

Oceanografia por Satélites

Introdução ao uso de Satélites Oceanográficos

Paulo S. Polito, Ph.D.

`polito@usp.br`

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
`http://los.io.usp.br`
Laboratório de Oceanografia por Satélites

1 Introdução

- Definição
- Perspectiva Histórica
- Motivação

2 Conceitos Básicos

- Resolução
- Sensores Ativos e Passivos
- Órbitas

Roteiro

- 1 **Introdução**
 - Definição
 - Perspectiva Histórica
 - Motivação

- 2 **Conceitos Básicos**
 - Resolução
 - Sensores Ativos e Passivos
 - Órbitas

Medidas in-situ

Photo: Jane Lubchenco



- Oceanógrafos depositam os instrumentos no mar e estes tiram medidas e coletam amostras.
- Os instrumentos e/ou os dados são recuperados e armazenados.
- A partir destes dados identificam-se processos e testam-se hipóteses aplicando-se o método científico ao estudo do oceano.
- Esta é uma forma intrusiva de aquisição de informação no ponto onde o instrumento e o meio mantém contato físico.

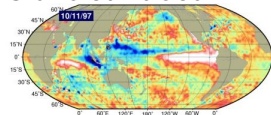
Sensoriamento Remoto - Definições

- **Definição simplista:** é a aquisição de dados sobre um objeto sem que haja contato com ele.
 - **Definição detalhista:** é o registro de informação sem contato físico utilizando radiação eletromagnética:
 - luz visível,
 - infra-vermelho,
 - RADAR etc.,
- através de instrumentos:
- scanners,
 - cameras,
 - antenas etc.,
- montados em plataformas móveis:
- aviões,
 - espaçonaves etc.,
- e a posterior análise das informações adquiridas.

Sensoriamento Remoto - Aplicações

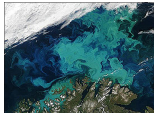
- Imagens de satélites tem uma vasta gama de aplicações:

- Ciências Físicas



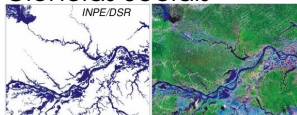
- Oceanografia física
- Meteorologia
- Geologia

- Ciências Biológicas



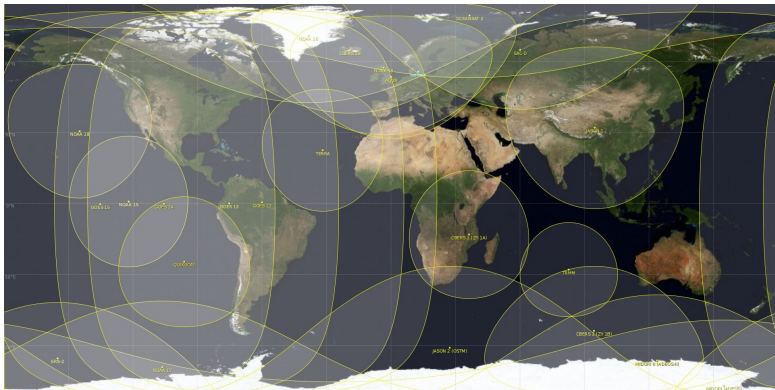
- Oceanografia biológica
- Cobertura vegetal
- Rastreamento de animais

- Ciências Sociais



- Monitoramento Ambiental
- Uso da terra
- Agricultura

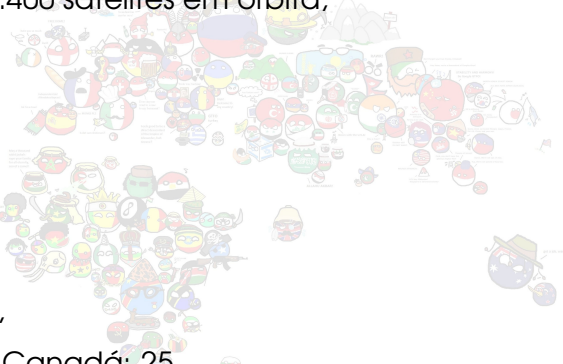
Quantidade de Satélites



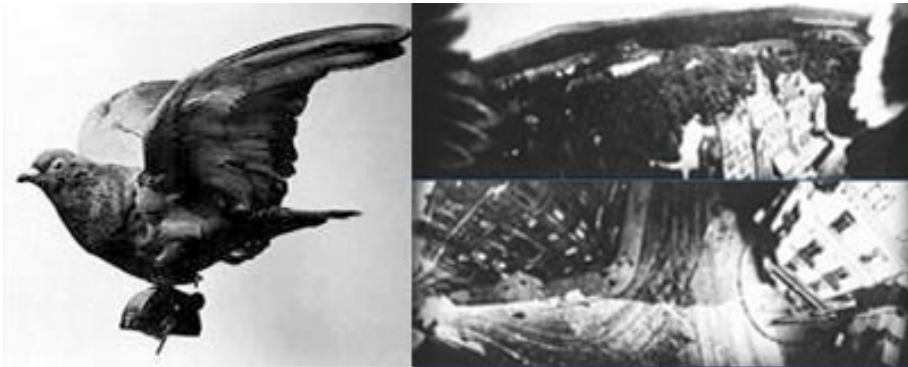
- ~ 3000 satélites ativos de um total de 8000.
 - $\frac{2}{3}$ dos satélites é de comunicações.
 - Apenas 5% são dedicados às ciências da Terra, incluindo meteorologia e oceanografia.
- Figura: Gpredict.

Figura: Gpredict.

Satélites e Países

- URSS, Rússia: 1.400 satélites em órbita,
 - EUA: 1000,
 - Japão: 100,
 - China: 80,
 - França: 40,
 - Índia: 30,
 - Alemanha: 30,
 - Reino Unido e Canadá: 25,
 - 10 cada um: Itália, Austrália, Indonésia, Brasil, Suécia, Argentina, Arábia Saudita e Coreia do Sul.
- 

Pioneiríssimos!



Em 1903 o engenheiro alemão Dr. Julius Neubronner utilizou pombos-correio e temporizadores mecânicos para obter fotos aéreas de sua cidade. Era o início do **sensoriamento remoto**.

Plataformas Sub-Orbitais

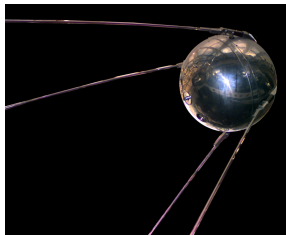


- Avião (1945) SB2D Dauntless à esquerda.
- Avião (1960) espião U2, estrela da guerra fria, no centro.
- Fotos aéreas do U2 que foram o pivô da crise dos mísseis cubanos em Outubro de 1962, à direita.
- Aerofotogrametria é o tratamento matemático e geodésico de fotos aéreas.

É Preciso ter um Plano

- Em 24–28 Agosto de 1964 pesquisadores se reuniram no WHOI para a primeira conferência sobre “Oceanography from Space”.
- Os tópicos discutidos incluíram (Ewing, 1965):
 - refletividade de microondas,
 - espalhamento de radar por ondas,
 - detecção de gelo por radar,
 - detecção de plâncton, bioluminescência e transparência,
 - aplicações em pesca e biologia marinha,
 - climatologia de nuvens, evaporação e precipitação,
 - medidas de fluxo de calor por radiômetro de microondas,
 - medidas de TSM no infra-vermelho,
 - uso de satélites no estudo de cetáceos etc..
- Nas 4 décadas seguintes estas idéias foram postas à prova.

Os pioneiros da corrida espacial



- O primeiro satélite artificial (1958-URSS) Sputnik, à esquerda.
- Laboratório espacial Skylab (1973-USA), no centro (URSS já tinha o Salyut em 1971).
- O Skylab serviu para “teste conceitual” de vários instrumentos hoje em operação.
- O **Seasat** foi o primeiro satélite oceanográfico americano (1978).

De acordo com o plano...

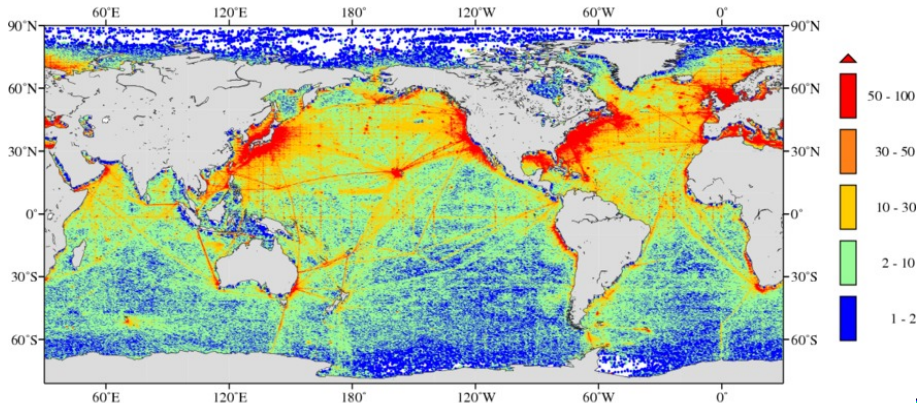
- Em 1978 a NASA lançou os satélites
 - TIROS-N com o sensor AVHRR;
 - Seasat com radiômetro, escaterômetro, altímetro e SAR;
 - Nimbus-7 com radiômetro de microondas e sensor de cor.
- Na década de 80 a “Oceanografia por Satélites” se consolidou como especialidade.
- Em 1985 foram publicados 3 livros sobre este assunto por
 - Maull,
 - Robinson e
 - Stewart.
- Os EUA e a UE são os que mais investem e felizmente distribuem os dados ± livremente.
- A enorme quantidade de dados fomenta a conexão entre oceanografia por satélites e informática.

Cobertura In-Situ

Quantidade de observações ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$) de TSM desde 1955.

World Ocean Atlas Climatology

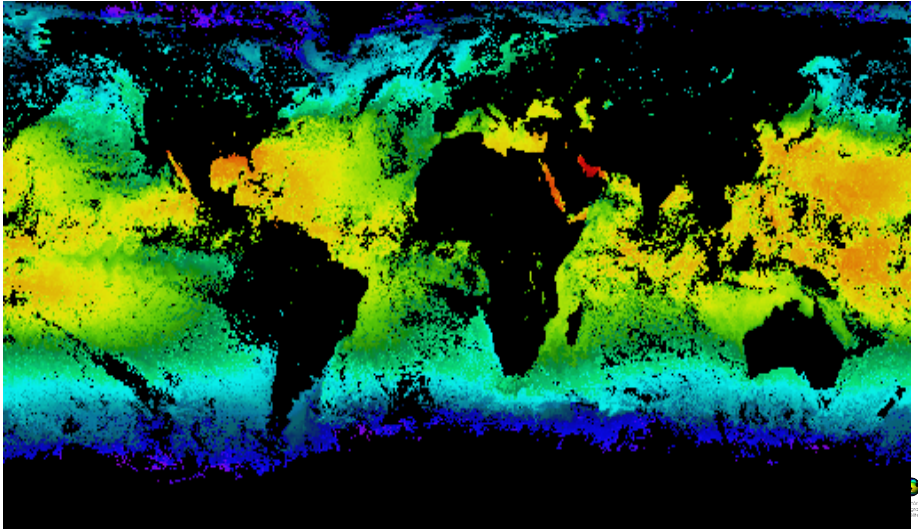
Decadal average: 1955 - 2017



Annual temperature observations at the surface (quarter-degree grid)

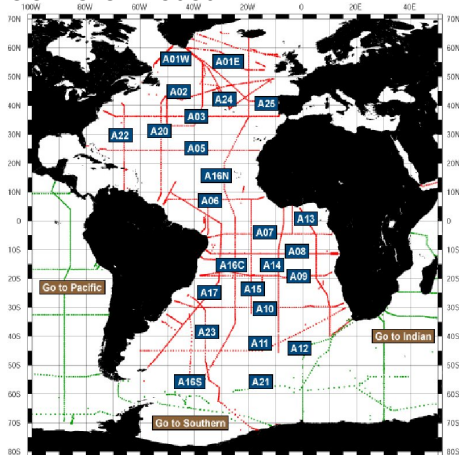
Cobertura por Satélite

TSM de 4×4 km 22 a 24 de Agosto de 2007, MODIS Aqua.

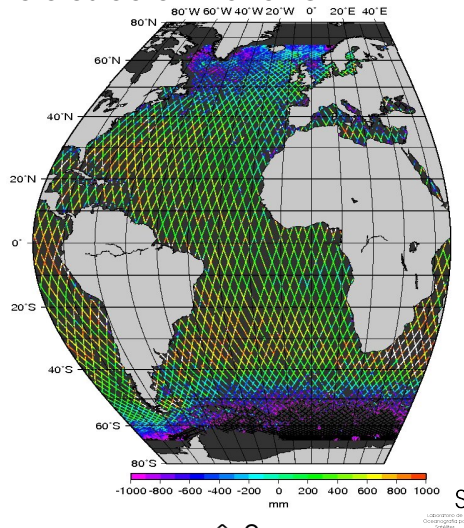


Resolução Temporal e Sinopticidade

World Ocean Climate Experiment. Cada seção leva demora meses.



10 dias do altímetro TOPEX.



O que muda no oceano em um mês?

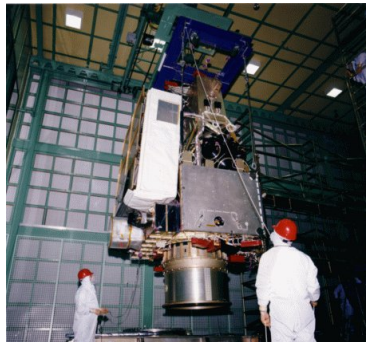
Metodologia, Inovação e Economia

Garrafas de Niskin e CTDs.



- Custo ~US\$30k/dia.
- Procedimento de calibração.
- Risco de perda.
- Raramente até o fundo.

- Custo ~US\$300M.
- Chance de sucesso é de 85%.
- Ápice da tecnologia.



Montagem do satélite TRMM.

Satélites × Navios

Dados de satélites e in-situ são **complementares**. Assim como os dados coletados por navios, os coletados por satélites tem

vantagens:

- cobertura geográfica,
- resolução espacial,
- cobertura temporal,
- resolução temporal,
- metodologia consistente,
- inovação tecnológica,
- economia;

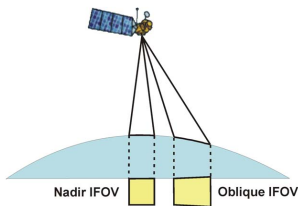
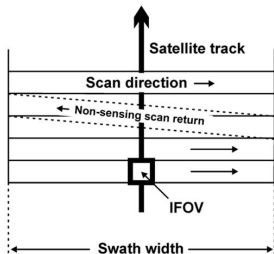
e desvantagens:

- dados restritos à superfície,
- influência da atmosfera,
- problemas técnicos catastróficos,
- erros de calibração.

Roteiro

- 1 Introdução
 - Definição
 - Perspectiva Histórica
 - Motivação
- 2 Conceitos Básicos
 - Resolução
 - Sensores Ativos e Passivos
 - Órbitas

IFOV, Scan Lines e Resolução

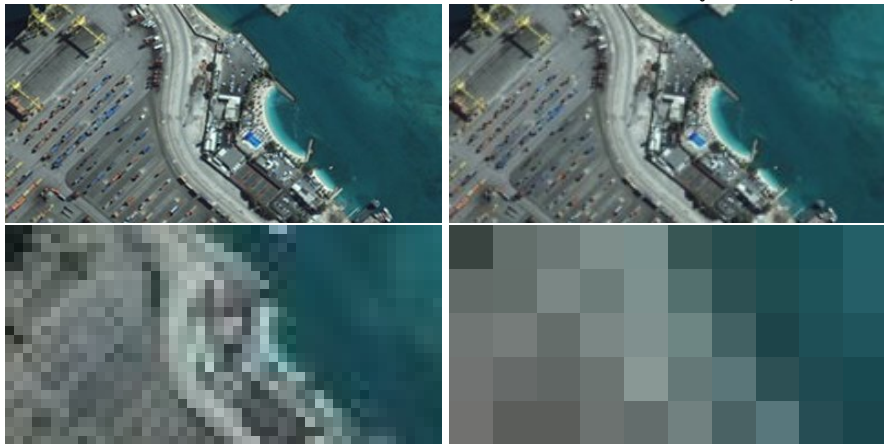


- Esquema para sensor tipo *scanner*.
- IFOV: *instantaneous field-of-view*.
- O satélite viaja a $\sim 6.7\text{km/s}$.
- A resolução é a distância entre o centróide de 2 IFOVs consecutivos.

-
- Note que a resolução depende...
 - de quantos IFOVs cabem numa linha;
 - de quanto demora para completá-la;
 - da velocidade do satélite.
 - IFOV e pixel ideal tem mesmo tamanho.
 - O tamanho do IFOV pode variar por causa da curvatura.

Resolução Espacial

Abu Dhabi, QuikBird a 2.4, 4, 20 e 100m de resolução espacial.

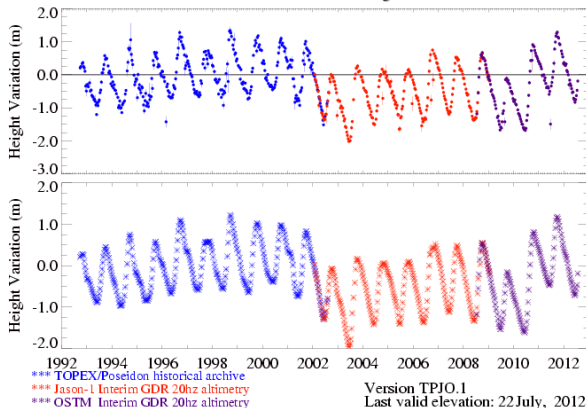


A resolução espacial é a metade do tamanho mínimo da variabilidade a ser observada, i.e., é o co-intervalo de Nyquist.

Resolução Temporal

- Dados altimétricos, Lago Tana, Eritreia.

Lake Tana Height Variations
TOPEX 9 Year Geo-referenced 10Hz Along Track Reference

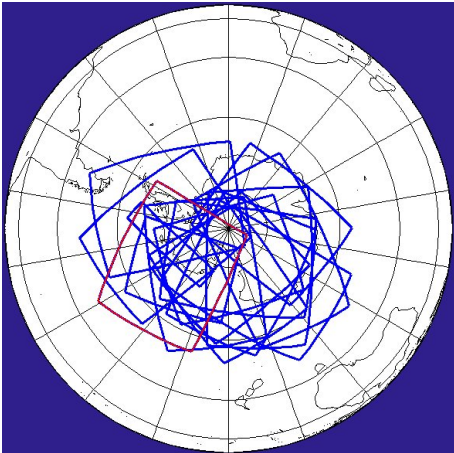


- É o tempo transcorrido entre amostras consecutivas coletadas no mesmo ponto.
- Por causa da estratégia amostral dos satélites neste caso a resolução é de 9.9156 dias.

- Este é o caso mais simples pois trata-se de um instrumento  que faz coleta de dados num ponto.

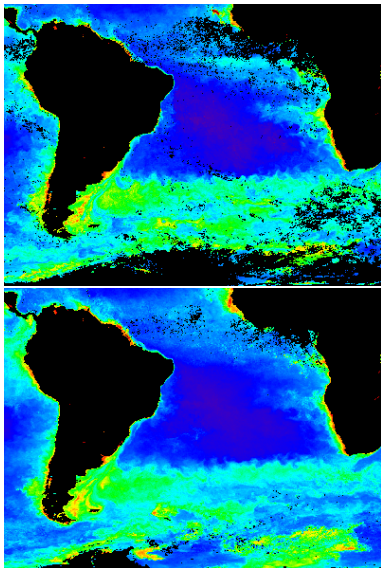
Resolução Temporal

Um dia de AVHRR na Antártica

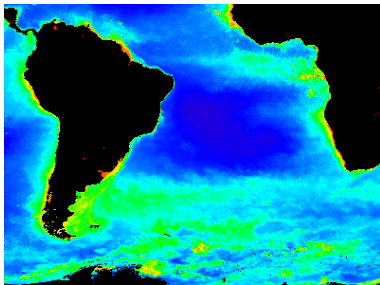


- É o tempo transcorrido entre amostras consecutivas coletadas no mesmo ponto.
- Por causa da estratégia amostral dos satélites várias passagens são combinadas em uma única imagem.
- Neste caso a resolução efetiva passa a ser a separação temporal entre imagens consecutivas.

Resolução Temporal e Médias

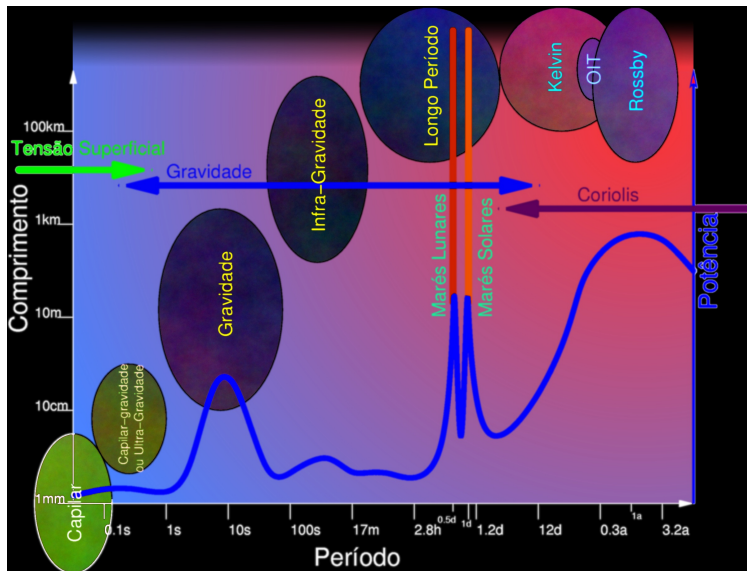


Médias de concentração de clorofila em 2005: Dezembro, Outono e Anual (MODIS 9km).

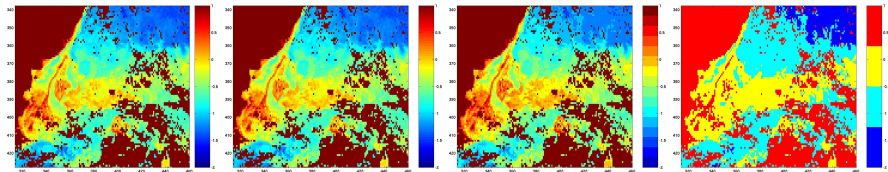


A resolução temporal é a metade do período mínimo da variabilidade a ser observada (co-intervalo de Nyquist).

Espectro do Oceano

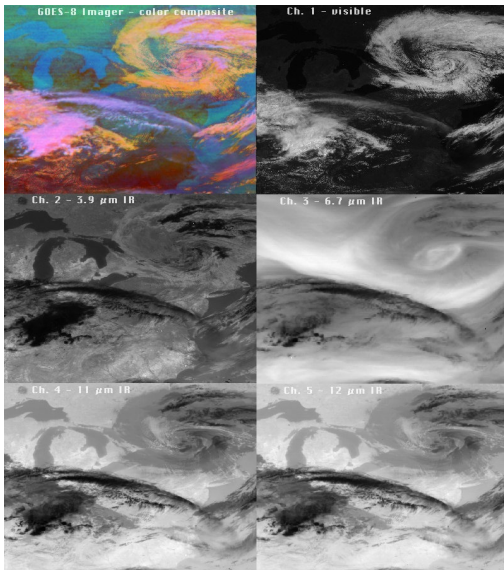


Resolução Radiométrica



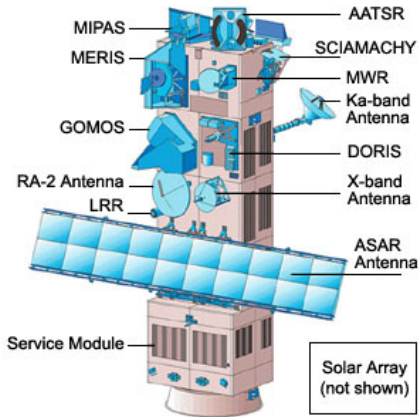
- É a precisão digital com a qual a informação é armazenada.
- $\log_{10}(\text{Clorofila})$ na confluência Brasil–Malvinas,
- em $n = 2, 4, 6$ e 8 bits ou $2^n = 4, 16, 64$ e 256 cores.
- Como a escala vai de -2 a 1, o intervalo é de 3 unidades.
- Para obter as resoluções radiométricas correspondentes divida 3 por 2^n : 0.75 , 0.19 , 4.7×10^{-2} e 1.2×10^{-2} .

Resolução Espectral



- É o número e largura das bandas do espectro onde o instrumento coleta dados.
- GOES tem 5 canais: 1 visível, 4 infra-vermelho.
- A combinação de todos (em falsa cor) é complexa.
- Canais diferentes realçam aspectos distintos, como terreno, vapor, nuvens e temperatura da água.

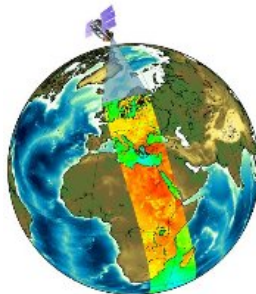
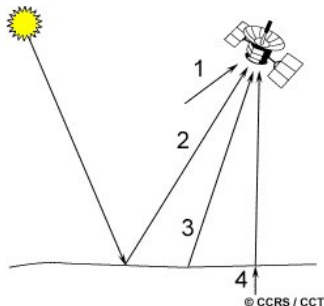
Sensores e Satélites



Por exemplo, o satélite ENVISAT tem vários sensores.

Sensores Passivos

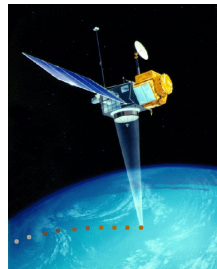
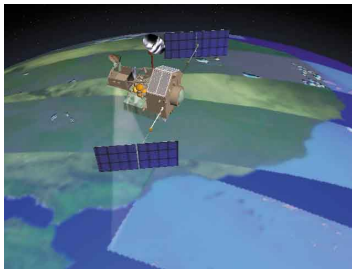
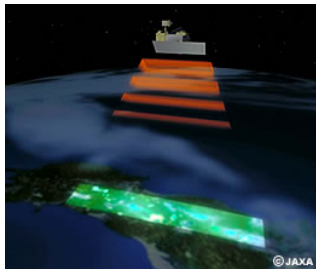
Sensores passivos **não emitem radiação**. A energia do Sol é



- absorvida (e reemitida),
- refletida ou
- espalhada
- pela atmosfera ($2\times$),
- pelos continentes e
- pelos oceanos.

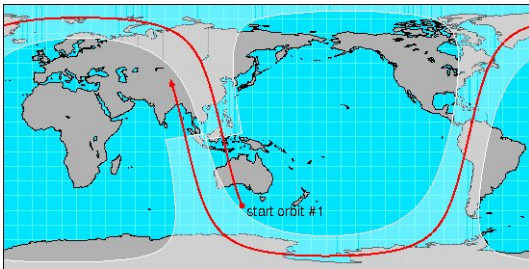
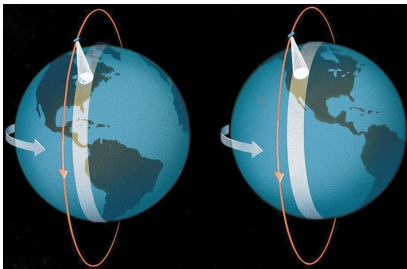
Sensores Ativos

Sensores ativos **emitem radiação**, que por sua vez é



- absorvida,
- refletida ou
- espalhada
- pela atmosfera ($2\times$),
- pelos continentes e
- pelos oceanos.

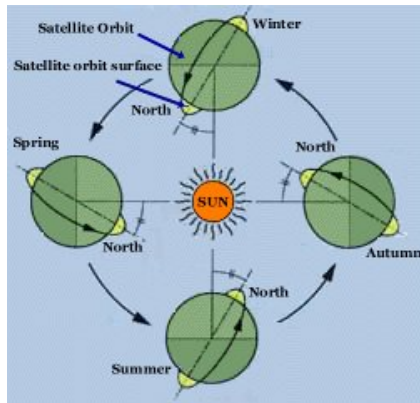
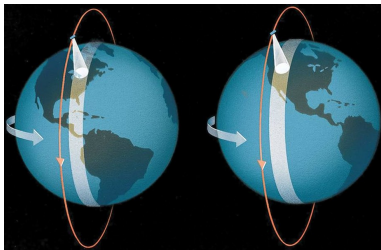
Órbita Polar (ou Quase)



- É a mais usada para satélites oceanográficos.
- Satélites em órbita polar provêem **cobertura global diária**.
- www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=y_jM_BxQGvE
- Aplicações meteo-oceanográficas.
- Outros atrativos: órbita baixa (500–2000 km), período de 1–2 h, cobertura parcial ou total dos polos.

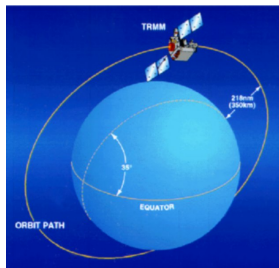
Órbita Sincronizada com o Sol

Muitos satélites estão em órbita polar sincronizada com o Sol.

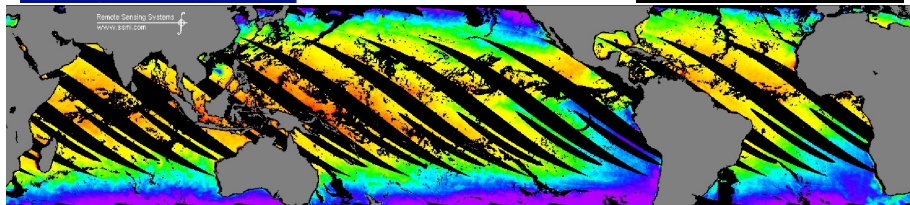
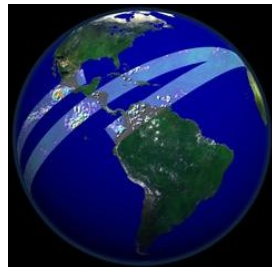


A vantagem é que a posição relativa entre o satélite e o Sol não muda durante o ano, mantendo o efeito da radiação solar aproximadamente constante **no ano**.

Órbita Tropical

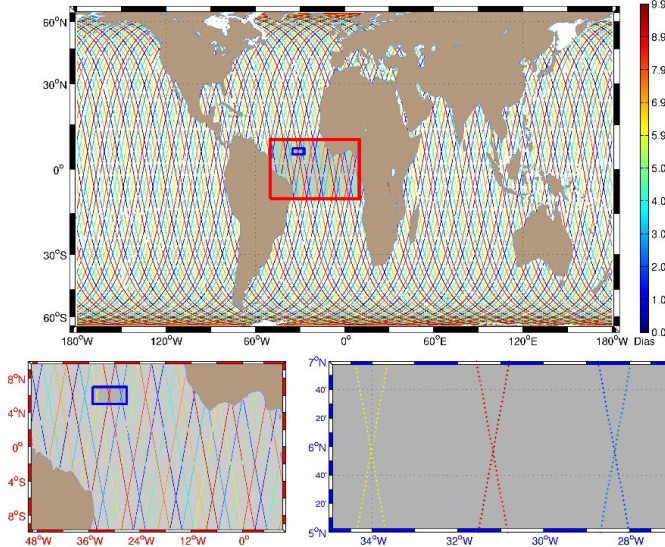


A pequena inclinação limita a órbita do TRMM à banda tropical e aumenta a resolução temporal.



Órbita de Repetição Exata

Separação Temporal em um Ciclo do T/P

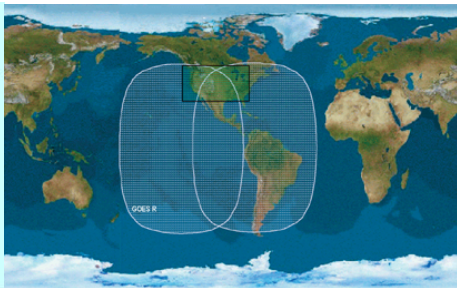
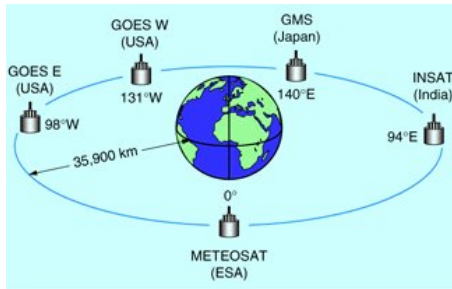


Isto é vantajoso para medidas que dependem da topografia local, que é mantida constante neste caso.

Órbita Geoestacionária

A órbita geoestacionária no plano do equador é utilizada em aplicações meteorológico-oceanográficas.

A Grande vantagem é a resolução temporal.



Perspectivas

Measurement from Space	2010	2020	2025
Sea Surface Height (SSH)	100-km spatial scales; 10-day revisit (TopeX/Jason series)	10-km spatial scales; 10-day revisit (SWOT)	10-km spatial scales; 1-day revisit (multiple SWOT satellites)
Ocean Vector Winds (OVW)	25-km spatial scales; 1–2 day revisit (QuikSCAT/ASCAT)	3–25 km spatial scales; 6-hour revisit (XOVM/ASCAT/Oceansat 2)	3–6 km spatial scales; 6-hour revisit (XOVM and follow-ons)
Sea Surface Salinity (SSS)	0.2 psu; 150–200-km spatial scales; 30-day time scale (SMOS in 2009; Aquarius in 2010)	0.2 psu; 40-km spatial scales; 10–30-day time scale (SMAP)	0.1 psu; 20-km spatial scales; 7-day time scale (Aquarius follow-ons)
Surface Currents	Geostrophic only—100-km spatial scales; 10-day revisit (TopeX/Jason series); no ageostrophic	Geostrophic cf. SSH; ageostrophic in coastal zones < 1 km (TanDEM-X)	Geostrophic cf. SSH; ageostrophic globally < 1 km spatial scales; 1–2-day revisit (scanning AT)
Gravity/Ocean Mass	400-km spatial scales; monthly updates (GRACE)	Improved precision; 400-km spatial scales; monthly updates (GRACE Gap Filler + GOCE)	300-km spatial scales; 10-day time scale; constellation of gravity measuring pairs
CO ₂ Flux at the Surface	1000-km spatial scales; 0.4 gC m ⁻² yr ⁻¹ flux; monthly updates (AIRS/OCO)	100-km spatial scales; 0.4 gC m ⁻² yr ⁻¹ flux; weekly updates; day/night (ASCENDS)	10-km spatial scales; 0.1 gC m ⁻² yr ⁻¹ flux; daily updates (ASCENDS follow-ons)
Sea Surface Temperature (SST)	1–2-km spatial scales; 1-day revisit; no visibility through clouds (MODIS)	1–2 km spatial scales; <1-day revisit; no visibility through clouds (VIIRS)	1–2-km spatial scales; < 1-day revisit; no visibility through clouds (VIIRS)
	40-km spatial scales; 1-day revisit; all-weather (AMSR-E); DT = 0.3–0.7 K	40 km spatial scales; 1-day revisit; all-weather (AMSR-E); DT < 0.3 K	1–2-km spatial scales; 1-day revisit; all-weather (next-generation microwave radiometers); DT < 0.1 K
Ocean Color/Biogeochem	1-km spatial scales; 1 day revisit (CZCS/SeaWiFS/MODIS/MERIS); 1-km, < 1-day VIIRS on NPP (2012 launch)	60-m spatial; 19-day revisit (HypSIRI)	.1–1-km spatial scales; 15-min revisit globally (GEO network)
		375-m spatial; hourly revisit, scanned over selected scan boxes of interest (GEO-CAPE)	
		1-km spatial; 1-day revisit (ACE)	
Sea Ice Area and Type	3-day revisit (RADARSAT/Envisat)	1-day revisit (DESdYnl)	1-day revisit (DESdYnl follow-ons)
Sea Ice Thickness	Freeboard @ < 1-km spatial scales (ICESat-2 + RADARSAT/Envisat; CryoSat-2)	Freeboard @ < 1-km spatial scales (ICESat-2 + DESdYnl; Sentinel-3)	Ice thickness @ < 1-km spatial scales (Sentinel; ice-penetrating radar)
	Snow accumulation (CryoSat)	Snow accumulation (Sentinel-3)	
Ocean Waves	Radar altimeter; SAR	Radar altimeter; SAR	Radar altimeter; SAR

Obrigado pela atenção!