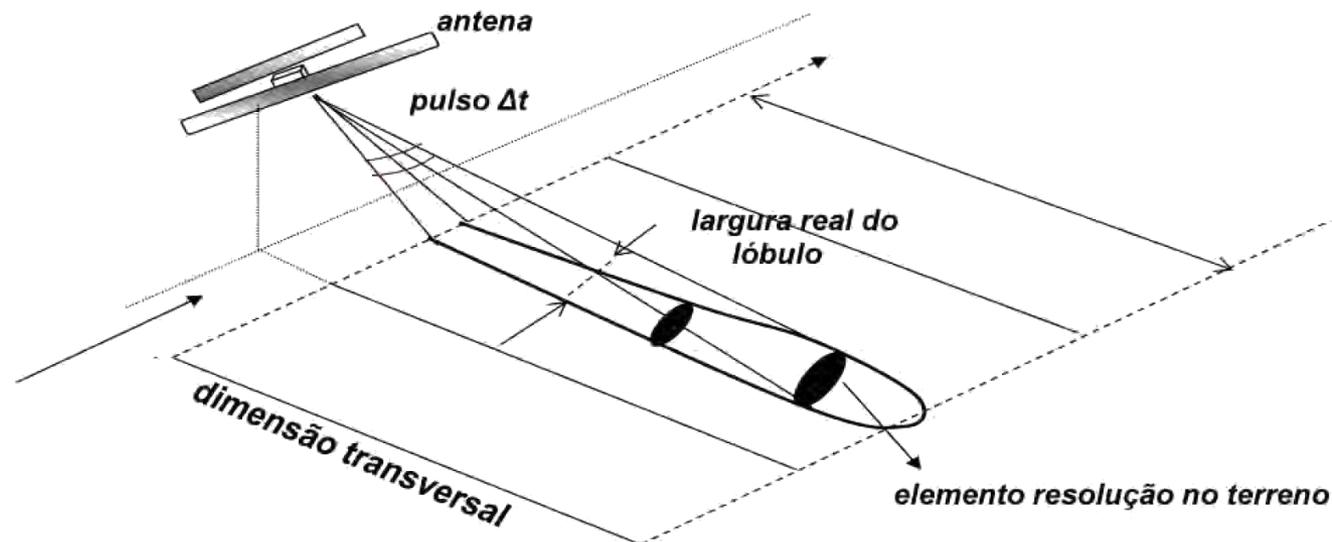


- O  $\lambda$  deve ser compatível com a feição a ser imageada
  - C* é mais adequada para texturas da superfície
  - L* para levantamentos geológicos e uso/cobertura da terra
  - P* para alta penetração (superfície do terreno)



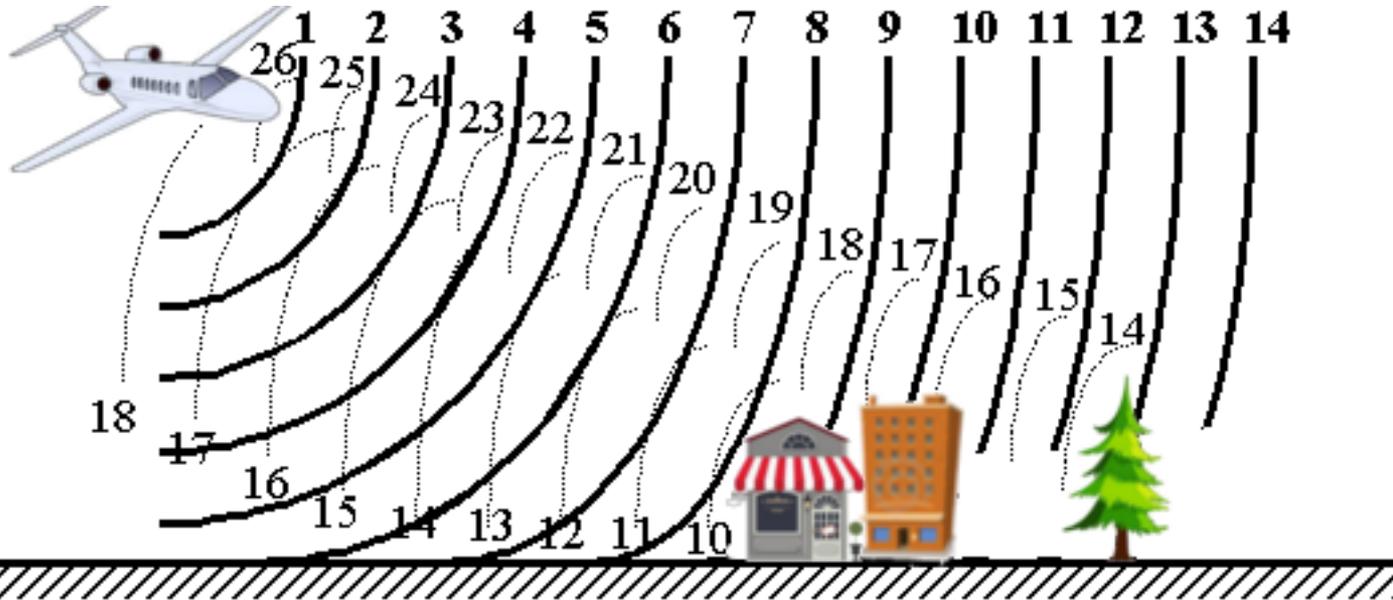
# Imageamento (pt. 1)

- O Sol emite REM contínua sobre a superfície
- RADAR emite descontinuamente pulsos que se espalha sobre a superfície (forma de lóbulo [eng. elétrica])
  - Antena emite pulso EM potente, curto e em feixe estreito
  - Durante a propagação o feixe se alarga até atingir o alvo
  - O pulso interage com a superfície e é retroespalhada
  - A mesma antena emissora capta a energia retroespalhada



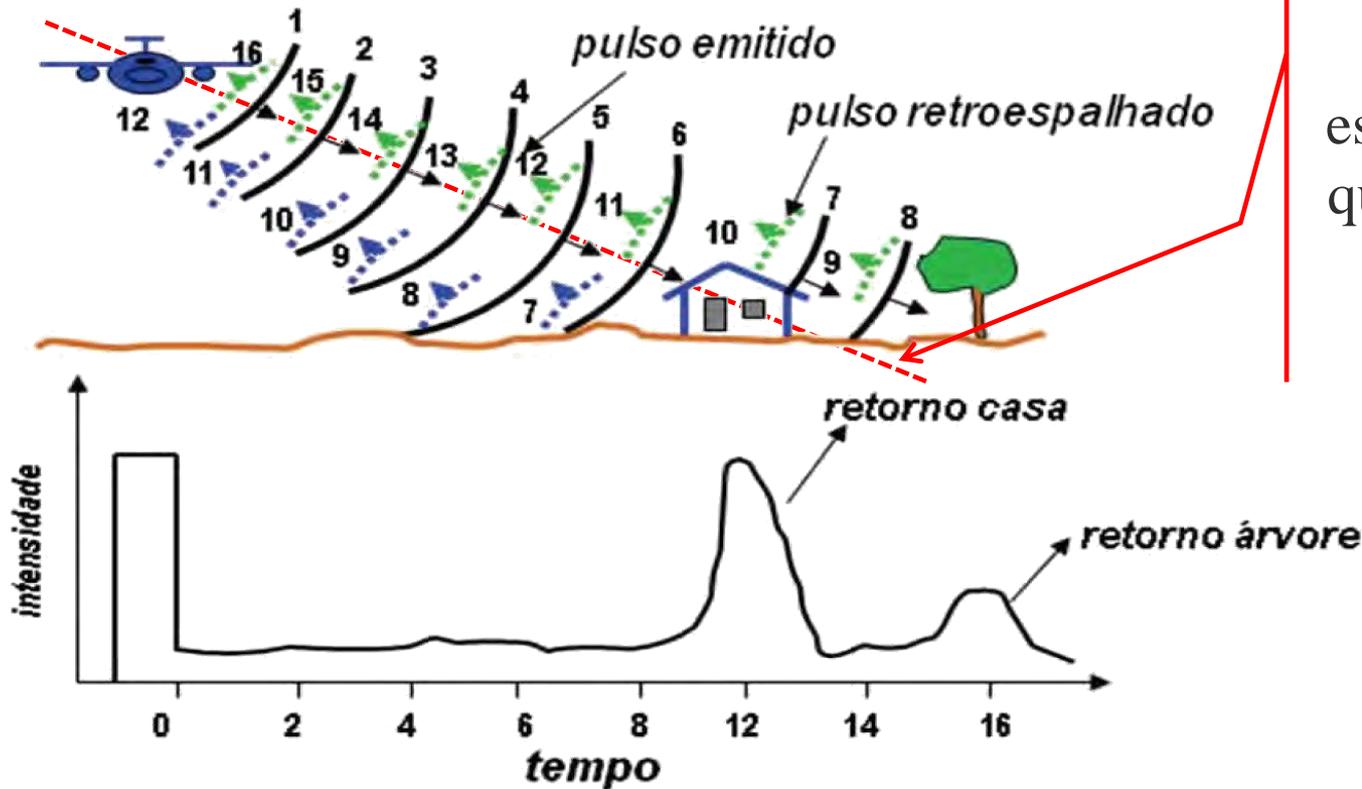
# Imageamento (pt. 2)

- O lóbulo é transversal a direção de voo e muito amplo
- Na direção de voo o lóbulo é estreito
- A antena emite pulsos (vel. luz) em intervalos fixos de tempo
- Quando o pulso retorna, mede-se a intensidade e o tempo
- O tempo permite determinar a distância do alvo



Devemos considerar que o pulso emitido, que forma o lóbulo, retorna na forma de vários pulsos individuais

# Ecos e distâncias



As distâncias são medidas segundo este plano inclinado, que define o alcance inclinado (*Slant Range*)

- Continuamente, são medidos os tempos de trans./retorno dos pulsos
- Podemos calcular a distância dos objetos por:

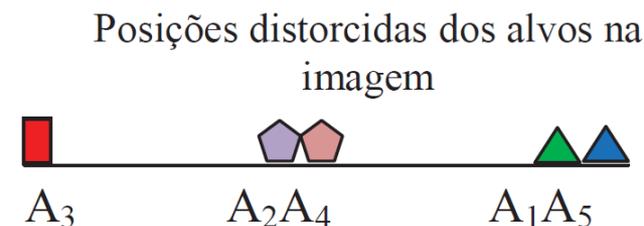
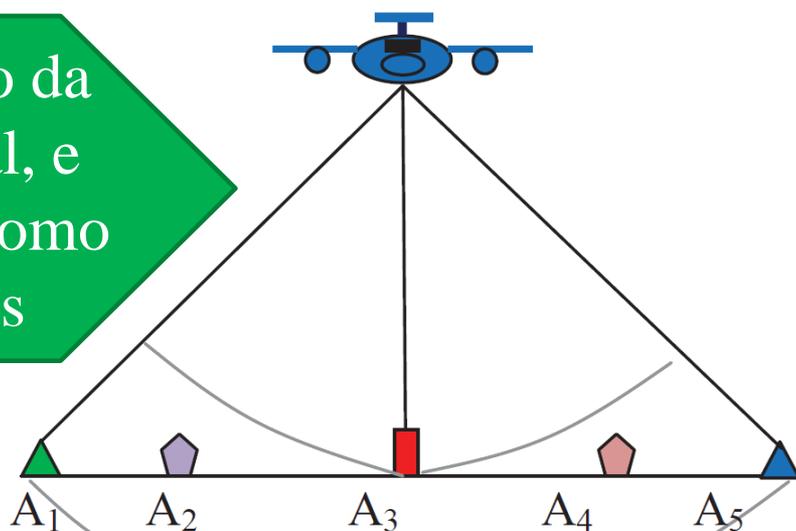
$$SR = \frac{c \cdot t}{2}$$

*SR*: Slant Range  
*c*: velocidade da luz  
*t*: tempo trans./recep.

# Arquitetura

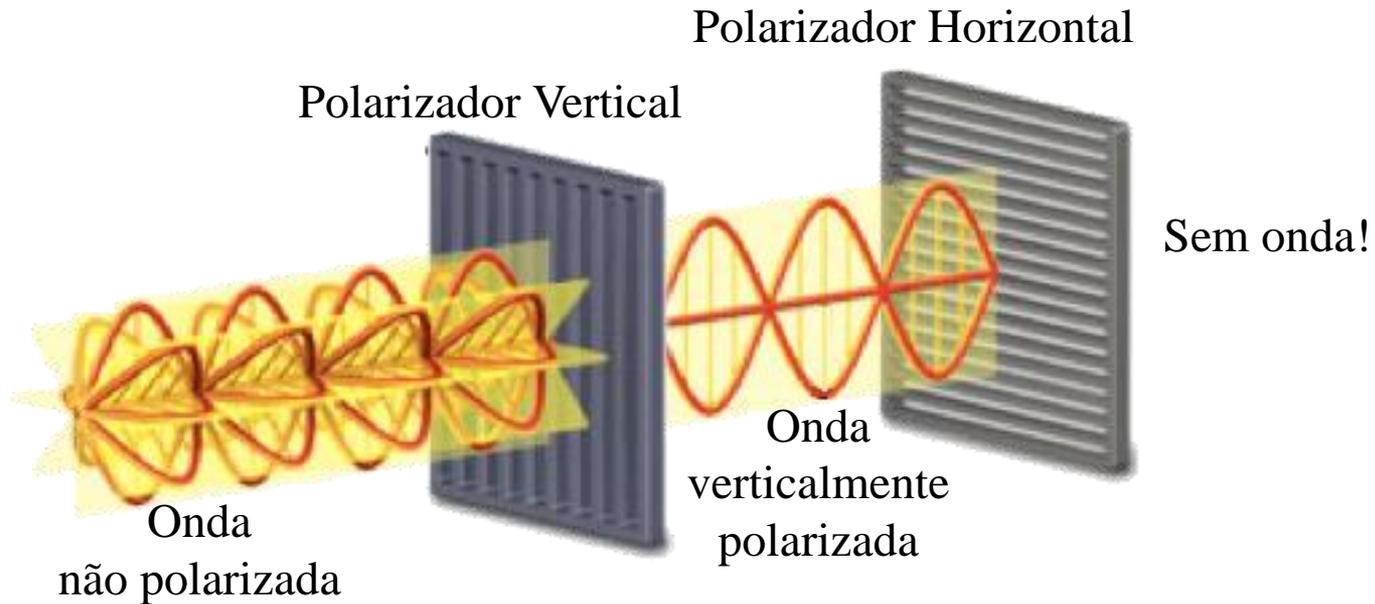
- Emissão/recepção (*duplex*) é feita por uma antena retangular
- Esta antena é fixa na lateral da plataforma
- Aponta lateralmente para o alvo a ser imageado
- A largura do feixe:
  - Tamanho fixo da antena (RAR – *Real Aperture Radar*)
  - Simulando uma antena grande (SAR – *Synthetic Ap. Radar*)

Razão do uso da visada lateral, e não oblíqua como nos ópticos

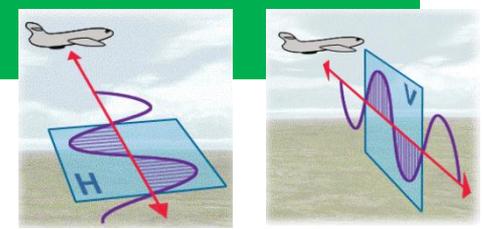


# Polarização de ondas

- Ondas EM são geradas pela oscilação de elétrons dos átomos ou pela oscilação de cargas em uma antena
- Direção de oscilação define a orientação do campo elétrico
  - Geradores naturais (Sol, lâmpada) a orientação é aleatória
  - Geradores artificiais (antenas) a orientação é determinada
- É possível polarizar ondas!



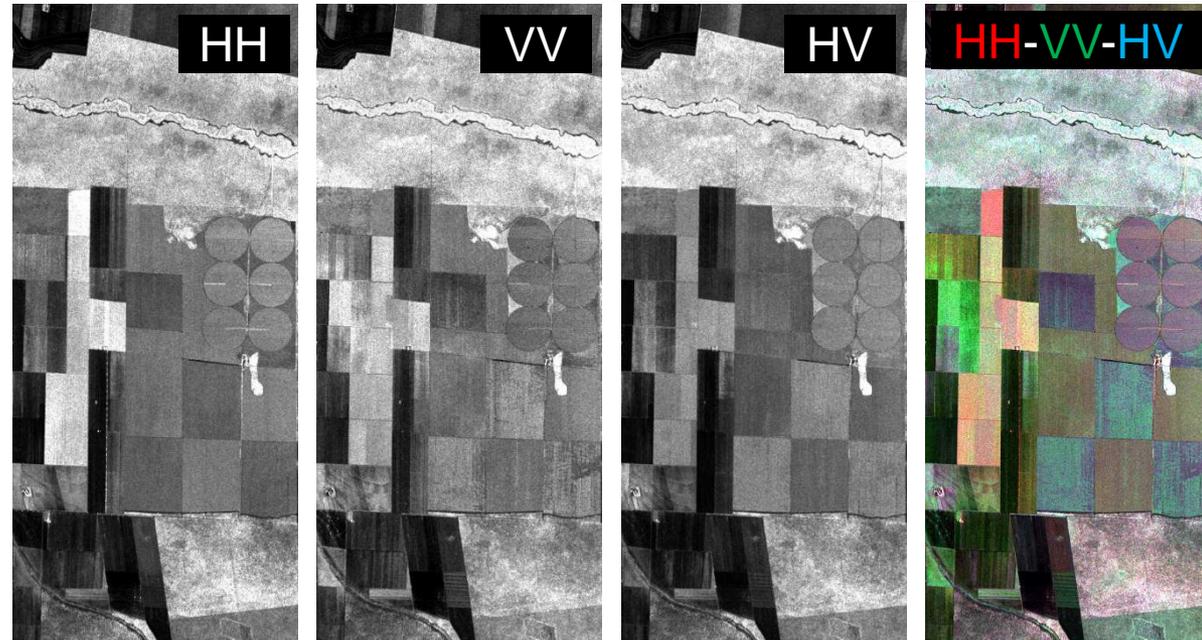
# Polarização de ondas



- O RADAR possui um cristal polarizador que permite emitir ondas nas polarizações horizontal ( $H$ ) ou vertical ( $V$ )

- Ao atingir o alvo, a onda é despolarizada

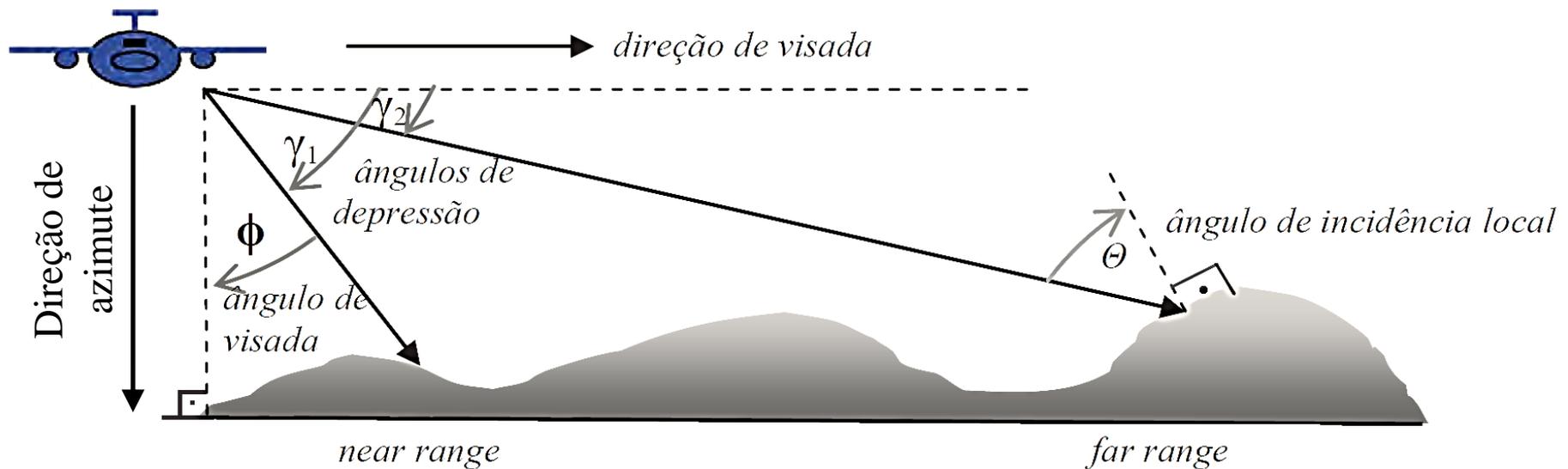
- O sensor capta os retornos em  $H$  e  $V$



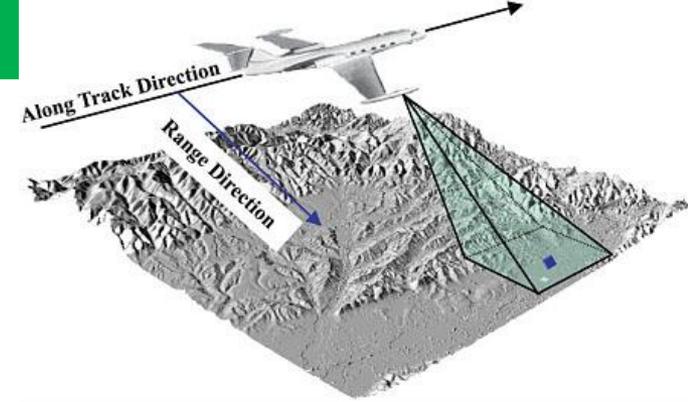
- Assim, surgem os modos de polarização:  $HH$ ,  $HV$ ,  $VH$  e  $VV$

# Geometria de imageamento

- Direção de azimute é a direção de voo da plataforma, para o qual os pulsos são enviados ortogonalmente formando o lóbulo
- A área inicial/final “iluminada” pelo lóbulo é o near/far range
- Direção de visada é a direção iluminada
- Ângulo de depressão são os ângulos entre dirs. de visada e azimute
- Ângulo de visada é o complemento do ângulo de depressão
- Ângulo de incidência é formado entre o pulso e a vertical ao plano



# Resolução espacial



- As medidas de resolução são mais complexas comparadas aos sensores multiespectrais/termiais
  - No RADAR dependem de:
    - Comprimento do pulso (tempo que a antena emite o pulso)
    - Largura do feixe enviado (lóbulo)
  - São definidas duas resoluções, nas direções de voo/azimute
    - Resoluções em alcance (*range*)
    - Resoluções azimutal
-

# Resolução em range

- O valor calculado para a resolução em *range* é:

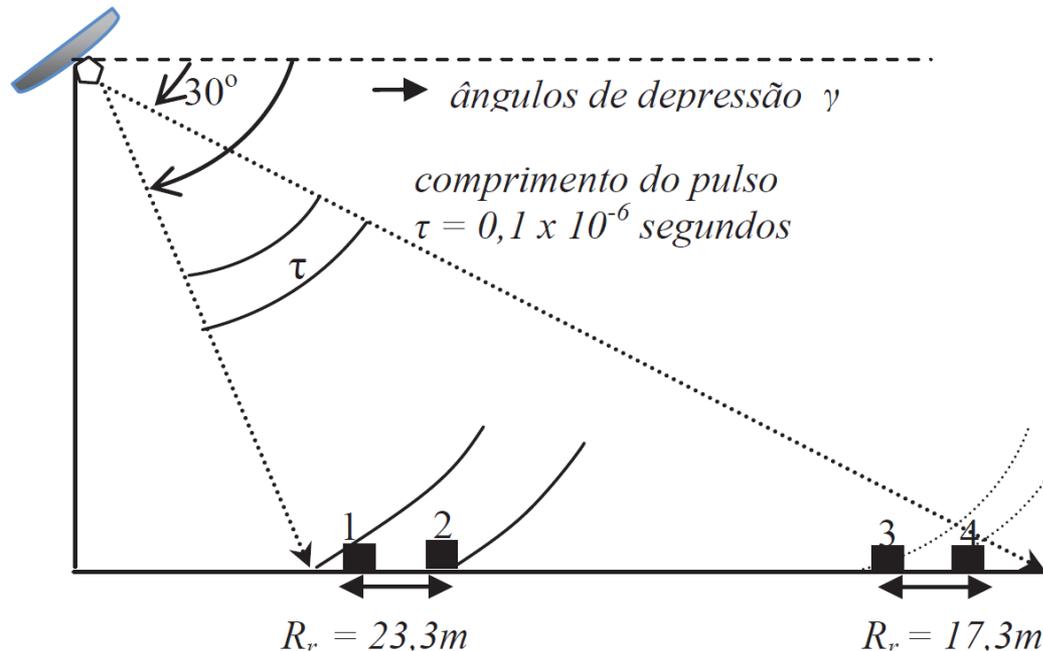
$$R_r = \frac{\tau \cdot c}{2 \cos(\gamma)}$$

$R_r$ : resolução em range

$\tau$ : tempo do pulso

$c$ : velocidade da luz

$\gamma$ : ângulo de depressão



- Sejam 1 e 2; 3 e 4 em *near/far range*
- São iluminados por ângulos  $50^\circ$  e  $30^\circ$
- Seja  $\tau = 0,1 \times 10^{-6}$  s
- Far*: 17,3 m
- Near*: 23,3 m
- Sendo 1 e 2; 3 e 4 separados em 20 m
- Em “*near*” não são separados, mas em “*far*” sim!

# Resolução azimutal

- Quanto mais estreito é o início do lóbulo, maior é a resolução
- A largura do lóbulo é diretamente proporcional ao  $\lambda$  transmitido
- Quanto maior a antena, menor é a largura do lóbulo

$$R_{az} = \frac{S \cdot \lambda}{L}$$

$R_{az}$ : resolução azimutal  
 $L$ : comprimento da antena  
 $S$ : distância Antena-Superfície  
 $\lambda$ : comprimento de onda

- Quanto menor for a abertura angular do lóbulo, maior é a resol.

$$R_{az} = G_r \cdot \beta$$

$R_{az}$ : resolução azimutal  
 $\beta$ : abertura angular  
 $G_r$ : distância proj. no terreno

# Resolução azimutal

$$R_{az} = \frac{S \cdot \lambda}{L}$$

$$R_{az} = G_r \cdot \beta$$

$R_{az}$ : resolução azimutal

$L$ : comprimento da antena

$S$ : distância Antena-Superfície

$\lambda$ : comprimento de onda

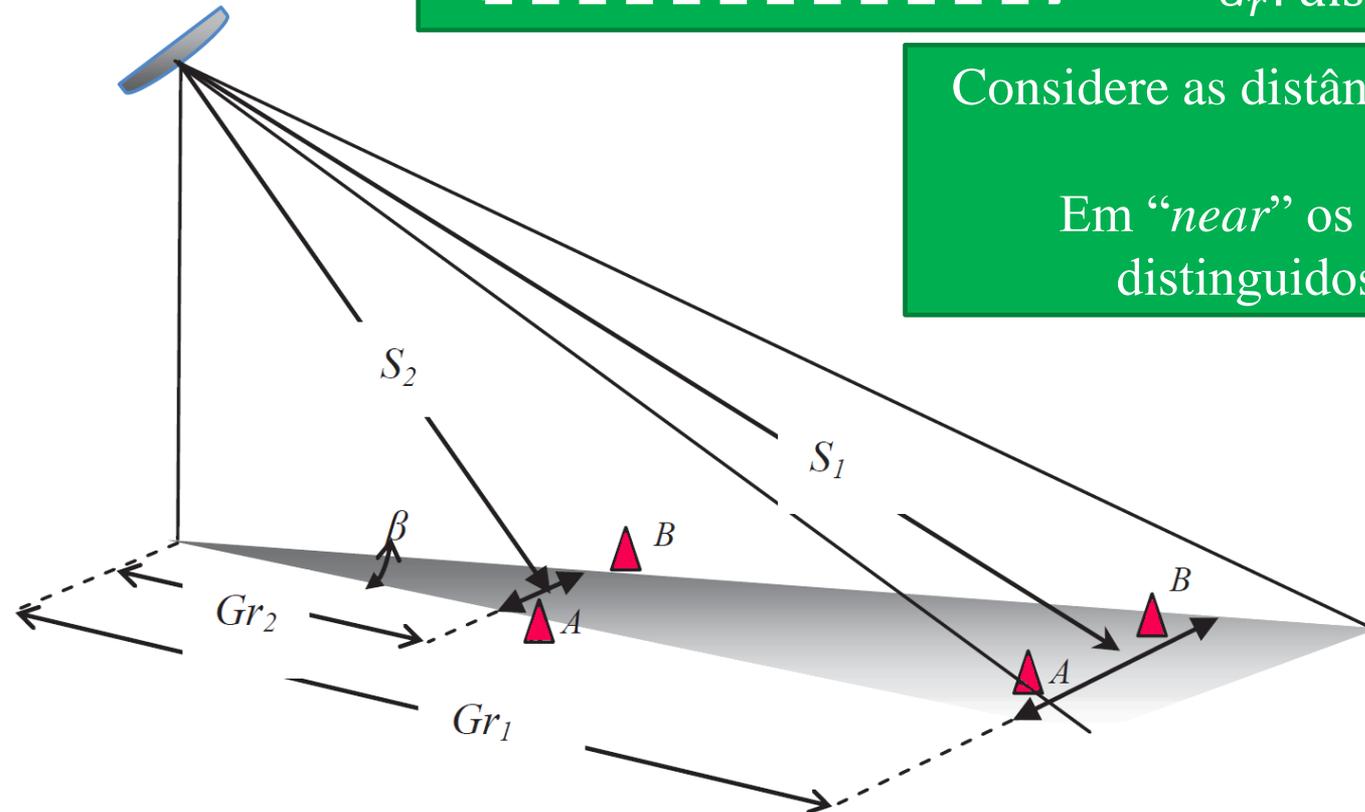
$\beta$ : abertura angular

$G_r$ : distância proj. no terreno

Considere as distâncias entre  $A$  e  $B$  iguais

Em “near” os objetos  $A$  e  $B$  são distinguidos, em “far” não

$$\beta = \frac{\lambda}{L}$$



# Resolução azimutal

- Segundo a relação:

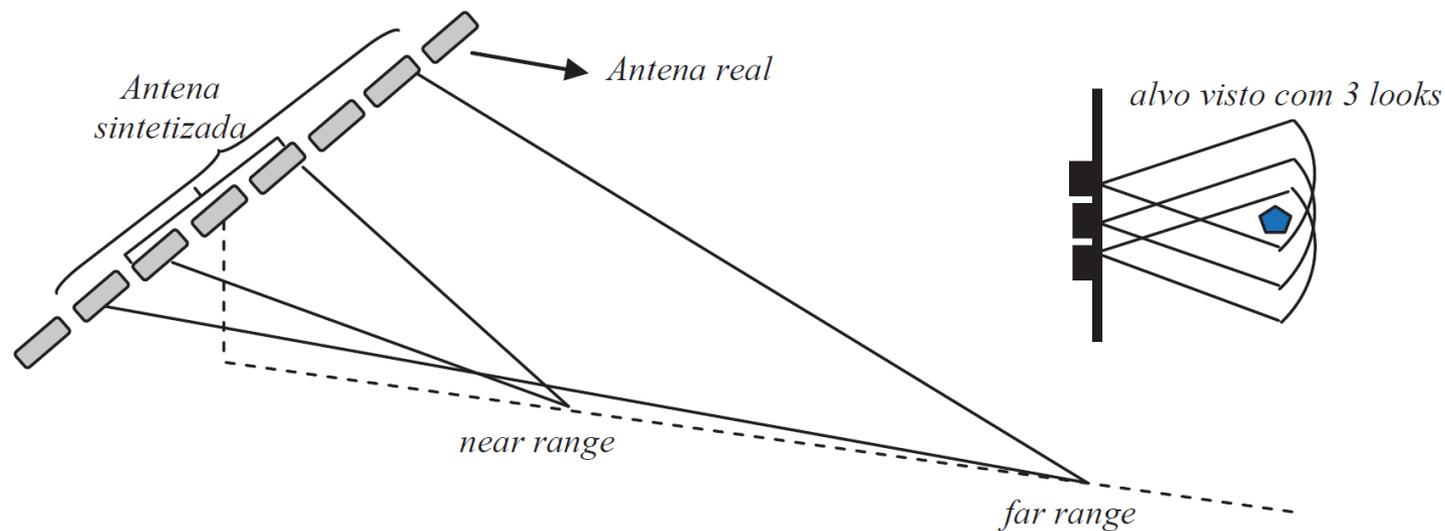
$$\beta = \frac{\lambda}{L}$$

...podemos concluir basta aumentar o tamanho da antena!

- O que não é solução que se preze...
  - As plataformas orbitais e aviões devem carregar a menor quantidade de carga útil possível!
  - A solução foi SIMULAR o tamanho de antena, mudando os então Radars de Abertura Real (RAR) pelos de Abertura Sintética (SAR)
-

# SAR - Synthetic Aperture Radars

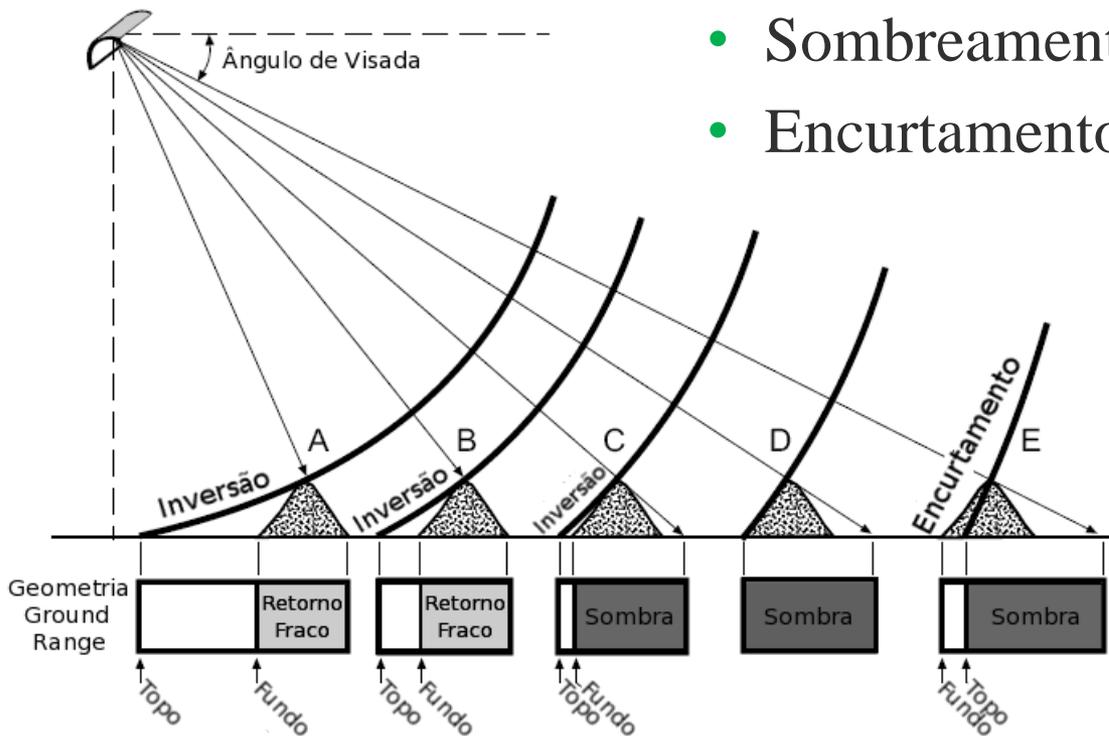
- Tecnologia atual
- A partir de uma antena pequena é simulada uma grande
- Isso é feito via Processamento de Sinais (muito intrincado!)
- O movimento da plataforma é considerado para “aumentar” o tamanho da antena
- A antena (pequena) observa o alvo várias vezes (*look*)
- Os objetos em “*near*” são vistos mais vezes que os em “*far*”



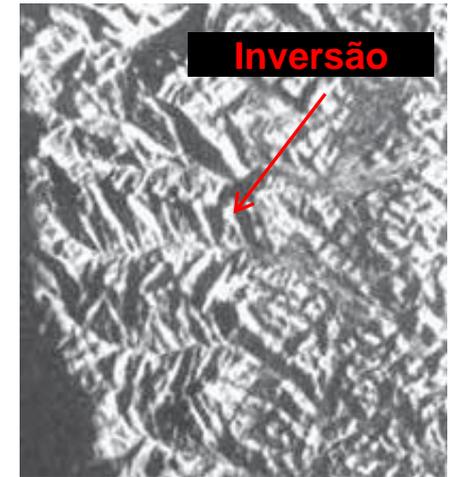
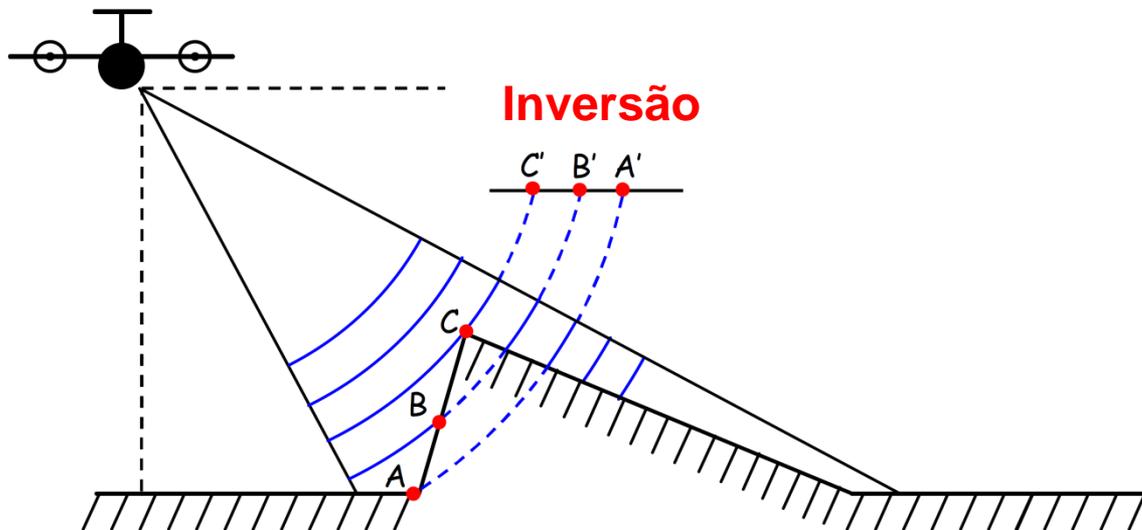
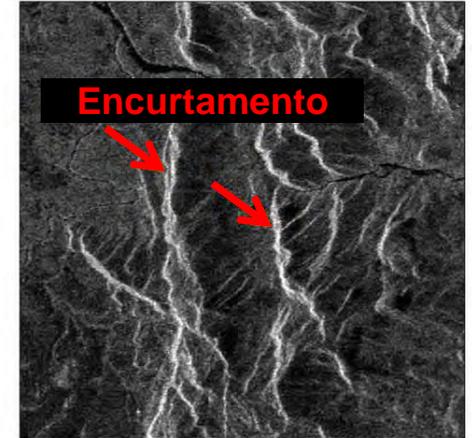
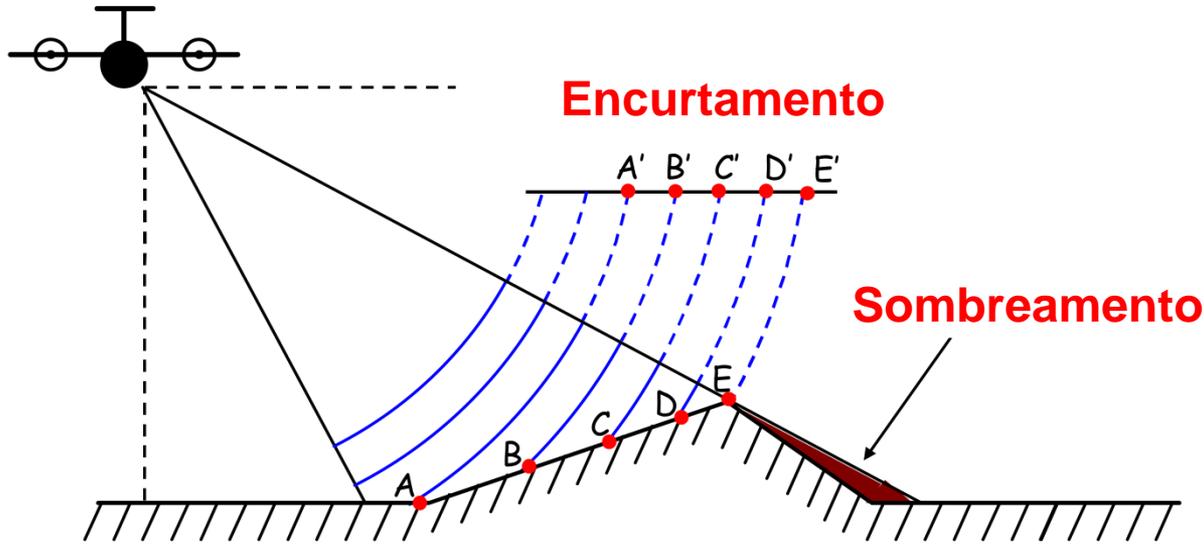
# Distorções geométricas

- A imagem é construída no plano inclinado (*slant range*)
- Isso causa deformações, mas existem procedimentos para corrigir “do plano inclinado” para o “plano do terreno” (*ground range*)

- Outros problemas não tem solução:
  - Inversão de relevo (*layover*)
  - Sombreamento (*shadowing*)
  - Encurtamento de rampa (*foreshortening*)

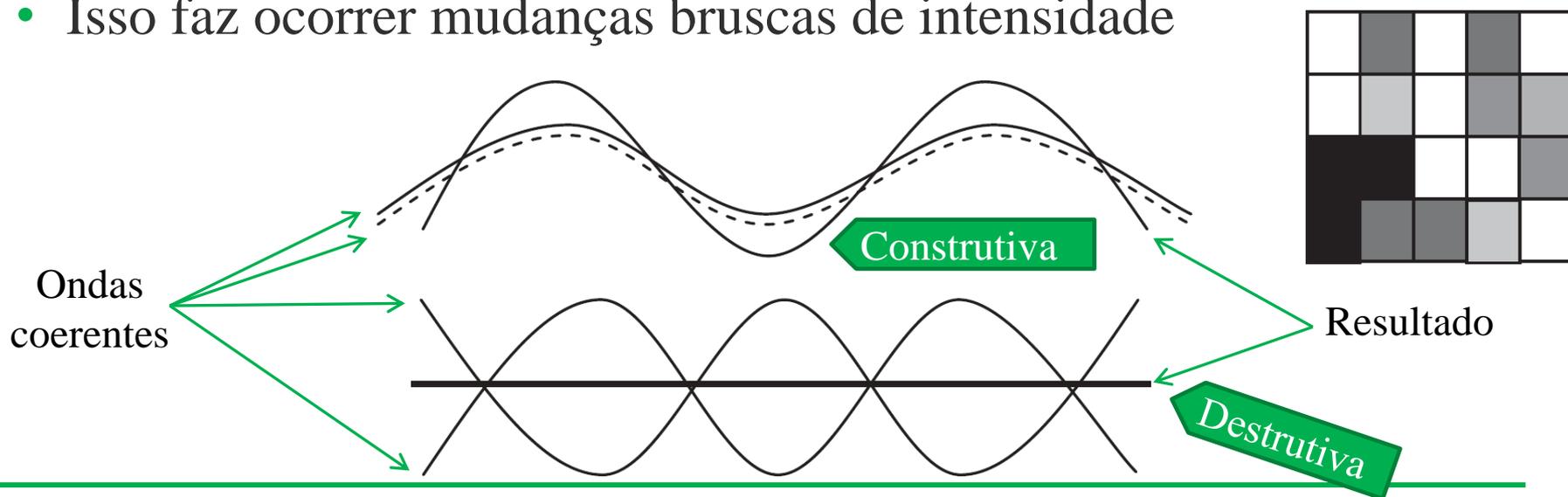


# Distorções geométricas



# Ruído Speckle

- As ondas emitidas pelo RADAR são coerentes
  - Ondas de mesma frequência, fase e direção
- Por conta da “coerência” dos radares, surge o *speckle*
  - Ruído multiplicativo
  - Em uma célula de resolução podem existir vários difusores
  - Várias ondas são refletidas, com diferentes características
  - Ocorrem interferências construtivas e destrutivas
  - Isso faz ocorrer mudanças bruscas de intensidade



# Interação com os objetos

- O modelo corpuscular não se aplica (energia muito pequena)
  - É empregado o modelo ondulatório
  - Para interpretar os alvos na imagem de RADAR, devem ser considerados:
    - Comprimento de onda
    - Direção de visada
    - Ângulo de incidência
-

# Em relação ao comprimento de onda

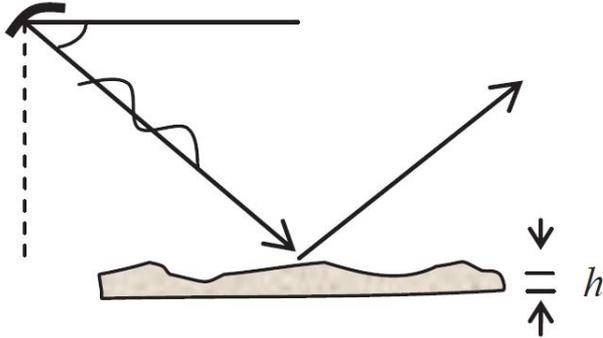
- O comprimento de onda é importante para determinar a rugosidade do superfície
  - Superfície rugosa
    - Refletor difuso espalha em todas direções
    - O tamanho da onda é menor que as variações na superfície
  - Superfície lisa
    - Não há retorno para o sensor (reflete p/ outro lado)
    - A onda é muito maior que a variabilidade média da superfície



A – Rio – Reflexão especular  
B – Vegetação – Reflexão difusa  
C – Construções – Reflexão difusa  
B e C com graus diferentes

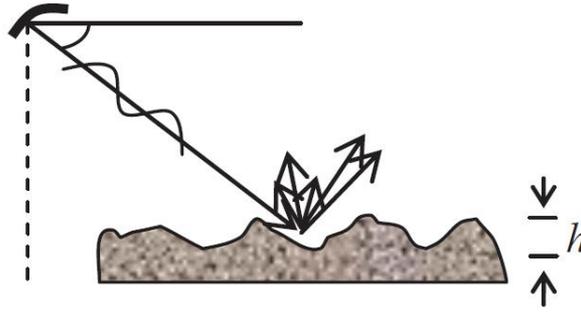
# Em relação ao comprimento de onda

Lisa



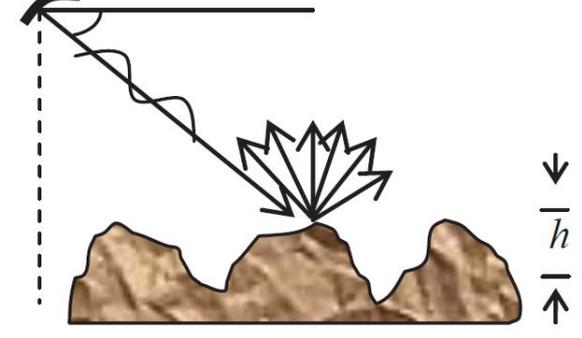
$$h < \frac{\lambda}{25 \text{sen}(\gamma)}$$

Intermediária



$$\frac{\lambda}{4,4 \text{sen}(\gamma)} < h < \frac{\lambda}{25 \text{sen}(\gamma)}$$

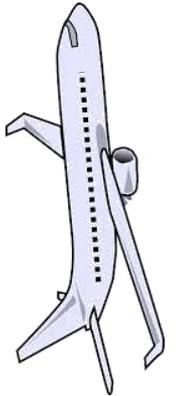
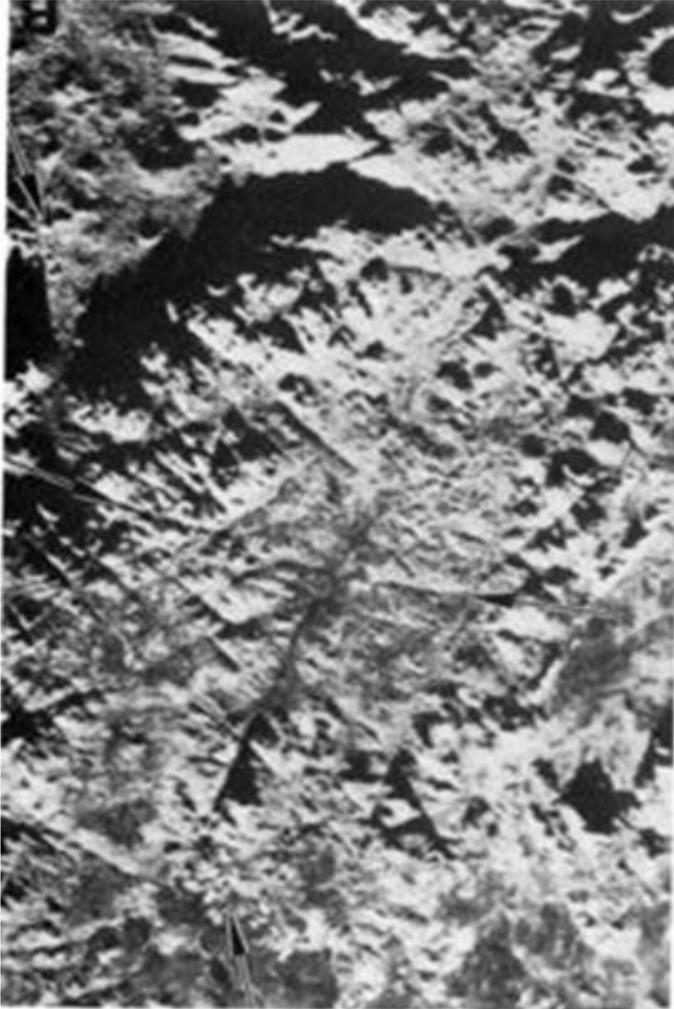
Rugosa



$$h > \frac{\lambda}{4,4 \text{sen}(\gamma)}$$

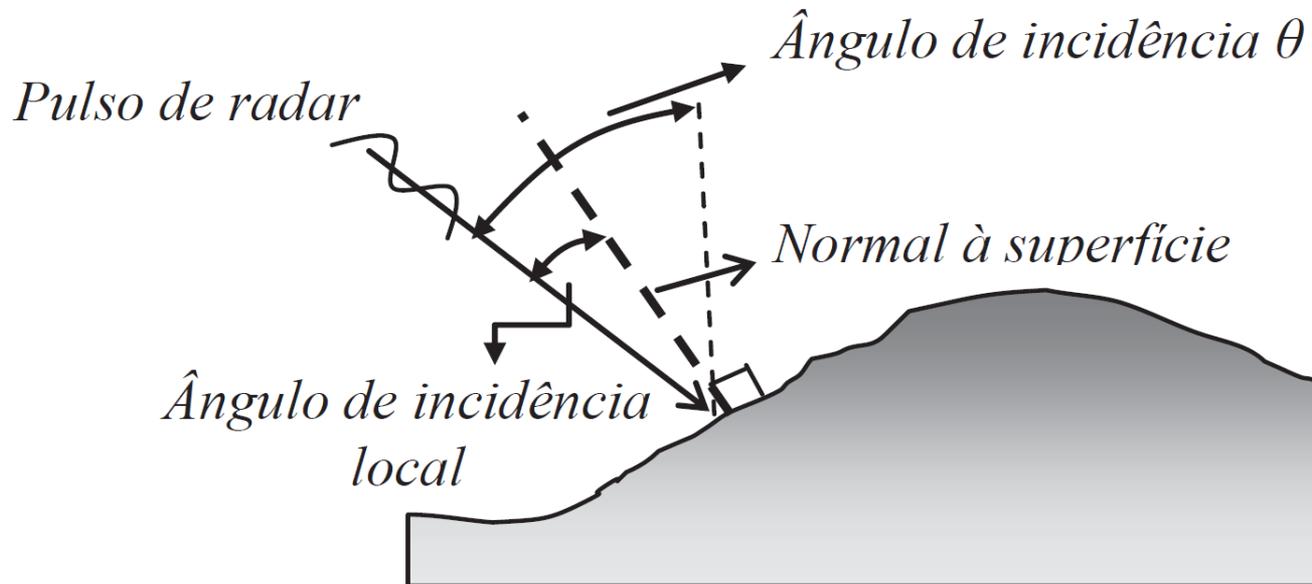
- Note que  $h$  deve ser conhecido

# Em relação a direção de visada



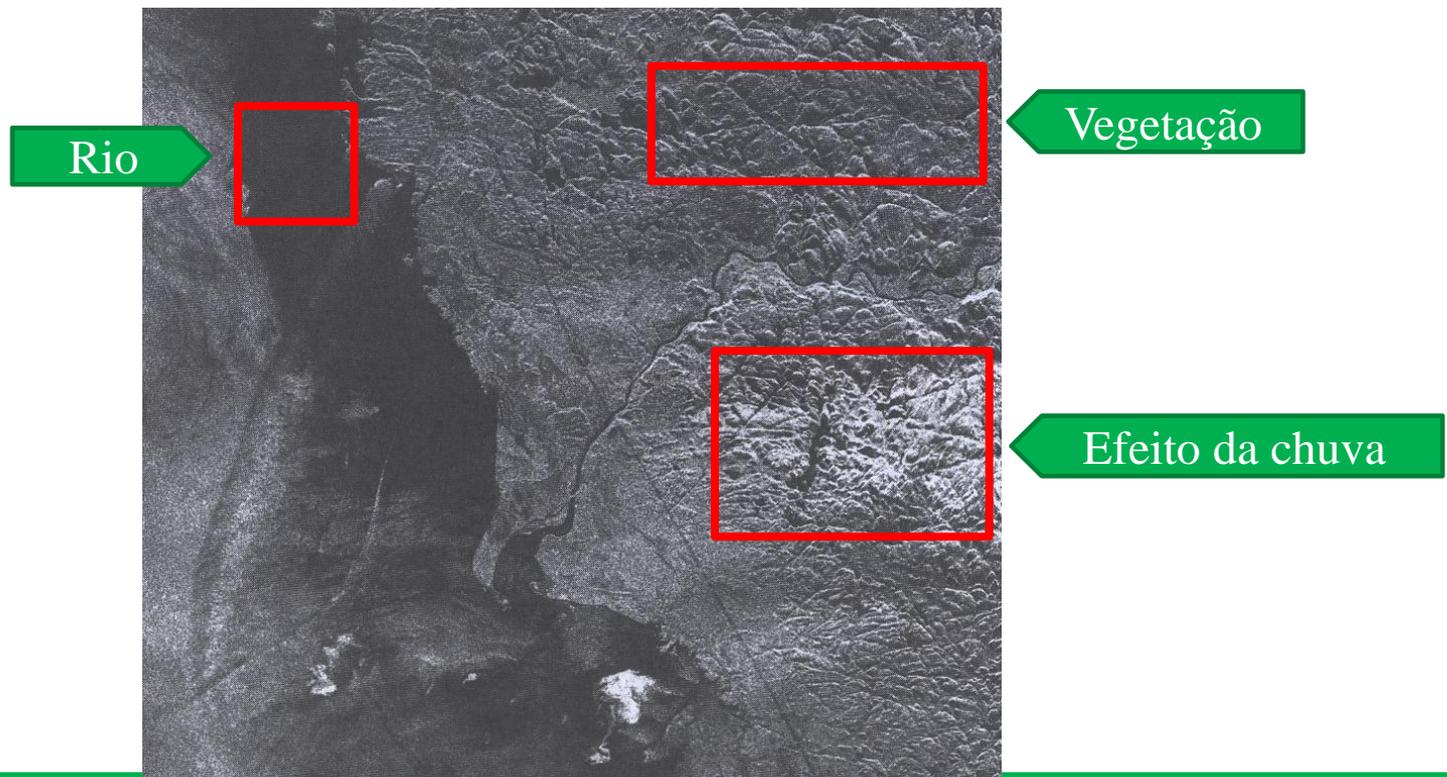
# Em relação ao ângulo de incidência

- Os diferentes ângulos de incidência local resultam em diferentes intensidades de retorno de sinal
- Proporciona um *dégradé* em cinza → textura de encosta
- Quanto menor o ângulo, mais intenso é o sinal



# Constante dielétrica

- Independente de  $\lambda$  ou rugosidade, uma condição para que o alvo apresente forte retorno é sua constante dielétrica (CD)
- CD é a capacidade do material em formar dipolos na presença de um campo elétrico, armazenar e conduzir energia
- A presença de água implica alta const. dielétrica ( $\approx 80$ )



# Constante dielétrica

LANDSAT

Faixa de SIR-A



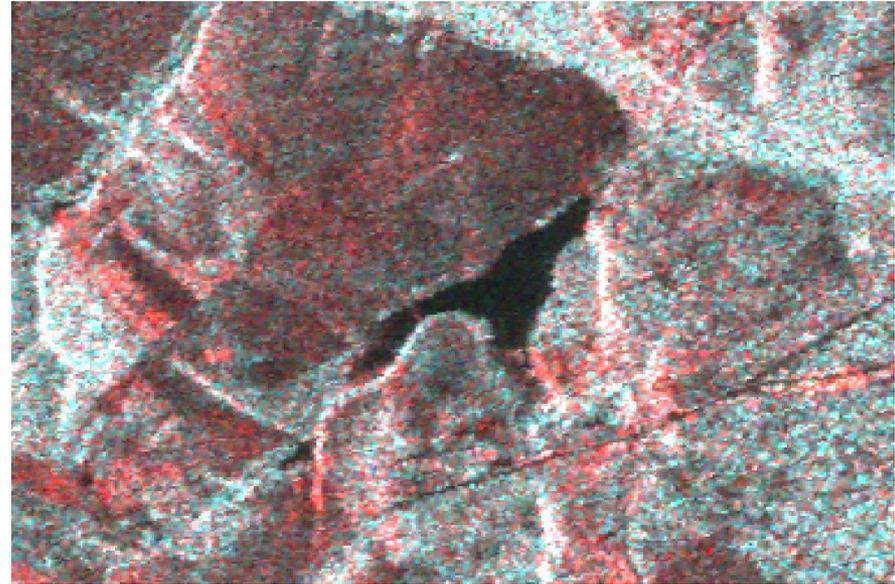
- Baixa CD da areia permitiu que as ondas do RADAR penetrassem em 3,5 *m*
- A imagem revelou paleocanais soterrados pela areia!

# Exemplo: SPOT vs. ALOS-PALSAR

SPOT – Faixas do visível – 1,5 m res.  
Composição RGB: Natural



PALSAR –  $\lambda = 23\text{ cm}$  – 12,5 m res.  
Composição RGB: VV HV HH



# Bibliografia da aula

- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Orgs.) **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**, UNB/CNPq, Brasília, 2012.
- Mura, J. C.; Freitas, C. C.; Dutra, L. V.; Sant'Anna, S. J. S.; Gama, F. F. **Análise de Imagens SAR**, Notas de aula. INPE, 2007.

