



Sensoriamento remoto

Sistemas Ativos: RADAR

Prof. Dr. Jorge Antonio Silva Centeno Universidade Federal do
Paraná

Departamento de Geomática

Disciplina
código

SENSORIAMENTO REMOTO I
GA111



SISTEMAS ATIVOS

- Sumário:

RADAR

- Princípio de funcionamento
- RADAR de abertura sintética - SAR
- Propriedades geométricas das imagens: Sombra, Encurtamento de rampa, Inversão do relevo
- Propriedades espectrais
- Sistemas comerciais

Sistemas ativos - o RADAR

Os sistemas ativos:

- não dependem de uma fonte externa de energia.
- Emitem energia eletromagnética em direção ao alvo e medem a parcela da energia refletida pelo mesmo na direção do sensor.

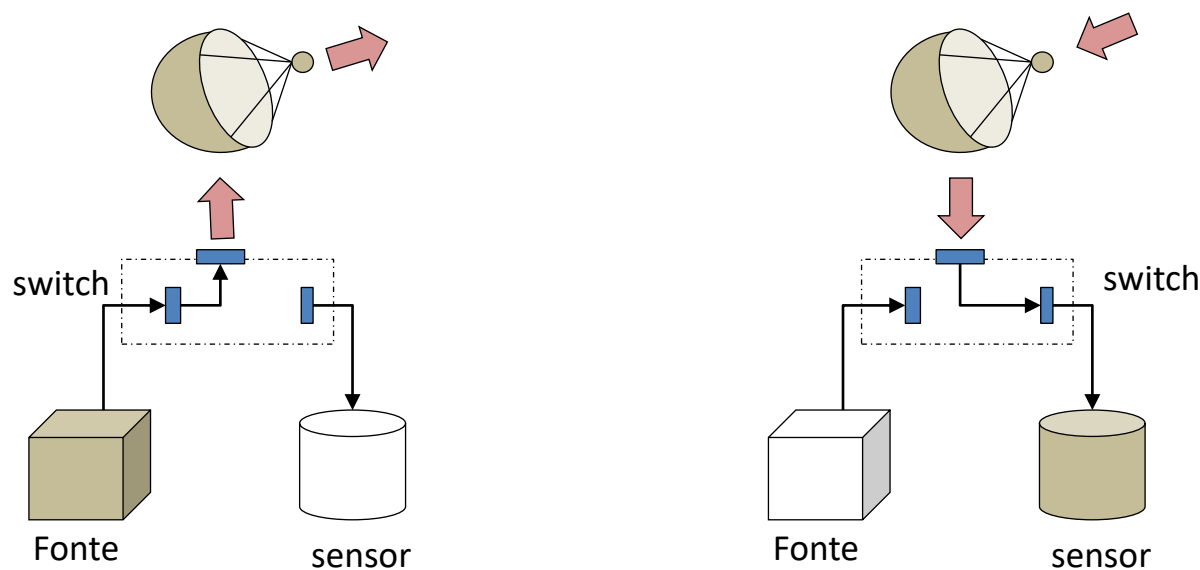
Exemplo:

- RADAR
- *RA*dio *D*etection and *R*anging.



Princípio de funcionamento

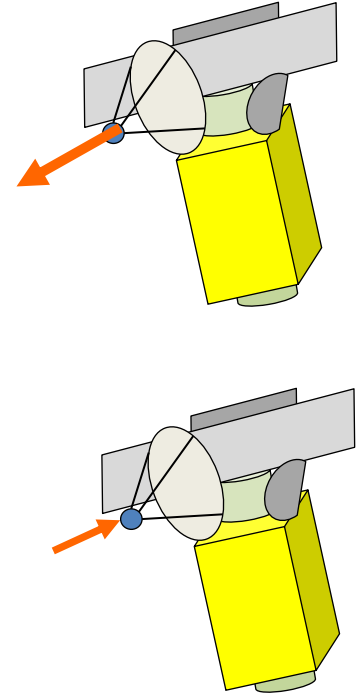
- São sistemas ativos que utilizam energia eletromagnética na faixa das micro-ondas (entre 1mm e 1m).
- Vantagem: as micro-ondas são capazes de penetrar nas nuvens e poeira, não depende das condições atmosféricas.



Os sistemas de sensoriamento remoto por RADAR são compostos basicamente por um emissor de energia, um receptor, uma antena e um switch para alternar a recepção e emissão de sinais pela antena

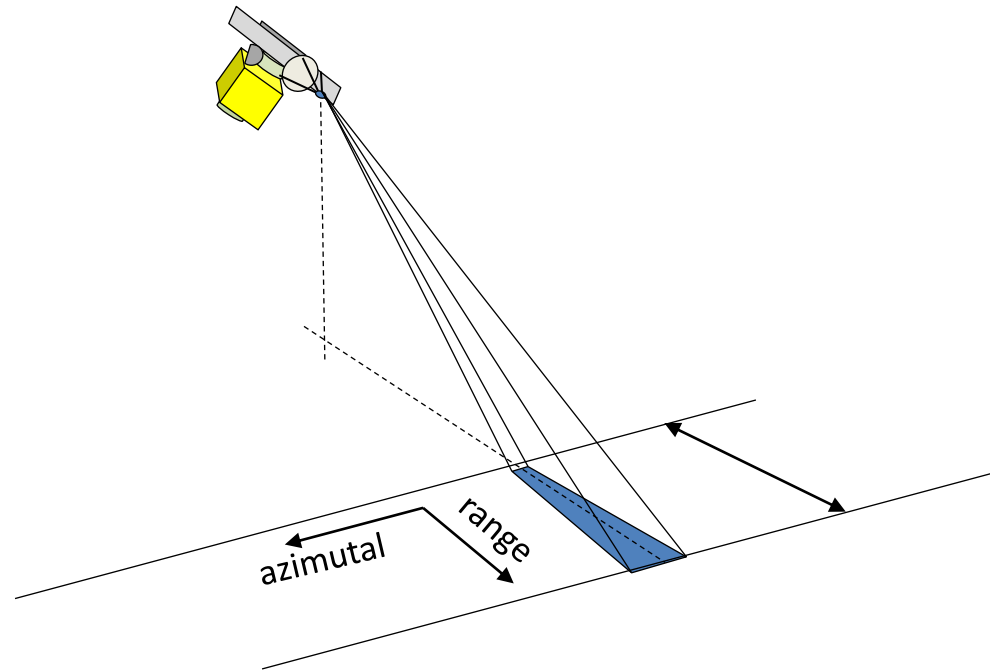
Funcionamento

- Por um curto intervalo de tempo, o switch de controle aciona o módulo de emissão de energia permitindo que a o emissor envie um sinal em direção ao alvo através da antena.
- No instante seguinte, o switch é mudado de posição, fazendo com que o sistema passe a funcionar como um sistema de captação de sinais, e os ecos do sinal emitido, que são refletidos pelo objeto, são registrados pela unidade receptora.
- O sinal captado é posteriormente amplificado e gravado.



Emissão lateral

- Geralmente o transmissor envia pulsos em intervalos regulares na direção perpendicular ao deslocamento. Ou seja, as imagens não são obtidas na posição nadiral. Por este motivo, estes sistemas são também conhecidos como side looking airborne RADAR (SLAR).



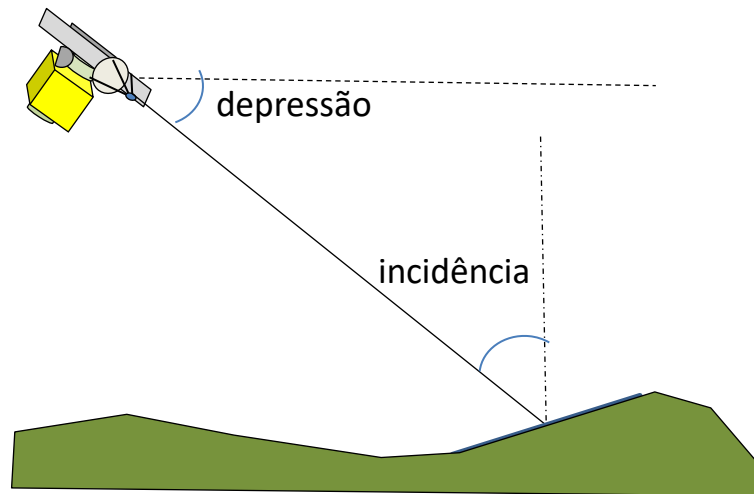
Os impulsos emitidos pela antena são da ordem de $0,1 \mu\text{s}$ ($\text{seg}10^{-9}$)

Emissão lateral

O ângulo com que o feixe incide na superfície é chamado de ângulo incidente.

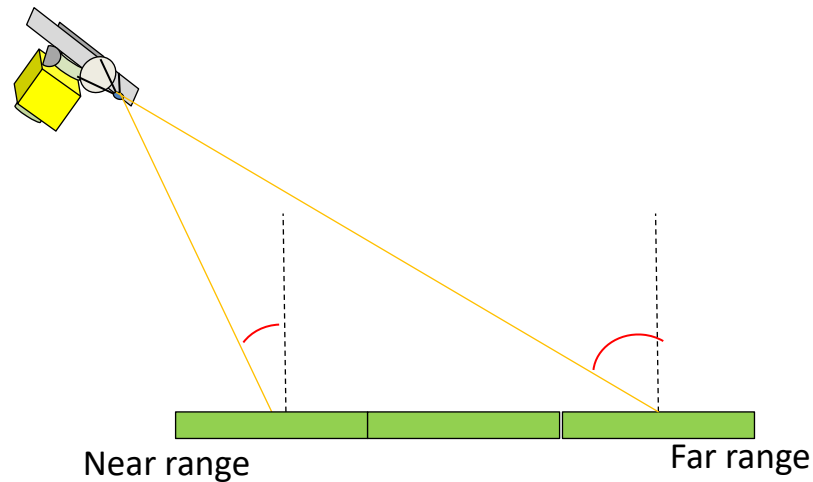
O ângulo com o qual o feixe é emitido é chamado de ângulo de depressão.

Ele é maior para as regiões mais próximas à plataforma (near range), e menor nas regiões mais afastadas na direção perpendicular à linha de vôo (far range).



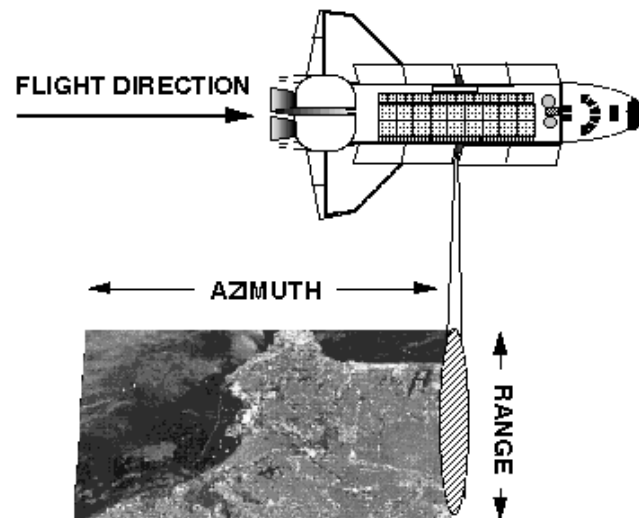
Emissão lateral

Considerando uma região plana, o ângulo de depressão é maior para as regiões mais próximas à plataforma (near range), e menor nas regiões mais afastadas na direção perpendicular à linha de vôo (far range).



Resolução espacial

- é função da posição do pixel em relação à linha de vôo.
- Para um sistema RADAR de abertura real são diferentes na:
 - direção perpendicular à linha de vôo (range):
 - direção paralela à linha de vôo: azimutal:



Resolução espacial RANGE

Na direção perpendicular à linha de vôo (range), o tamanho do pixel depende do comprimento do pulso.

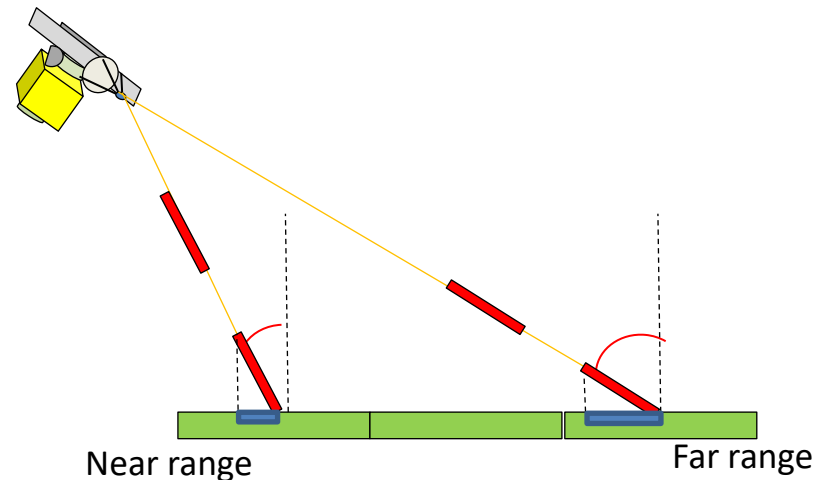
Sendo o tempo de duração do pulso “t” que se propaga à velocidade da luz “c”, o comprimento do pulso é dado por

$$dx = c * t:$$

A projeção deste pulso no terreno é de

$$Rr = (c * t) / (2 \text{ sen}(\theta))$$

- θ = ângulo de incidência.

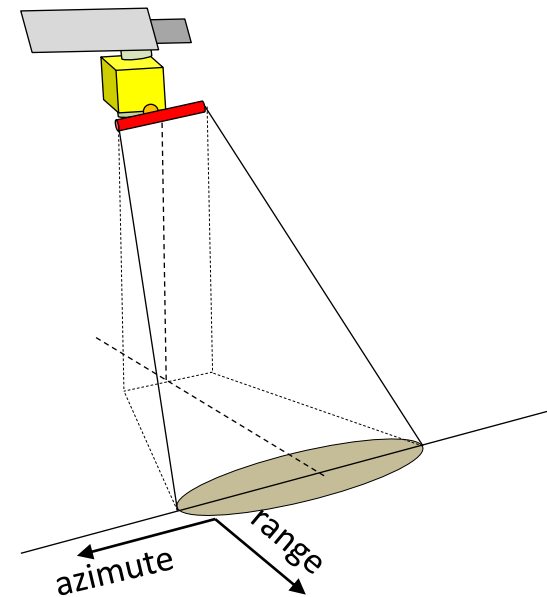


Resolução espacial: Azimute

- Na direção azimutal:

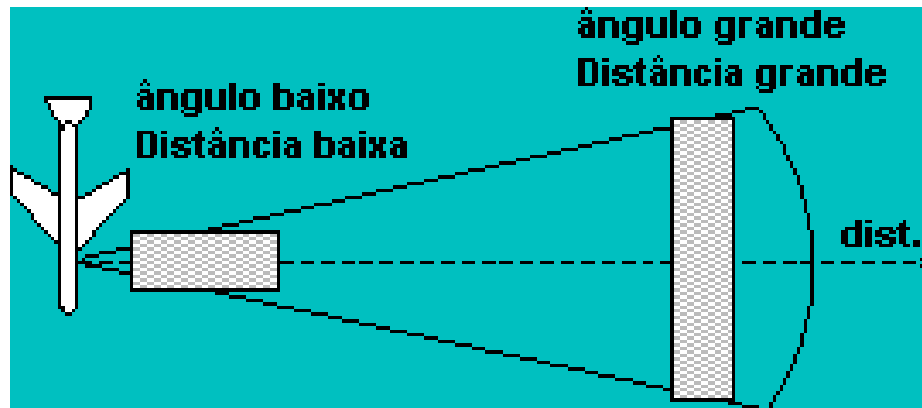
$$R_a = A * (\lambda/d)$$

- A = distância objeto - antena;
- d= comprimento da antena;
- λ = comprimento de onda usado.





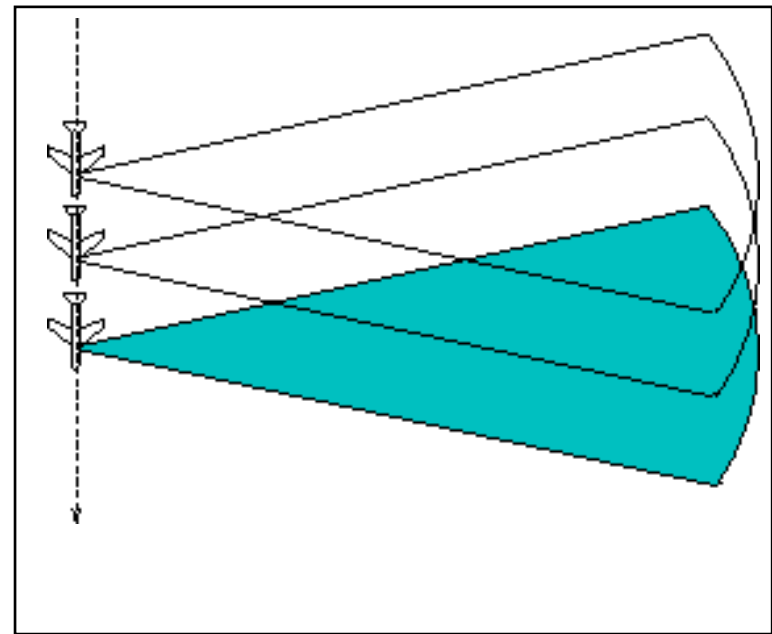
- A geometria do pixel varia na direção range.
- Na faixa próxima à plataforma o ângulo de incidência é baixo, logo a resolução na direção perpendicular ao deslocamento da plataforma é maior. Como os objetos encontram-se mais próximos da plataforma nesta região, a resolução azimutal é menor.
- O contrário ocorre na região mais afastada da plataforma, ou seja *far range*. Neste caso, verificam-se células com dimensões menores na direção range e maiores na direção azimutal.




RADAR de abertura sintética - SAR

- As opções para aumentar a resolução azimutal são alterar o comprimento de onda usado ou o tamanho da antena. O tamanho da antena pode ser ampliado, mas só até um limite operacional, pois os satélites não poderiam carregar antenas muito longas.

O RADAR de abertura sintética (Synthetic Aperture RADAR - SAR) aproveita o deslocamento da antena na direção azimutal para simular uma antena mais comprida

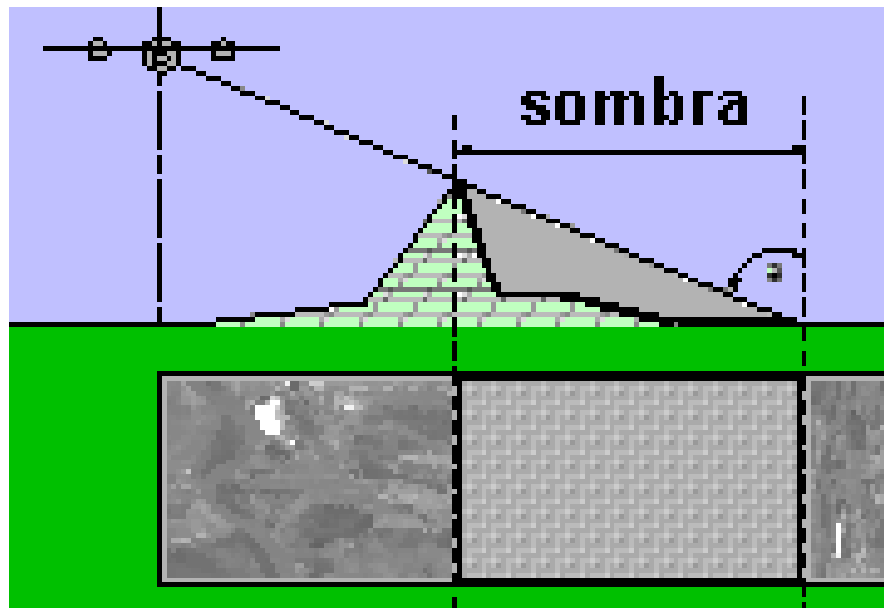


Propriedades geométricas

- 
- ▶ Efeitos e Deformações
 - ▶ As características particulares dos sistemas de RADAR de visada lateral introduzem algumas deformações sistemáticas em suas imagens em função da topografia. Este tipo de deformação pode ser modelado e corrigido através de técnicas de processamento digital de imagens. Os principais efeitos são:
 - a ocorrência de sombras,
 - o encurtamento de rampa e
 - a inversão do relevo.

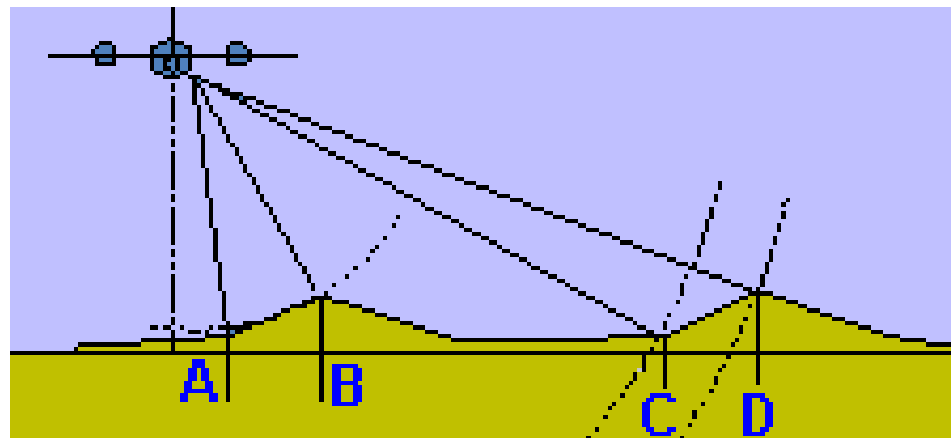
Sombra

- Em regiões de relevo acentuado, a relação entre o ângulo incidente e a inclinação do terreno é importante. Quando ocorrem encostas com declividade maior que o ângulo de incidência e orientação paralela à direção range, então algumas regiões podem ficar sem ser registradas, pois elas passam a ser encobertas por outros pontos do terreno.



Encurtamento de rampa

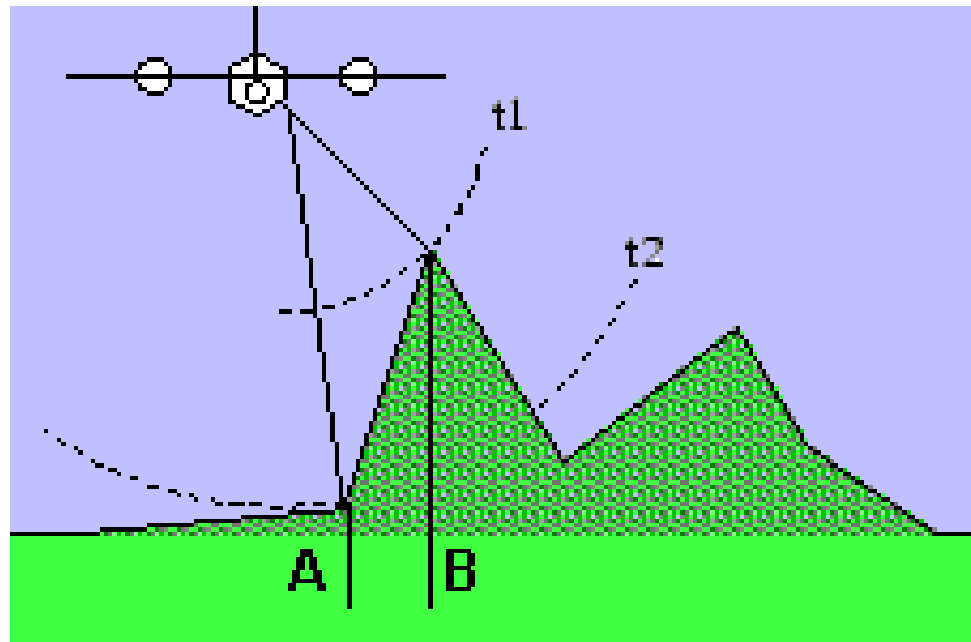
- Alteração do tamanho aparente de planos inclinados em função do ângulo de depressão e a distância à antena..
- Caracterizado pela alteração da dimensão aparente de terrenos inclinados.



Os pontos [A] e [B] são registrados como um único ponto, em virtude de ser equidistantes à antena. Por isto, esta rampa aparece curta na imagem. Já os extremos da rampa [CD] , mesmo sendo igual a [AB], são registrados em pixels diferentes por ficarem mais afastados da antena.

Inversão do relevo

- A inversão do relevo é o caso extremo do encurtamento de rampa. Neste caso, a deformação é tão acentuada, que o ponto mais alto (e mais distante da antena) é registrado primeiro e o ponto mais próximo da antena (na base da rampa) é captado por último, dando a sensação de relevo invertido.



Bandas espectrais

Nome faixa espectral

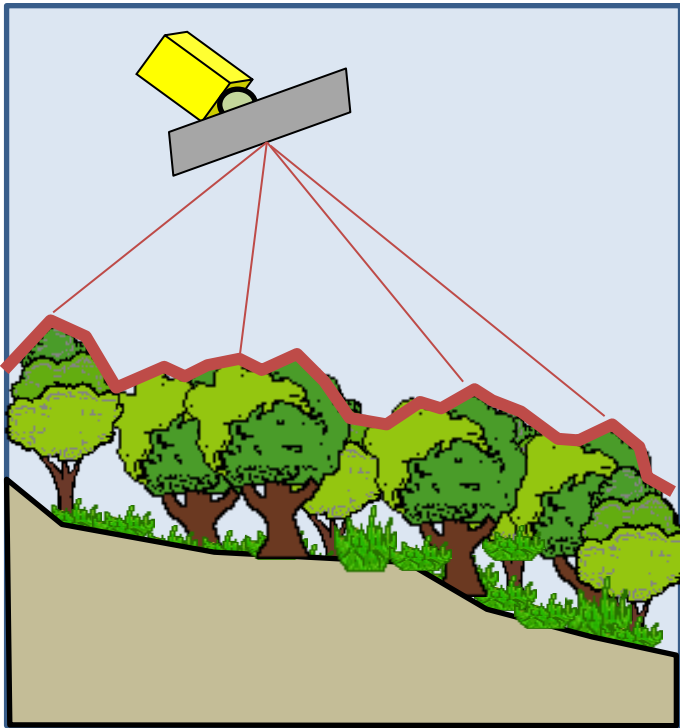
Ka	0.75 - 1.1 cm
K	1.1 - 1.67 cm
Ku	1.6 - 2.4 cm
X	2.4 - 7.5 cm
C	3.75 - 7.5 cm
S	7,5 - 15cm
L	15 - 30 cm
P	30 -100 cm

- A banda [C] é comum em muitos sistemas aerotransportados e em sistemas transportados por satélites, como ERS-1 e 2 e RADARSAT.

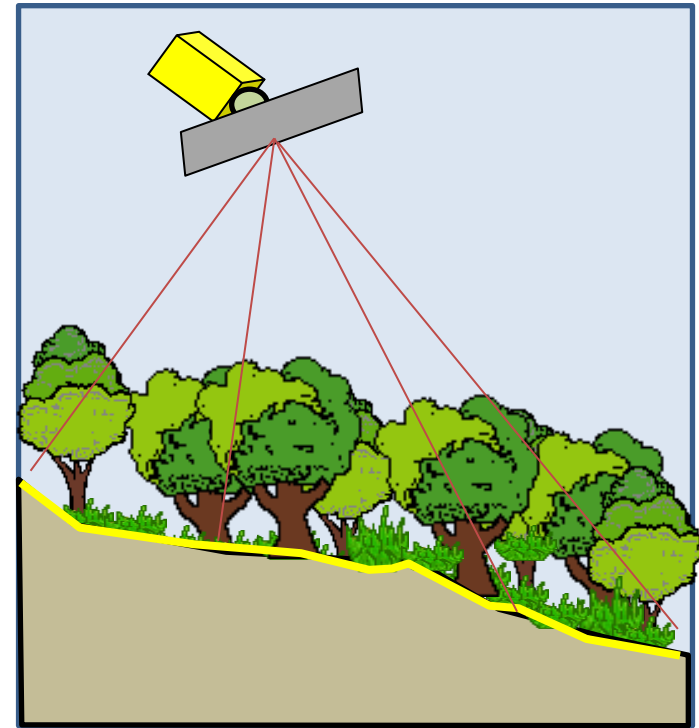
- A banda [L] é usada a bordo do SEASAT (USA), o JERS-1 (Japão) e sistemas aerotransportados da NASA

Penetração na vegetação

- Dependendo da frequência, alguns RADARES são capazes de penetrar na vegetação (ou até nos solos)



Banda X (ondas mais curtas)



Banda P (ondas mais longas)

Bandas

Anais do IV Workshop em Tratamento de Imagens, NPDI/DCC/ICEx/UFMG, p. 4-13, Junho de 2003.

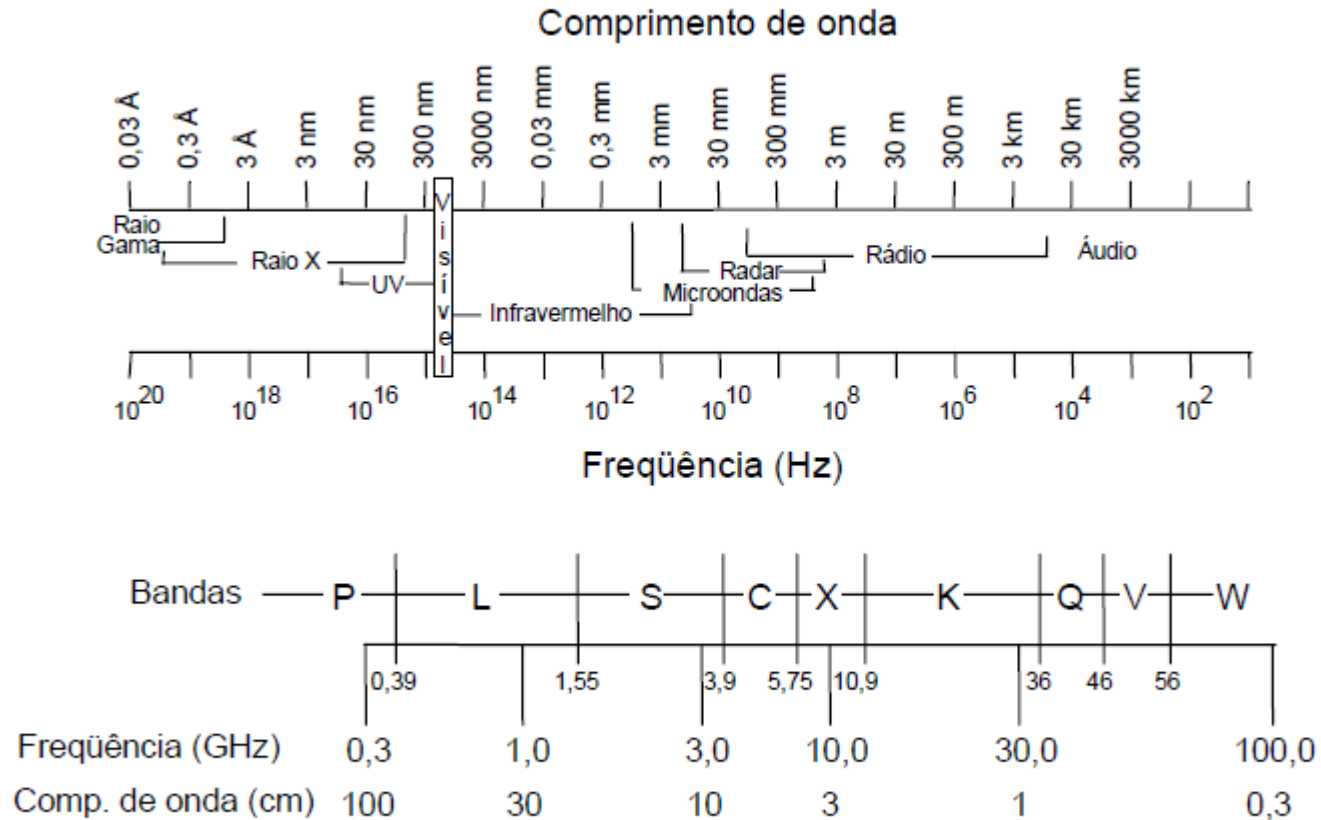


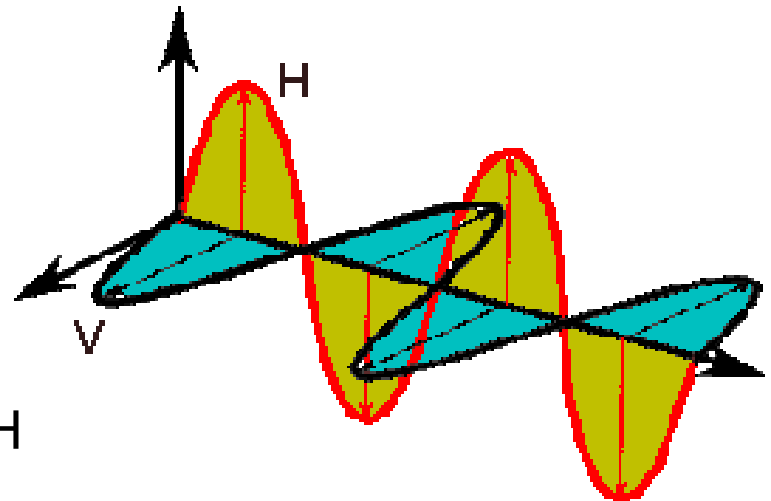
Figura 1: - Espectro eletromagnético e bandas da região de microondas.

Polarização

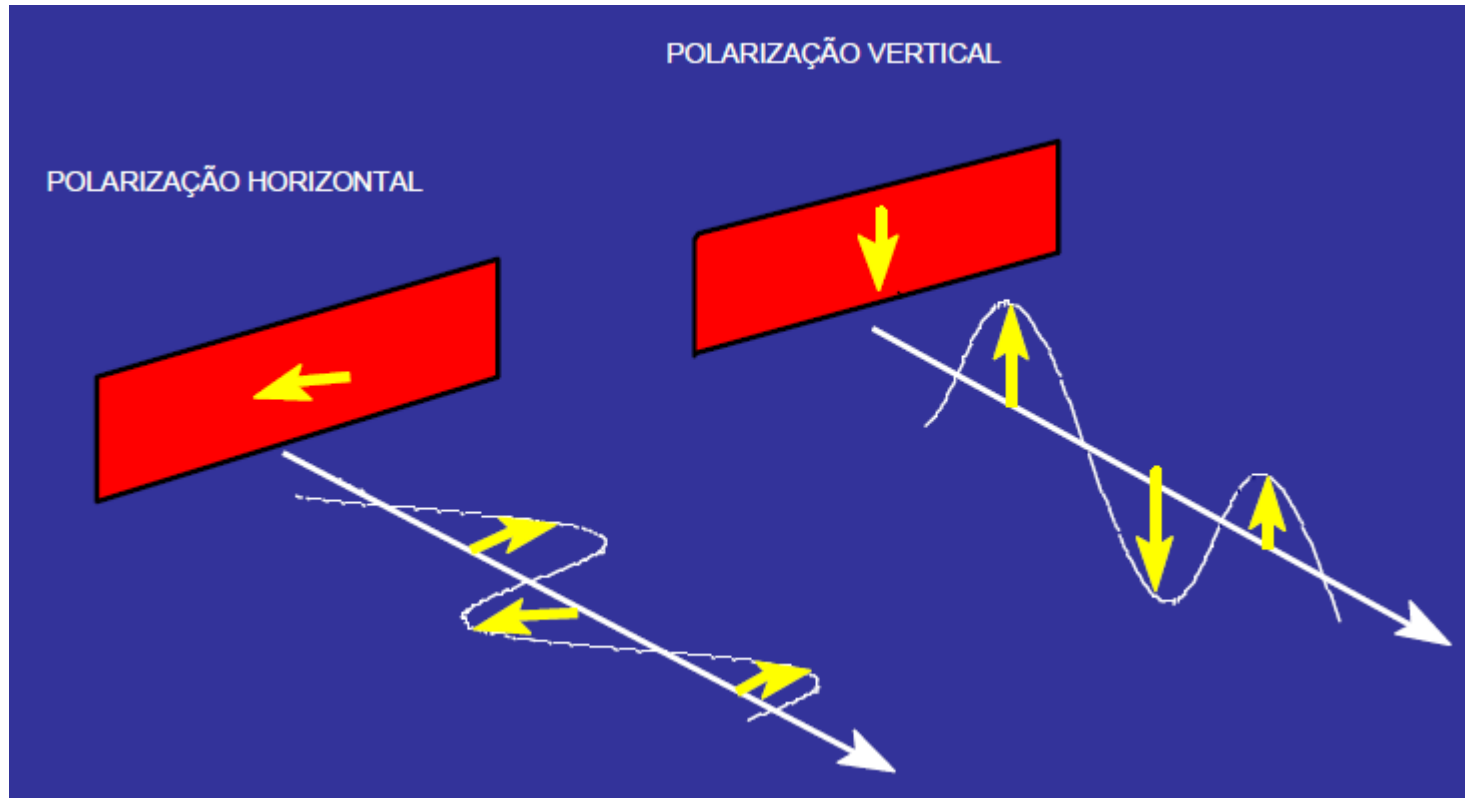
- A polarização se refere à orientação do campo eletromagnético emitido e do retorno registrado. Ela pode ser vertical [V] ou horizontal [H]. A polarização do sinal emitido pode ser modificada pela interação com a superfície dos objetos:
- HH - Emissão e recepção horizontal
- VV - Emissão e recepção vertical
- VH - Emissão vertical e recepção horizontal (polarização cruzada)
- HV - Emissão horizontal e recepção vertical (polarização cruzada).

A radiação usada em RADAR deve ser descrita pelo binômio comprimento de onda - polarização. As imagens são então batizadas por termos que combinam o nome da banda usada e a polarização:


Ex. C-HH, L-VH, L-VH



polarização



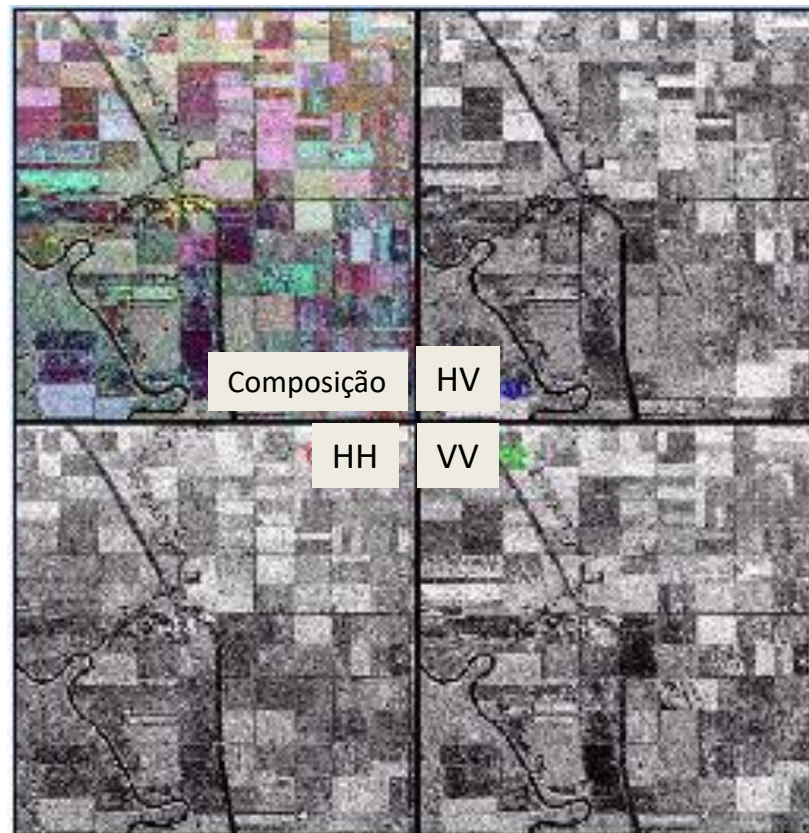
http://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca.earth-sciences/files/pdf/resource/tutor/gsarcd/pdf/bas_intro_p.pdf

- 
- Polarizações múltiplas ajudam a distinguir a estrutura física dos alvos através do retroespalhamento
 - – o alinhamento em relação ao radar (*HH versus VV*)
 - – a aleatoriedade do espalhamento (ex: vegetação - *HV*)
 - – as estruturas com vértices proeminentes (ex: ângulo de fase *HH VV*)
 - – Espalhamento de Bragg (ex: *oceanos - VV*)

http://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca.earth-sciences/files/pdf/resource/tutor/gsarcd/pdf/bas_intro_p.pdf

Exemplo de polarização

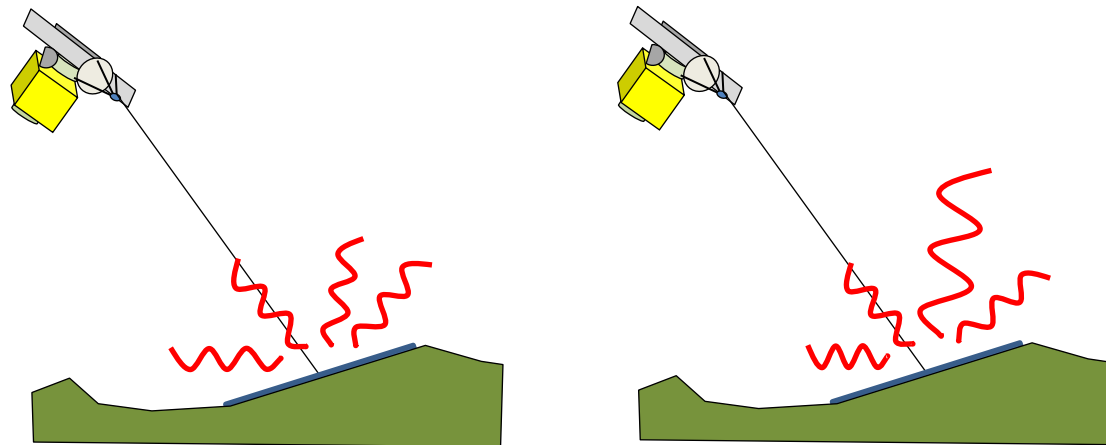
Imagem de RADAR na banda C com diferentes polarizações



- Fonte: Centro Canadense de Sensoriamento Remoto

Retroespalhamento

- As microondas são emitidas pelo sistema e elas são refletidas pela superfície. Dependendo da superfície, parte da energia é refletida em direção à antena. Esta pequena parcela é amplificada e medida pelo sensor.
- Como o sistema é de visada lateral, a maior parte da radiação é refletida longe do sensor.
- É comum chamar de σ a proporção entre a energia retroespalhada e o valor correspondente a uma superfície isotrópica, onde a energia é refletida por igual em todas as direções.



Retroespalhamento

Equação característica do RADAR:

Potência retroestalhada depende da [Pt]= Potência emitida

$$dP_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \sigma^0 dA$$

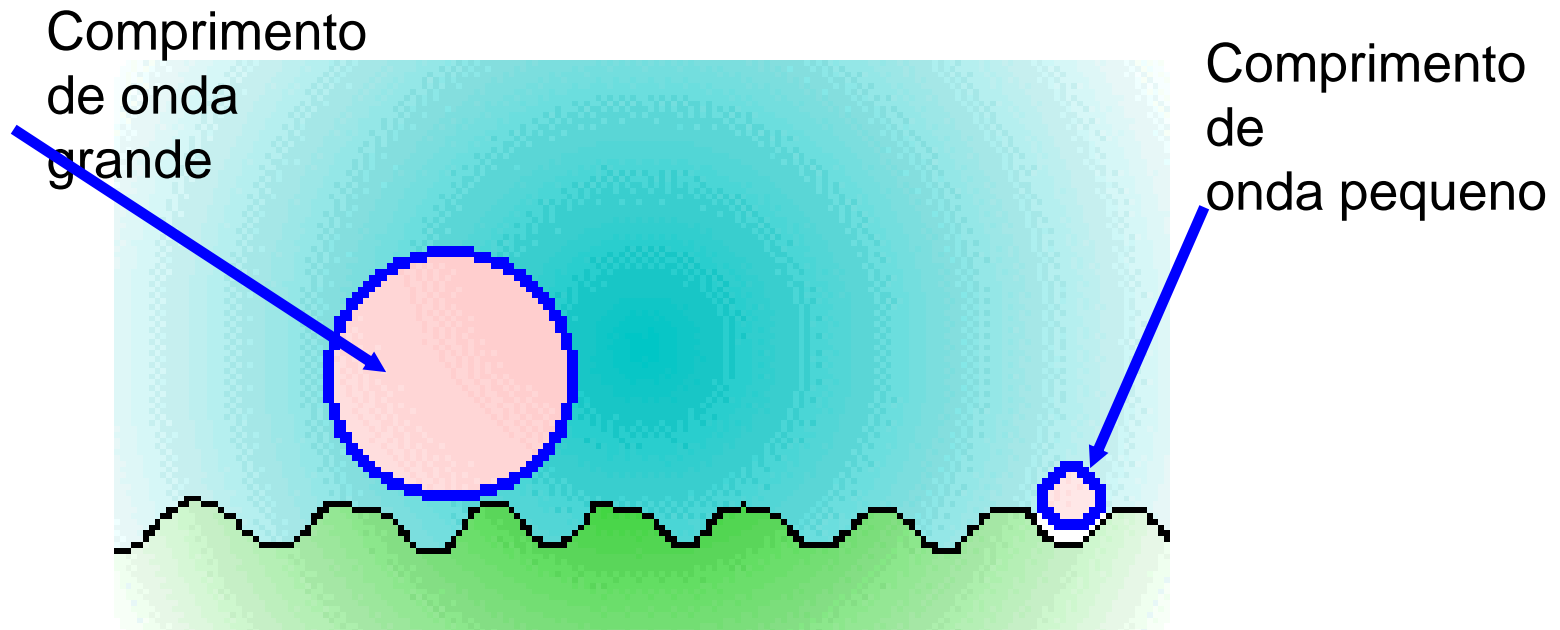
[Pr]= Potência retroestalhada

[Pt]= Potência emitida

- [σ] a seção específica de retroespalhamento,
- [G] ganho da antena,
- [A] a superfície efetiva da antena e
- [R] a distância entre a antena e o objeto.
- Nesta equação, o único termo associado à superfície do objeto é σ
- Este valor descreve a intensidade da interação entre o sinal e a superfície.
- A seção específica de retroespalhamento depende de vários fatores, como por exemplo a rugosidade e as propriedades dielétricas do material, as condições da superfície e a geometria do imageamento

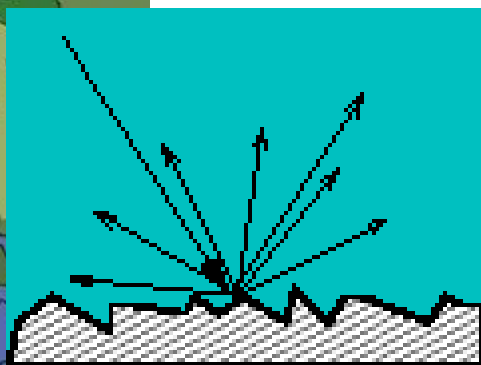
Rugosidade

- Um dos principais fatores que influenciam a resposta da superfície é sua rugosidade, que é uma grandeza relativa e depende também do comprimento de onda utilizado.
- Uma superfície pode parecer lisa quando um feixe de comprimento de onda muito pequeno é utilizado. A mesma superfície ganha aparência de rugosa quando o comprimento de onda do feixe utilizado é aumentado.

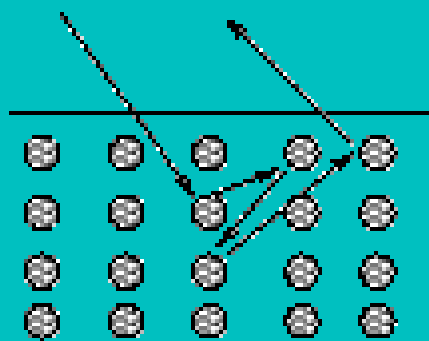


Tipos de retroespalhamento

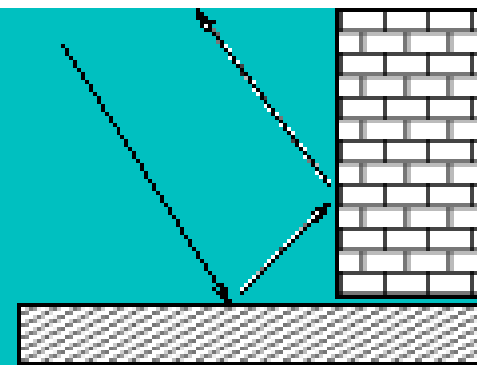
- Difuso: uma pequena parte do sinal emitido é retornado em direção à antena.
- De volume: o sinal é refletido por várias superfícies pela superposição de várias camadas (como as folhas de uma árvore).
- Especular: quando ocorre reflexão total do sinal. (efeito das esquinas).



(a)

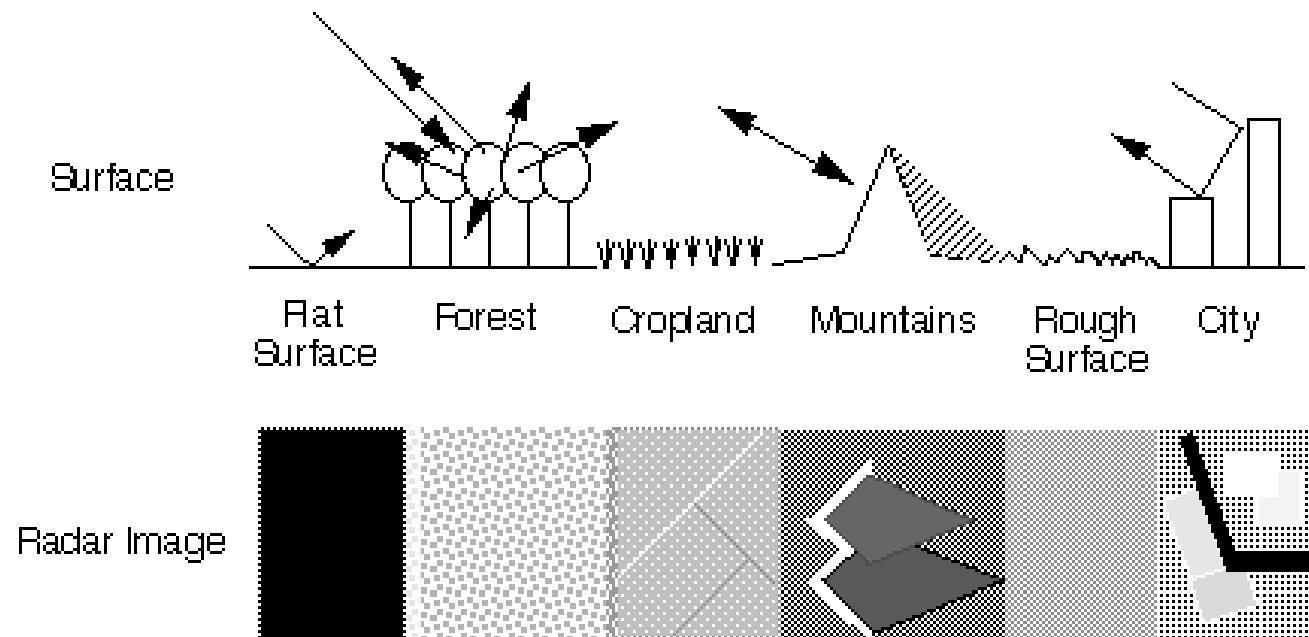


(b)

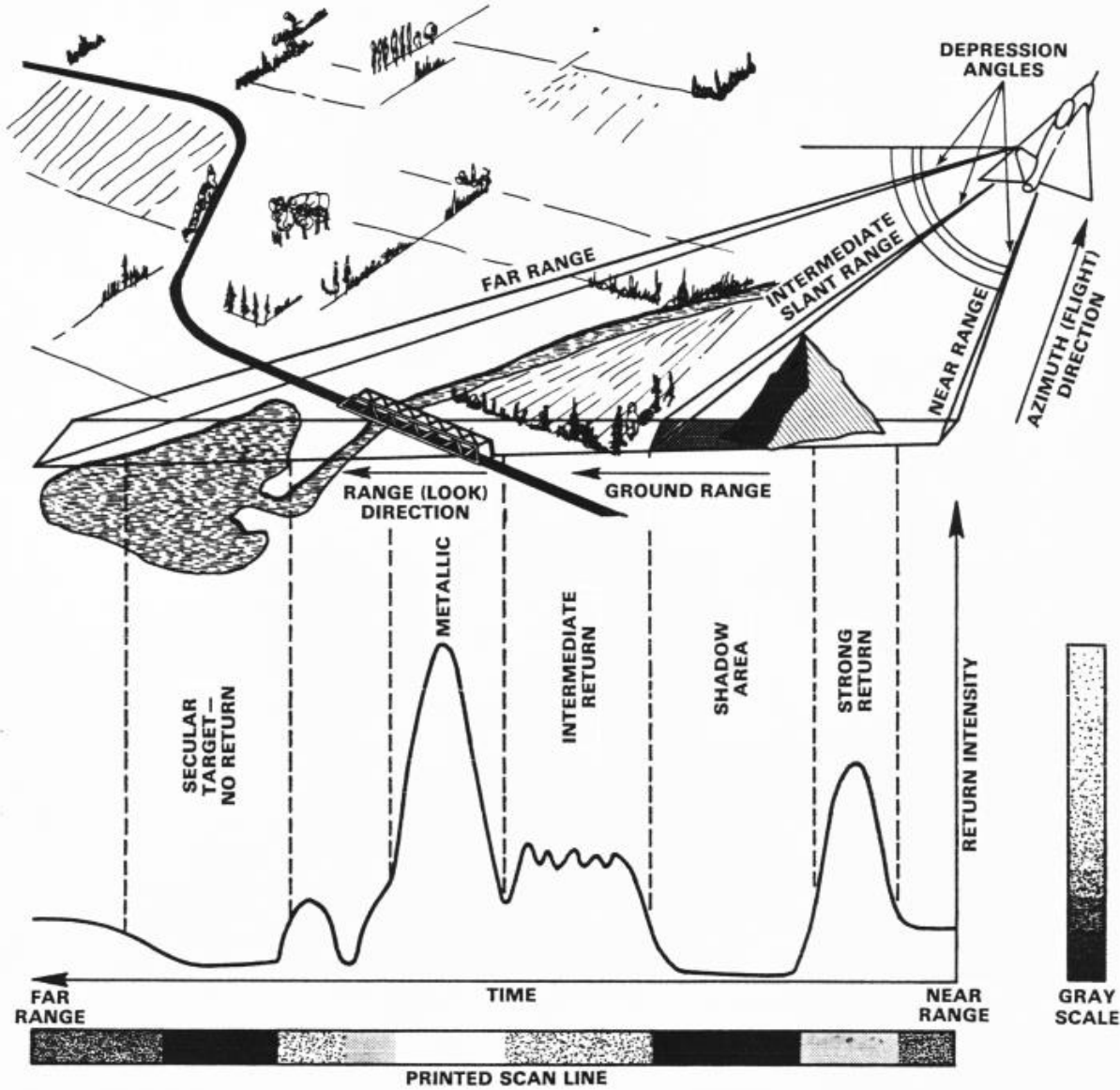


(c)

- As imagens resultantes são decorrentes da interação entre o sinal emitido e as características geométricas da superfície.



nciada





EXEMPLOS DE SISTEMAS (ESA)

Copernicus

Engloba uma série de satélites com sensores SAR (Synthetic Aperture Radar) incluindo

- ESA: ERS-2 and Envisat,
- Italia: Cosmo-SkyMed,
- Canada: Radarsat-2,
- Alemanha: TerraSAR-X and TanDEM-X.

Sistemas comerciais

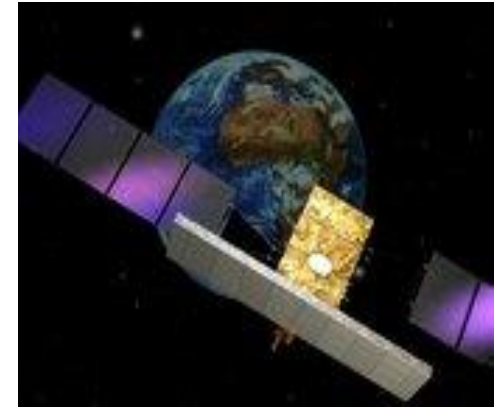
- **ERS-2/SAR (European Space Agency ESA)**
Lançamento 1995
- Bandas: C
- Dois modos:
 - wide-swath mode : faixa de 100 km. Resolução espacial de 26 m range e 6–30 m azimutal.
 - Wave mode: imagens de 5×5 km em intervalos de 200 km.
- **Envisat/ASAR**
lançamento : 2002
- Carrega 10 instrumentos sensores sendo um deles o Advanced Synthetic Aperture Radar (ASAR).
- Banda: C
- modos:
 - imageamento, (30m)
 - Wave (30m)
 - wide-swath (150×150m)
 - global monitoring (1000×1000 m).



<http://www.esa.int>

Cosmo-SkyMed

- Constelação de 4 satélites banda X
- Modos:
 - StripMap: faixa de 3040 km e resolução de 3–15 m,
 - ScanSar: faixa de 200 km e resolução de 30 m a 100 m.
 - Spotlight-2: imagens de 10×10 km e resolução espacial de 1x1 m.



Radarsat-2

- Banda: C.
- Opera em vários modos.
- Resolução espacial varia de 3 a 100 m
- Largura da faixa varia de 20 a 500 km.
- É previsto formar uma constelação com 3 satélites: Radarsat Constellation Mission (RCM)



Sentinel 1

É um RADAR radar de abertura sintética que opera na banda C,
A missão inclui uma constelação de dois satélites em órbita polar.



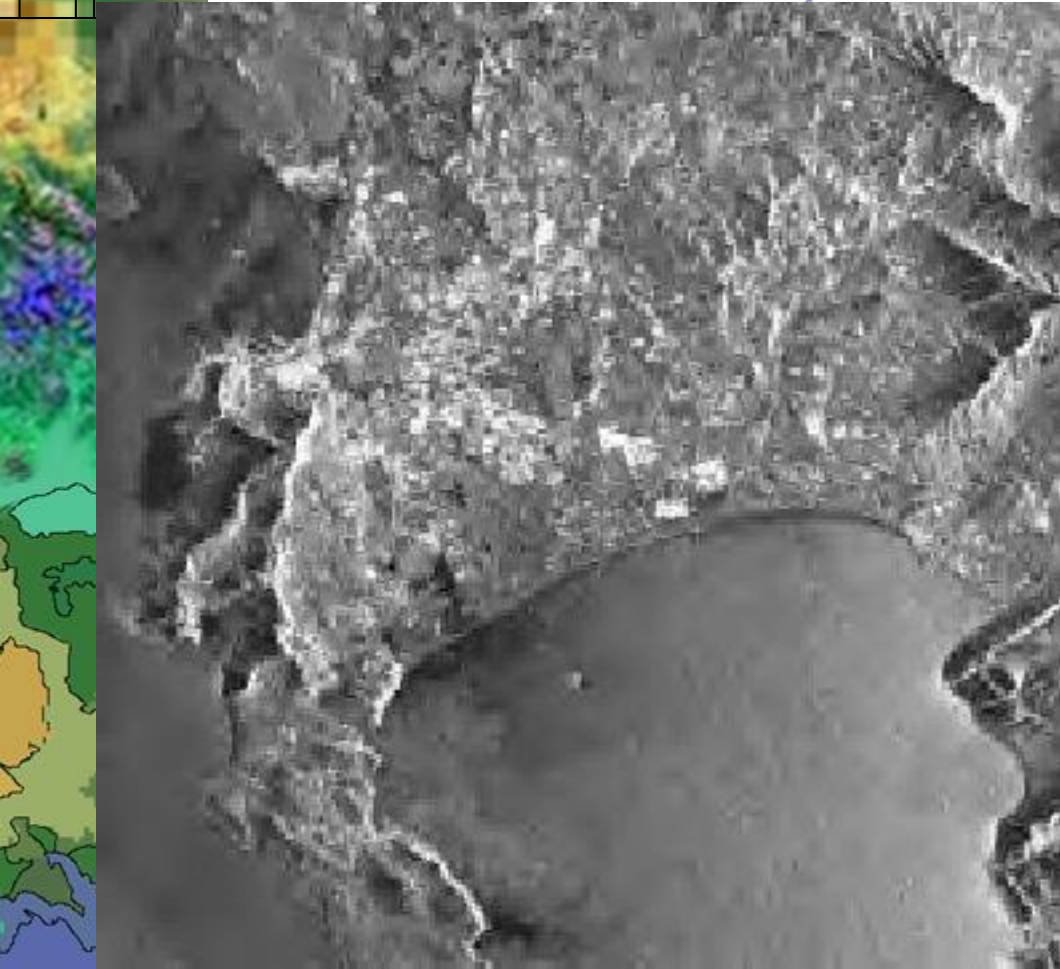
TerraSAR-X e TanDEM-X

- **TerraSAR-X**
lançado em 2007
- Banda: X-band.
- Modos:
 - SpotLight: resolução espacial de 1 m cobrindo 5×10 km,
 - StripMap: resolução espacial de 3 m cobrindo 30×50 km
 - ScanSAR: resolução espacial de 16 m cobrindo 100×150 km.
- **TanDEM-X**
lançamento: 2010 .
- É muito similar a TerraSAR-X.
- Pretende-se usar os dois em conjunto, orbitando muito próximos (250 - 500 m) para a obtenção de modelos digitais do terreno globais.



<http://www.esa.int>

ERS-1



- A imagem corresponde à cidade do Cabo, na África do Sul, obtida em agosto de 2001. As áreas urbanas aparecem claras e são caracterizadas por uma textura rugosa. Nota-se também a presença de montanhas na região leste. Nesta região montanhosa, o efeito da direção de visada é evidente, pois as montanhas apresentam um lado claro e outro com sombras.

RADARSAT



- Recorte de uma imagem obtida pelo sistema RADARSAT durante um evento de cheia no Texas. As imagens de radar foram a única alternativa viável para a observação da região, visto que durante a cheia a obtenção de imagens com sensores ópticos era dificultada pela presença de nuvens.

Sentinel – Pontal do Paraná



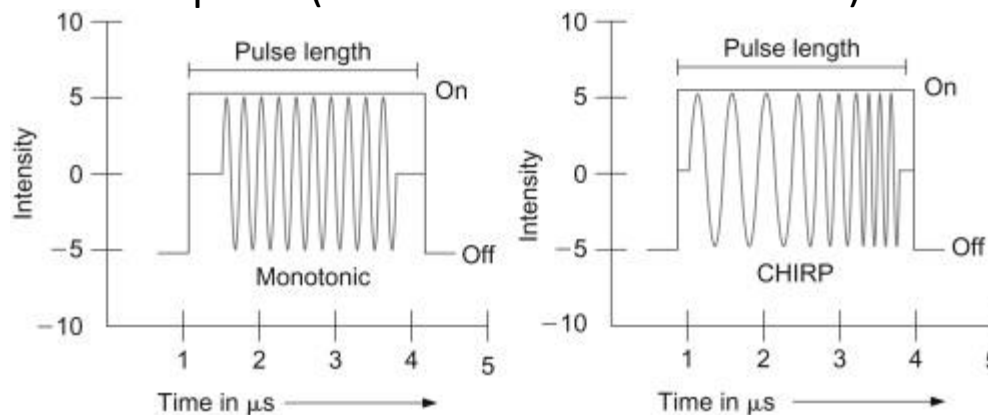
CHIRP (compressed high intensity radar pulse)

Uma técnica comum para muitos sistemas de radar (geralmente também são encontrados em sistemas de SAR) é o CHIRP.

Usa-se um pulso muito mais longo, que sofre uma mudança de frequência durante a emissão (daí o "gorjeio" ou mudança de frequência).

Quando o eco é registrado, ele deve ser correlacionado com o pulso enviado para análise.

Essa técnica "compacta" o pulso no tempo – assim se atinge o efeito de um pulso muito curto (maior resolução range), com as vantagens de um maior comprimento de pulso (muito mais sinal retornado).



ALOS / PALSAR

Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar

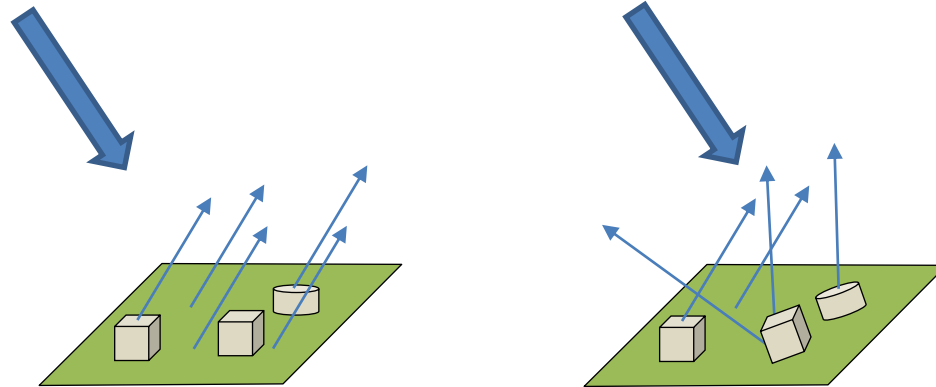
Center Frequency 1270 MHz(L-band)

Chirp Bandwidth	28MHz	14MHz	14MHz,28MHz	14MHz
Polarization	HH or VV	HH+HV or VV+VH	HH or VV	HH+HV+VH+V V
Incident angle	8 to 60deg.	8 to 60 deg.	18 to 43 deg.	8 to 30deg.
Range Resolution	7 to 44m	14 to 88m	100m(multi look)	24 to 89m
Observation Swath	40 to 70km	40 to 70km	250 - 350 km	20 to 65km

Speckle

O speckle é um tipo de ruído típico de imagens de RADAR causado pela soma vetorial (coerente) dos sinais de retorno de vários difusores contidos em cada pixel.

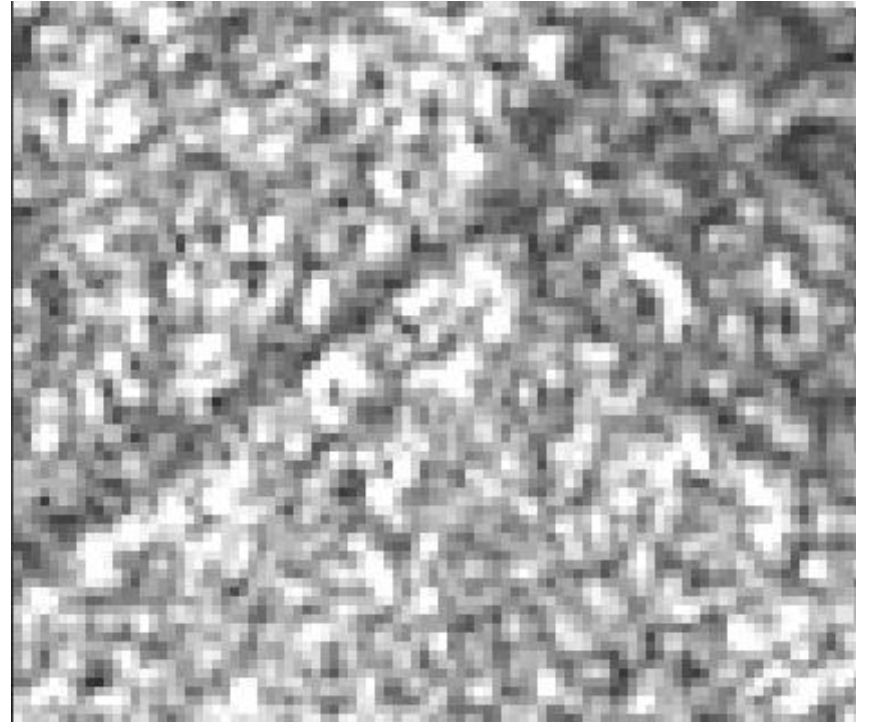
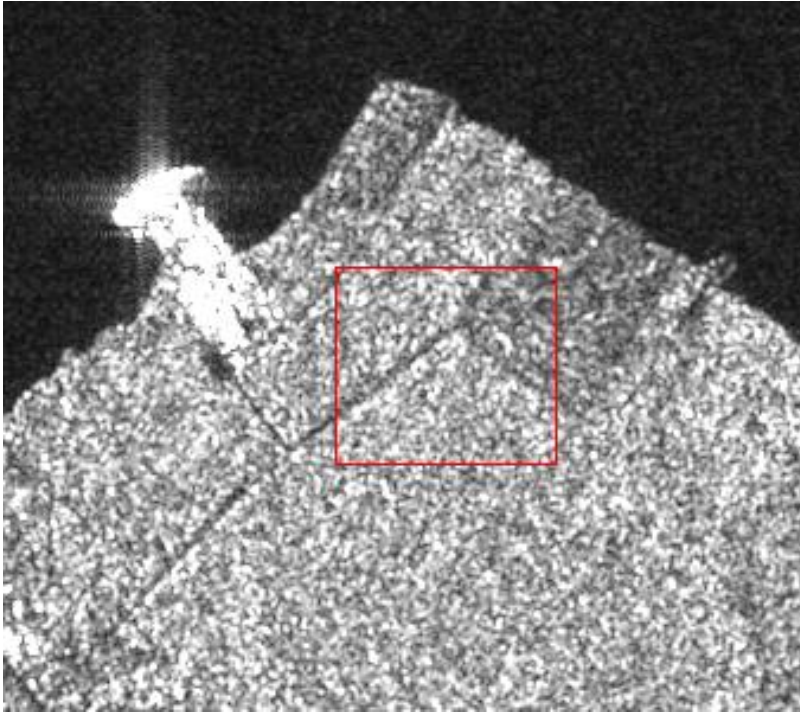
Em algumas situações os vetores se somam, criando um retorno maior, em outros se compensam gerando um retorno baixo.



Com a soma ocorre de forma aleatória, a soma dos vetores é aleatória e o speckle gera na imagem uma aparência granular.

A fase de cada difusor está relacionada à distância entre o difusor e o sensor. Se o sensor se move, as fases dos difusores mudarão, acarretando uma alteração na amplitude total. Então, observações sucessivas da mesma área quando o sensor se move resultarão em diferentes valores de amplitude.

speckle



Redução de speckle

Filtragem por múltiplas visadas (multilook)

- Neste caso, várias imagens são obtidas da mesma região. Como o ruído é aleatório, umas vezes aumenta o sinal de retorno e outras o diminui. Então, calculado a média de cada pixel com muitas imagens, o efeito do speckle é reduzido, ficando a média mais aproximada do valor do pixel real.

Filtragem espacial

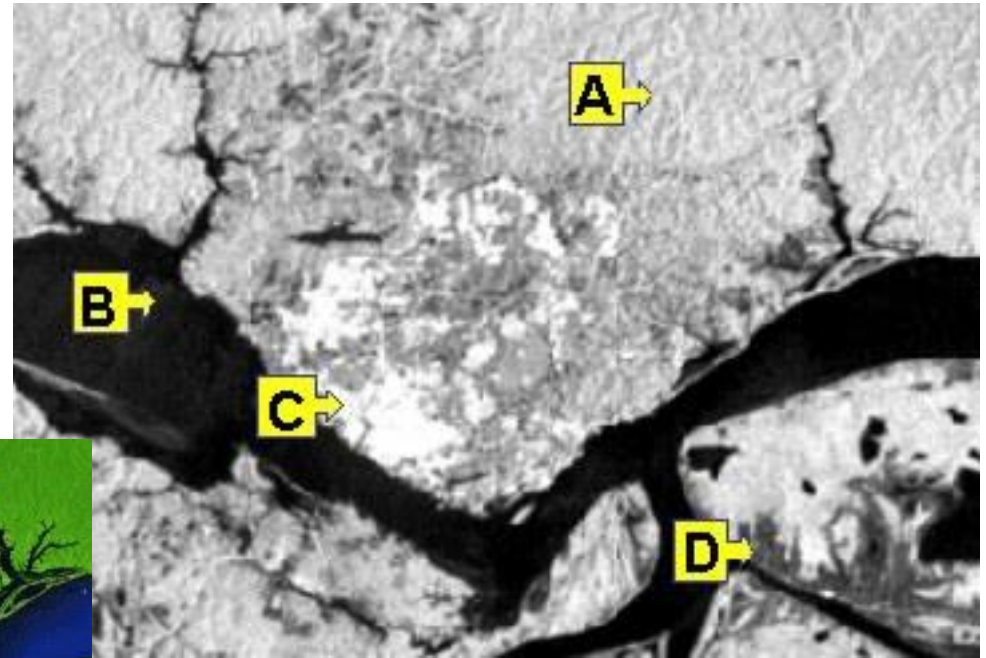
- Neste caso, um filtro similar ao passa baixas é usado para suavizar a imagem. O passa-baixas, mesmo, não é recomendado, porque esta filtragem prejudica as bordas. Então, filtros adaptativos próprios para o tratamento de speckle foram concebidos, como o filtro de Lee, Frost, ou Gamma-MAP. Outra opção válida é o uso da mediana.

Interpretação de imagens

- Diferenças entre as imagens de RADAR e imagens ópticas como as da série Landsat.
- | | RADAR | Sensor óptico |
|-------------------------------|------------|---------------|
| • atravessa nuvens | sim | não |
| • fonte | própria | Sol |
| • faixa espectral | cm | micras |
| • | microondas | VIS-IV |
| • penetra em copas de árvores | sim | não |
- Lembrar que:
- - a direção de iluminação do RADAR afeta a aparência dos objetos



O que são estas áreas



- Radar vs. Landsat TM