

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

SISTEMAS SENSORES

Piracicaba
2021

APONTAMENTOS DE AULA



SISTEMAS SENSOES

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	4
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. CLASSIFICAÇÃO DOS SENSORES REMOTOS.....	5
2.1. Quanto a fonte de REM	5
2.2. Quanto a região do espectro	6
2.3. Quanto ao produto obtido	6
2.3.1 Sensores fotográficos	7
2.3.2 Sensores de Varredura	11
2.4. Resumo – classificação e componentes dos sensores	12
3. IMAGENS ORBITAIS.....	13
3.1. Resolução espacial	14
3.2. Resolução espectral.....	15
3.3. Resolução radiométrica.....	15
3.4. Resolução temporal.....	16
4. SENSORES ORBITAIS – CARACTERÍSTICAS	17
4.1. Altitude	17
4.2. Inclinação de órbita.....	18
4.2.1 Órbita Equatorial	18
4.2.2 Órbita Polar.....	19
4.2.3 Órbita Quase Polar	19
5. IMAGEADORES PASSIVOS.....	20
5.1. Sistema Landsat	20
5.2. Sistema CBERS	21
5.3. Amazonia 1	25
5.4. Sentinel 2 (A e B).....	26
5.5. Sistema IKONOS.....	27
5.6. Outros Sistemas.....	27
6. LIXO ESPACIAL	29
7. REFERÊNCIAS	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de dados obtidos a partir de sistemas não imageadores	6
Figura 2: Componentes básicos dos sistemas não imageadores	7
Figura 3: Filme preto e branco	8
Figura 4: Filme seletivo	8
Figura 5: Funcionamento CCD	8
Figura 6: Mecanismos para aquisição de imagens	9
Figura 7: Funcionamento filtro de Bayer	9
Figura 8: Funcionamento filtro Prismas de Refração	10
Figura 9: Sensores fotográficos (sistema por quadros – <i>frame system</i>)	10
Figura 10: Sensor de varredura mecânica (<i>Whisk Broom</i>)	11
Figura 11: Sensores de varredura eletrônica (<i>Push Broom</i>)	12
Figura 12: Resumo – classificação dos sensores	12
Figura 13: Resumo – componentes de um sensor	13
Figura 14: Estrutura das imagens de sensoriamento remoto	13
Figura 15: Exemplo de imagem simples (cruz) na forma digital	14
Figura 16: Resolução espacial	14
Figura 17: Tamanho do pixel	15
Figura 18: Resolução espectral	15
Figura 19: Resolução radiométrica	16
Figura 20: Resolução temporal	16
Figura 21: Influência da altitude	17
Figura 22: Zonas de aquisição de imagens	18
Figura 23: Órbita geoestacionária	18
Figura 24: Órbita polar	19
Figura 25: Órbita quase polar	19
Figura 26: Família Landsat	20
Figura 27: Características do Imageador de Amplo Campo de Visada (WFI)	22
Figura 28: Características da Câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD)	22
Figura 29: Características do Imageador por Varredura de Média Resolução IRMSS)	22
Figura 30: Características da Câmera Pancromática de Alta Resolução (HRC)	23
Figura 31: Diferenças entre os satélites	23
Figura 32: Características CBERS 4	24
Figura 33: Diferenças entre os satélites da 1ª e 2ª geração	24
Figura 34: Câmeras CBERS 4ª	25
Figura 35: Características Amazonia 1	25
Figura 36: Comprimento de onda e largura de bandas das três resoluções espaciais do instrumento MSI	26
Figura 37: Características Sentinel 2 (A e B)	26
Figura 38: Características IKONOS	27
Figura 39: GeoEye-1	27
Figura 40: QuickBird	28
Figura 41: RapidEye	28
Figura 42: Lixo espacial	29

1. INTRODUÇÃO

Um sistema sensor pode ser definido como qualquer equipamento capaz de transformar alguma forma de energia em um sinal passível de ser convertido em informação sobre o ambiente. No caso específico do sensoriamento remoto, a energia utilizada é a radiação eletromagnética (NOVO, 1989).

No geral, um sensor remoto pode ser definido como um dispositivo capaz de responder à REM de determinada faixa de espectro eletromagnético, registrá-la e gerar um produto em uma forma adequada à interpretação pelo usuário. As variações de energia eletromagnética da área observada podem ser coletadas por sistemas sensores imageadores ou não-imageadores. Assim, os sistemas imageadores fornecem uma imagem da área observada como produto, enquanto que os sistemas não-imageadores, também conhecidos como radiômetros ou espectralradiômetros, apresentam o resultado em forma de dígitos ou gráficos.

Além disso, os sistemas sensores podem ser classificados como ativos e passivos. Os sensores ativos (radar, por exemplo) irradiam energia artificial para monitorar a superfície terrestre ou características atmosférica. Já os sensores passivos detectam a radiação solar refletida a partir da terra e radiação térmica no comprimentos de onda visíveis e de infravermelhos do espectro eletromagnético. Eles não emitem sua própria radiação, apenas recebem luz natural e radiação de calor refletida pela superfície da Terra. A maioria dos sensores passivos são sistema scanner.

O material a seguir abordará as principais características presentes nos sistemas sensores e exemplos dos sensores mais conhecidos e utilizados nos dias de hoje.

2. CLASSIFICAÇÃO DOS SENSORES REMOTOS

Os sensores remotos podem ser classificados quanto a fonte de radiação eletromagnética, região do espectro e ao produto obtido.

2.1. Quanto a fonte de REM

Nesta classificação, os sensores podem ser passivos ou ativos. Os sensores passivos são aqueles que necessitam de energia externa de REM, isto é, do sol. Já os sensores ativos possuem a sua própria fonte de REM., registrando a energia por eles emitida e refletida pelo alvo.

2.2. Quanto a região do espectro

Os sensores também podem ser divididos pela região óptica e pela região de micro-onda. A região óptica caracteriza-se pela utilização de componentes ópticos, ou seja, espelhos, lentes e prismas e o espectro óptico varia de 300 a 15000nm. Dentro do espectro óptico tem-se a região refletiva (espectro refletivo) que compreende as bandas de 380 a 3000nm. Como já visto, neste intervalo de espectros encontram-se as regiões do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio. Já a região de 700 a 15000nm é caracterizada por ser a região termal/emissiva.

Para a região de micro-onda, os sensores operam na região do espectro de 1mm a 1m, geram feixes de radiação eletromagnética altamente concentrados e são capazes de mapear a superfície/modelagem do terreno. O sistema Lidar, por exemplo, trabalha na região do IVP emitindo pulsos de laser em 1064nm capaz de contabilizar a distância entre o sensor e o objeto.

2.3. Quanto ao produto obtido

Outra forma de classificar os sensores é pelo produto obtido, em que os sensores podem ser não imageadores ou imageadores. Os sistemas não imageadores geram dados ao invés de imagens. Tais dados possuem determinado comprimento de onda, sendo que para cada nm há uma resposta espectral que foi refletida.



Figura 1: Exemplo de dados obtidos a partir de sistemas não imageadores

Os sistemas não imageadores são compostos por quatro componentes básicos: 1. Sistema Óptico responsável por convergir o fluxo radiante que foi refletido pelo alvo para dentro do sistema de dispersão; 2. Sistema de Dispersão capaz de decompor a radiação em diversos comprimentos de onda (λ 's); 3. Detector que é sensível a radiação (sinal passivo: pulso elétrico para cada λ); e o 4. Processador que armazena o sinal elétrico gerado passível de

interpretação. O produto final pode ser um radiômetro de banda (resposta espectral em faixas largas do espectro) ou um espectraloradiômetro (gera curvas espectrais). A figura abaixo apresenta os quatro componentes básicos e respectivo funcionamento.



Figura 2: Componentes básicos dos sistemas não imageadores

Dessa forma, conforme Vettorazzi (1992), o Sistema Óptico tem a função de captar o fluxo de energia radiante proveniente de um alvo, dentro de um ângulo de visada fixo, e concentra-lo sobre o sistema de dispersão. O Sistema de Dispersão, por sua vez, é responsável por decompor a radiação em diferentes comprimentos de onda (faixas de operação do sensor). Já o Detector converte uma dada quantidade de energia radiante sobre ele incidente em um sinal elétrico proporcional. Por fim, o Processador transforma os sinais elétricos gerados pelo detector em dados que podem ser fornecidos ao usuário sob a forma de números ou de gráficos.

Em contrapartida, os sensores imageadores fornecem uma imagem como produto e são divididos em sensores fotográficos e de varredura. Os sensores fotográficos são aqueles que possuem sistema por quadros (*frame system*: câmera métrica (aerofotogrametria) e câmera de reconhecimento (RGB, Multiespectral, Hiperespectral)) responsáveis por capturar toda a cena em frações de segundo e gerar fotografias. Para as câmeras métricas, a grande preocupação está relacionada ao alto padrão geométrico, orientação interna conhecida e às marcas fiduciais (georreferenciamento).

2.3.1 Sensores fotográficos

Em relação as câmeras de reconhecimento (preto e branco), a resposta espectral do alvo está vinculada a sensibilidade do filme, isto é, pela quantidade de energia capaz de alterar a densidade do filme. Assim, a sensibilidade espectral compreende o intervalo espectral no qual o filme é sensível (VIS).

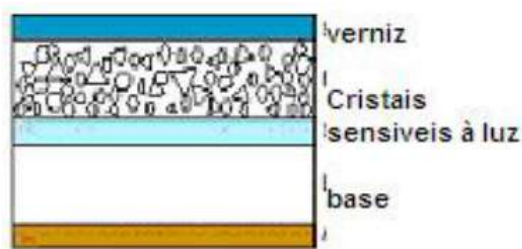


Figura 3: Filme preto e branco

Já as câmeras de reconhecimento (RGB) possuem filtros (película de vidro ou gelatinosa) com capacidade de absorver e transmitir a REM de forma “seletiva”.

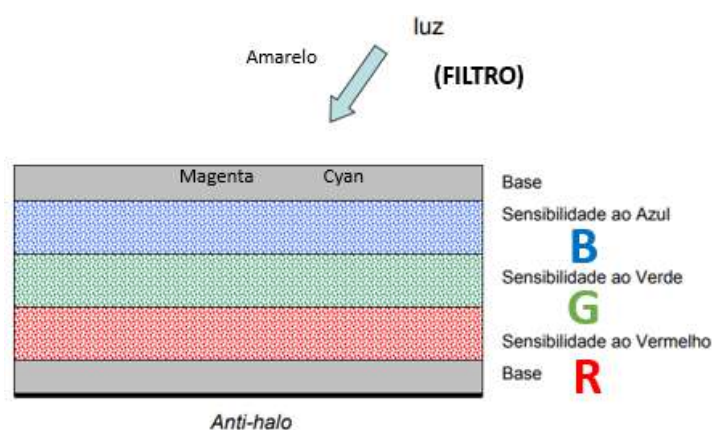


Figura 4: Filme seletivo

Neste contexto, faz-se necessário entender um pouco mais sobre os mecanismos para aquisição de imagens, em especial, o funcionamento do sensor CCD (*charge-coupled-device*). Desenvolvido em 1969 por George Smith e Willard Boyle, esta tecnologia é responsável pela interação da REM por um detector CCD (silício ou germânio: semicondutores sensíveis a radiação) e pela transformação da REM em sinal elétrico. Tal pulso elétrico é armazenado dentro do pixel que, por sua vez, possui a mesma dimensão que o detector.

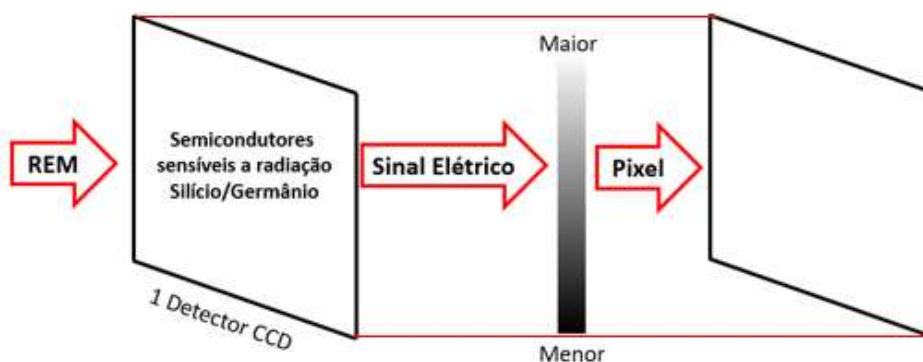


Figura 5: Funcionamento CCD

Dessa forma, um sensor CDD é um conjunto de detectores sensíveis a REM. Os filtros que compõe a camada seletiva são: filtro de Bayer (1 banda por vez) e Primas de Refração (divisão em feixes), como descrito na imagem a seguir.

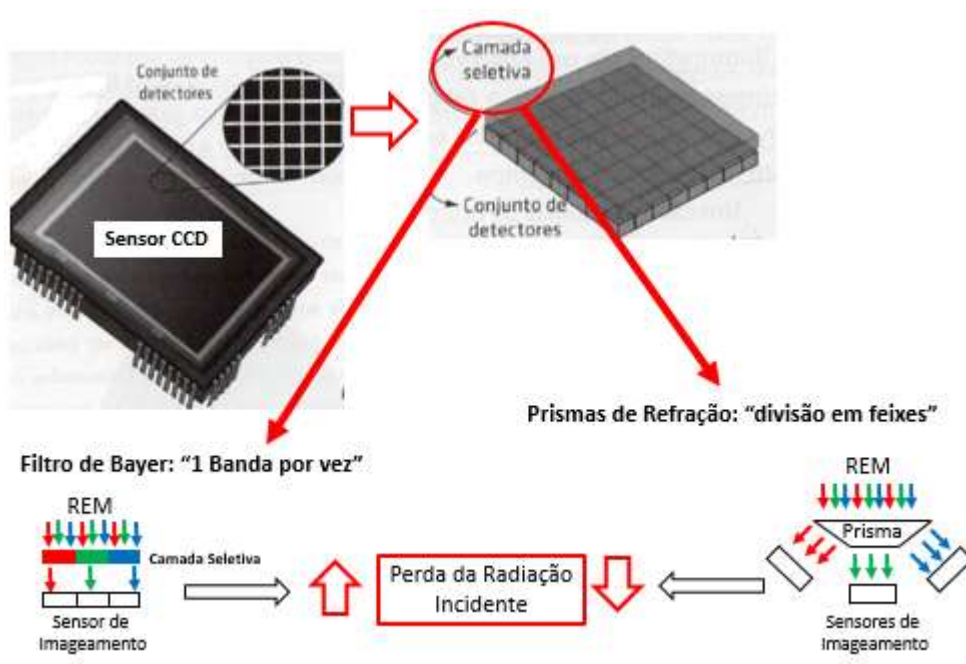


Figura 6: Mecanismos para aquisição de imagens

O filtro de Bayer possui a vantagem de ser mais simples e barato, todavia, as desvantagens são: menor aproveitamento da energia incidente (radiação é filtrada depois medida), menor qualidade da imagem final e maior dificuldade selecionar λ (faixas...).

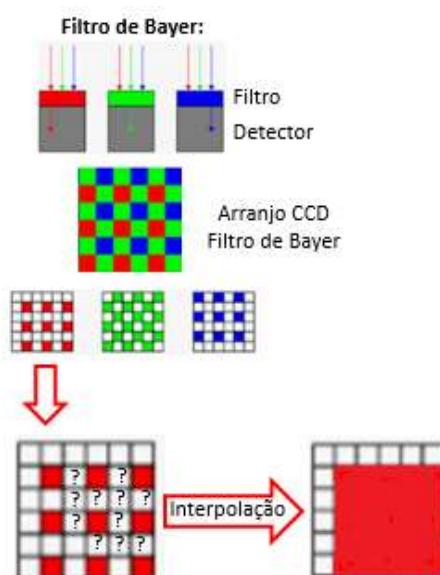


Figura 7: Funcionamento filtro de Bayer

O filtro Prismas de Refração apresenta mais vantagens que o filtro de Bayer, sendo elas: maior aproveitamento da energia incidente, maior qualidade da imagem final e seleciona λ 's específicos. A principal desvantagem é o elevado custo deste filtro.



Figura 8: Funcionamento filtro Prismas de Refração

No geral, ainda sobre sensores fotográficos (sistema por quadros – *frame system*), a obtenção da imagem é feita em uma única vez. O sensor abaixo apresenta um conjunto de espelhos que converge a REM dos alvo para dentro do conjunto de primas. Os prismas têm a finalidade de separar os comprimentos de onda para os conjuntos de detectores. Destaca-se a região do FOV responsável por obter as cenas (1 foto = 1 cena) e que a variação na altura de voo interfere no tamanho da área a ser obtida, já que o sensor é fixo.

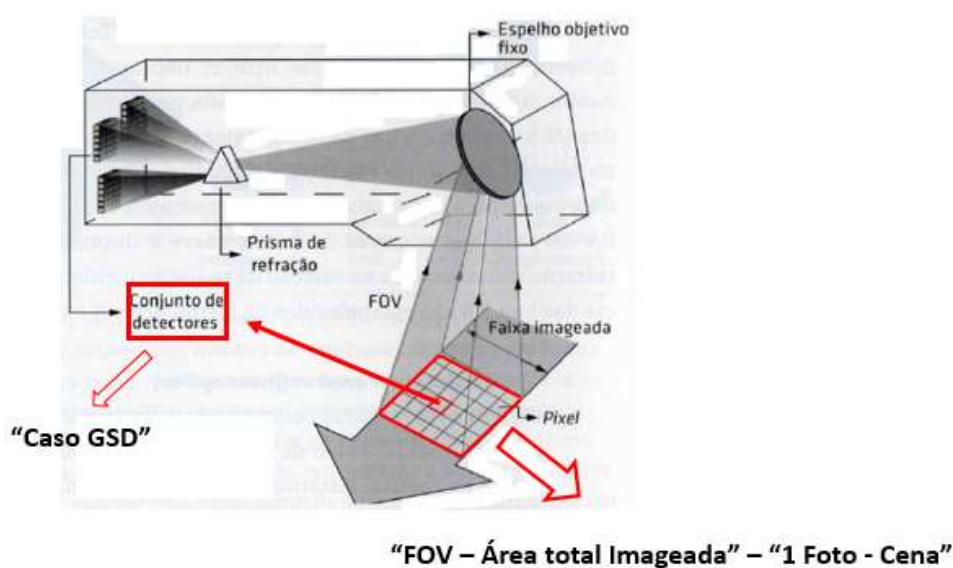


Figura 9: Sensores fotográficos (sistema por quadros – *frame system*)

A maior parte das câmeras direcionadas aos veículos aéreos não tripulados são multiespectrais e possuem filtros que captam os diferentes comprimentos de onda (R, G e B,

por exemplo). A possibilidade em montar o próprio conjunto de filtros barateia os custos, bem como proporciona um estudo mais específico para determinado comprimento de onda.

2.3.2 Sensores de Varredura

Os sensores de varredura podem ser separados em varredura mecânica (*Whisk Broom*) e varredura eletrônica (*Push Broom*). Os sensores de varredura mecânica (*Whisk Broom*) foi um dos primeiro sensores orbitais e é responsável por fazer a detecção e digitalização da superfície terrestre, pixel por pixel, por faixa imageada. A principal vantagem deste sensor é que ele é um único detector, enquanto que as desvantagens englobam um menor tempo de aquisição de cada pixel, menor tempo de vida útil (partes móveis “espelho”) e são sensor mais caro (partes móveis).

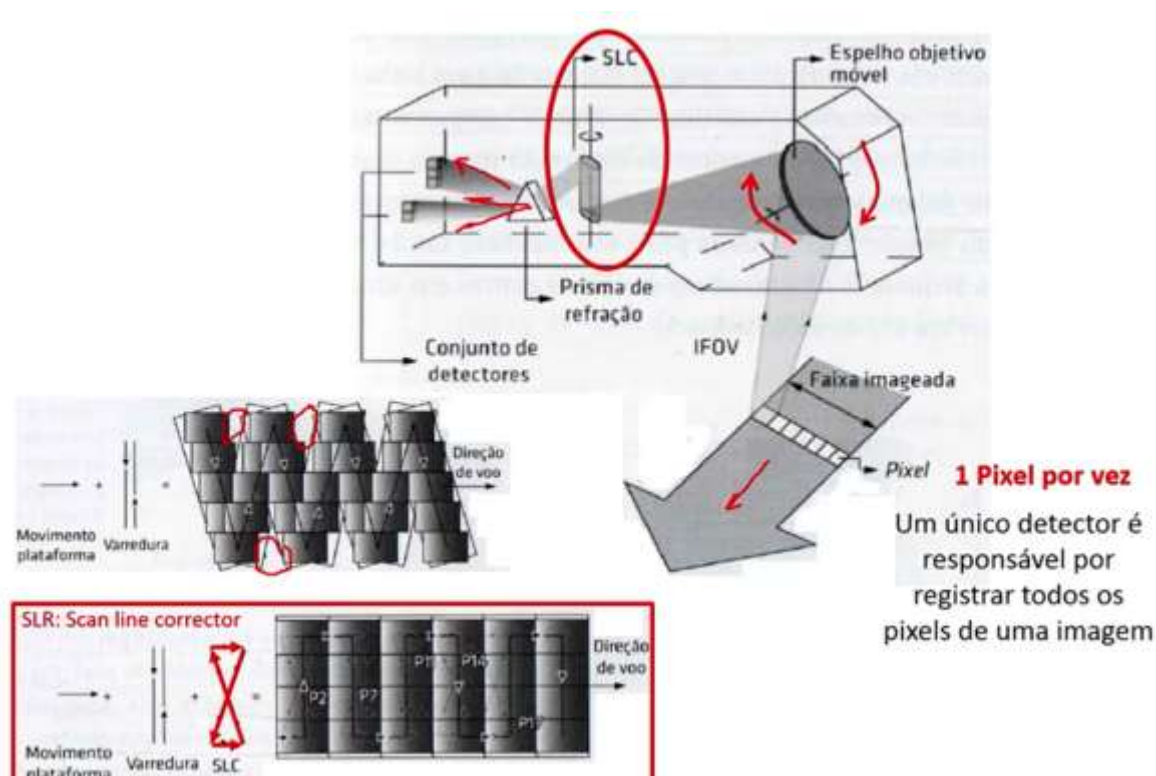


Figura 10: Sensor de varredura mecânica (*Whisk Broom*)

Os sensores de varredura eletrônica (*Push Broom*) foram desenvolvidos para imagear faixa por faixa, ou seja, uma linha de pixel por vez com maior qualidade no sinal. As principais vantagens estão atreladas ao maior tempo para detectar o sinal, que a aquisição de dados é feita por linha e não tem partes móveis (maior vida útil). Já as desvantagens são que cada pixel é registrado por um detector diferente e há diferenças na construção.

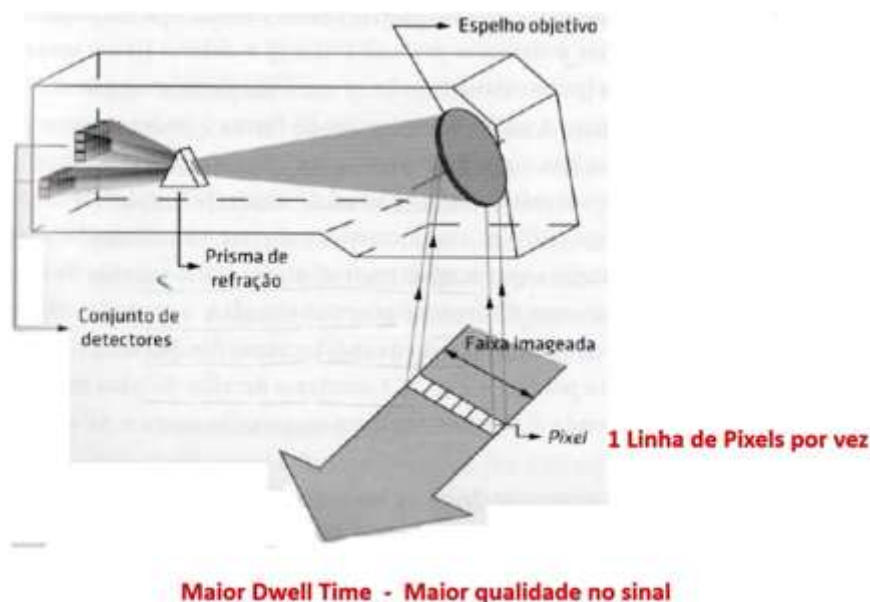


Figura 11: Sensores de varredura eletrônica (*Push Broom*)

2.4. Resumo – classificação e componentes dos sensores

De uma forma simples, pode-se classificar os sensores quanto ao produto obtido (sensores imageadores ou não imageadores) e quanto a fonte de REM (sensores ativos ou passivos), como descrito na figura a seguir.

Classificação dos Sensores Remotos:

Quanto ao produto obtido:

- ➡ Sensores Imageadores
- ➡ Sensores não Imageadores

Quanto a Fonte de REM:

- ➡ Sensores Ativos
- ➡ Sensores Passivos

	Imageadores	Não Imageadores
Passivos	Sistemas fotográficos Sistemas Eletro-óptico	Radiômetros: IRIS / FildEspc
Ativos	Radares Imageadores: Radarsat / Lidar	N Sensor

Figura 12: Resumo – classificação dos sensores

Em relação aos componentes de um sensor, a REM chega até um coletor (geralmente formado por um conjunto de espelhos) que converte esta radiação para um detector. O detector mais usado nos dias de hoje é o CCD, o qual permite a obtenção, através de filtros ou primas, faixas de comprimentos de onda específicas. A detecção deste pulsos elétricos, juntamente com o processamento das informações, vão gerar a resolução radiométrica, descrita por valores

numéricos de 0 a 255 (pixels). Um conjunto de pixel, por sua vez, gera uma imagens.

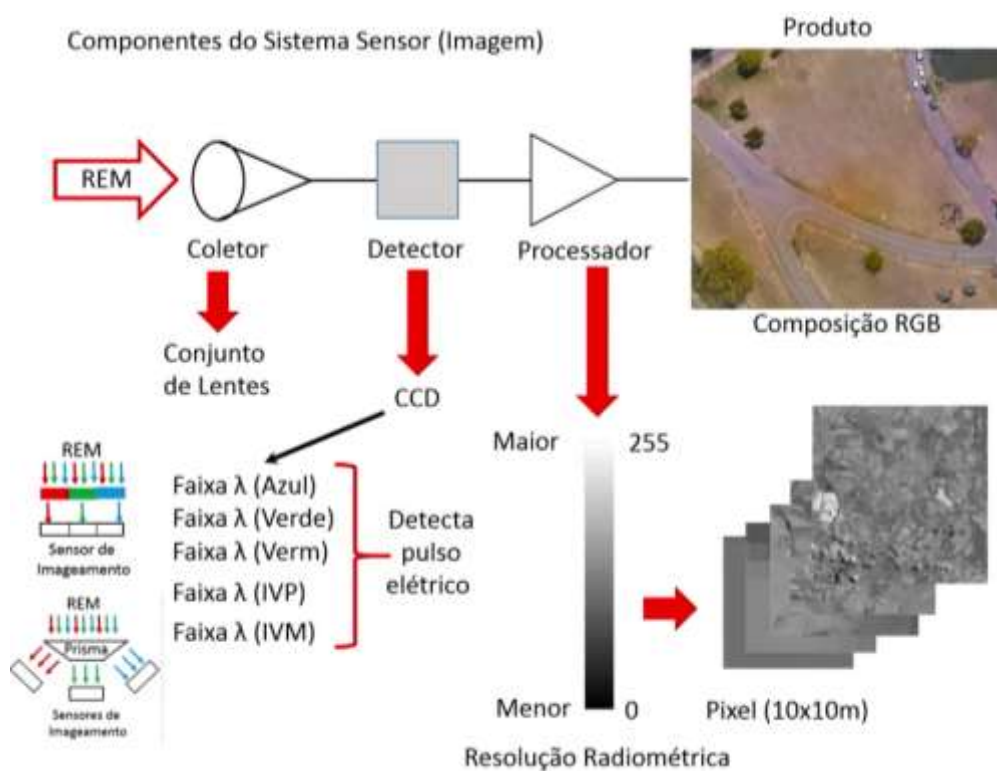


Figura 13: Resumo – componentes de um sensor

3. IMAGENS ORBITAIS

A qualidade de um sensor geralmente é especificada pela sua capacidade de obter medidas detalhadas da REM. Assim, para compreender melhor as estruturas das imagens de sensoriamento remoto é necessário ter em mente que toda imagem tem estrutura raster (matriz).

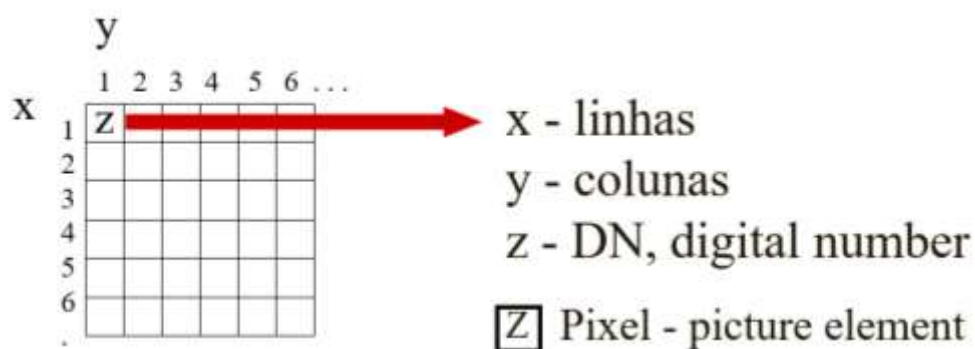


Figura 14: Estrutura das imagens de sensoriamento remoto

Tem-se, portanto, que a definição de pixel é dada pela área com as mesmas dimensões

na superfície da terra, enquanto que o *Digital Number* (DN) é a média da intensidade da energia refletida ou emitida pelos diferentes materiais presentes nesse pixel.

A resposta do pixel, valor Z, vai ser uma resposta de pixel puro ou de pixel misturado. Quanto ao tamanho, quanto maior o tamanho do pixel, maior a média da energia refletida. Quanto menor o tamanho do pixel, menor a média da energia refletida. A medida que o detector obtém a informação da REM e gera o pulso elétrico, esta informação é armazenada entre 0 – preto a 255 – branco, quando o sensor está calibrado. O produto final é composto por informações que permitem entender o nível de cinza.

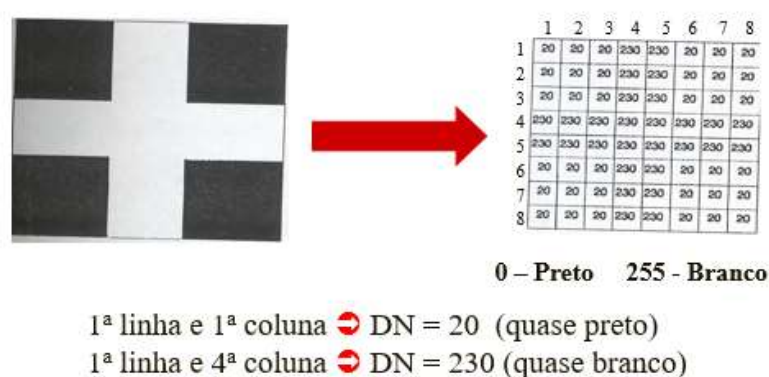


Figura 15: Exemplo de imagem simples (cruz) na forma digital

Além disso, é necessário entender as características dos sensores quanto a resolução espacial, resolução radiométrica, resolução espectral e resolução temporal.

3.1. Resolução espacial

A resolução espacial representa a capacidade do sensor distinguir objetos, isto é, a capacidade do sensor em “enxergar” objetos.

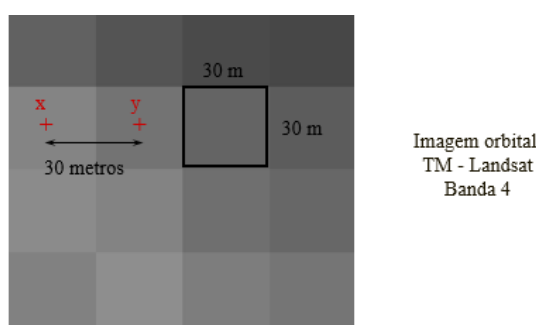


Figura 16: Resolução espacial

Logo, o tamanho do pixel é igual a resolução espacial. Quanto maior o tamanho do pixel,

menor será o nível de detalhe contido em determinada imagem e vice-versa.

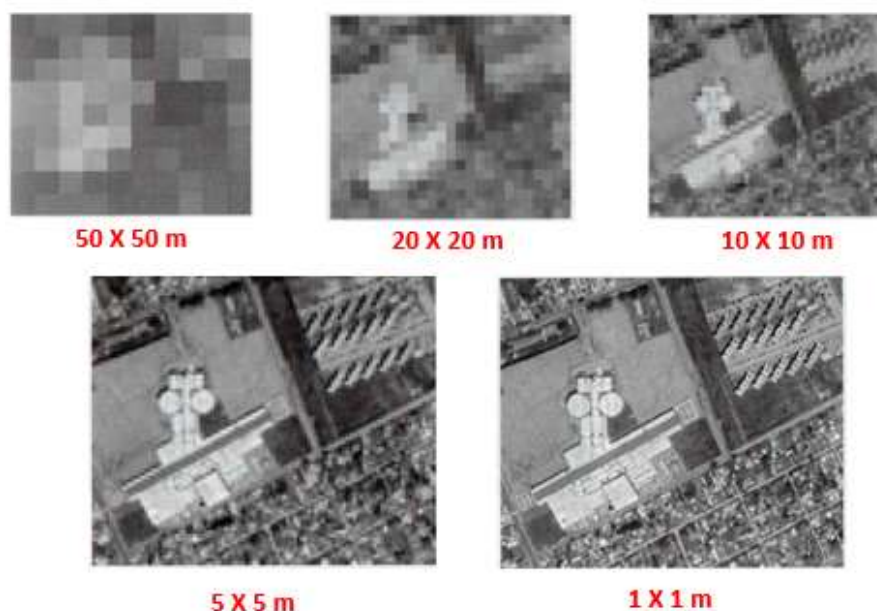


Figura 17: Tamanho do pixel

3.2. Resolução espectral

A resolução espectral é definida pelo número de bandas espectrais de um sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda. Quanto maior for o número de medidas num determinado intervalo de comprimento de onda melhor será a resolução espectral da coleta.

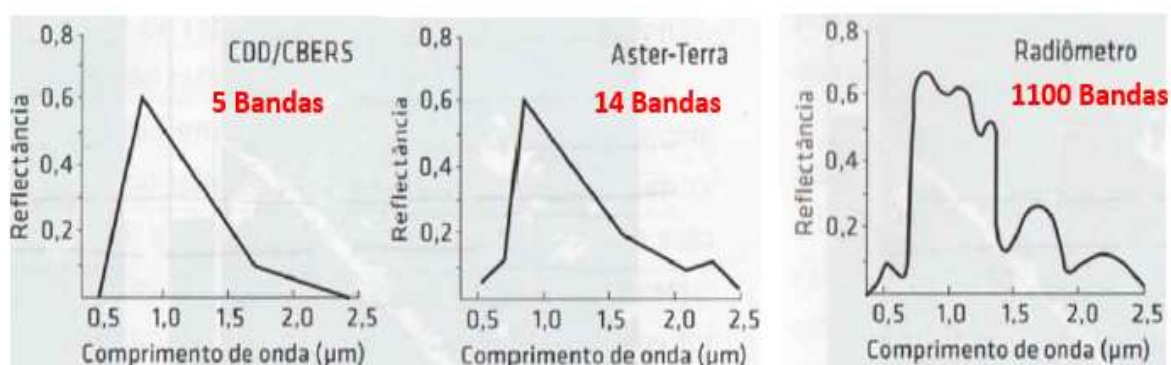


Figura 18: Resolução espectral

3.3. Resolução radiométrica

A resolução radiométrica é dado pelo número de níveis digitais, representados pelos níveis de cinza o qual expressa os dados coletados pelo sensor. Refere-se à maior ou menor capacidade do sistema sensor em detectar e registrar diferenças na energia refletida e/ou emitida

pelos objetos.

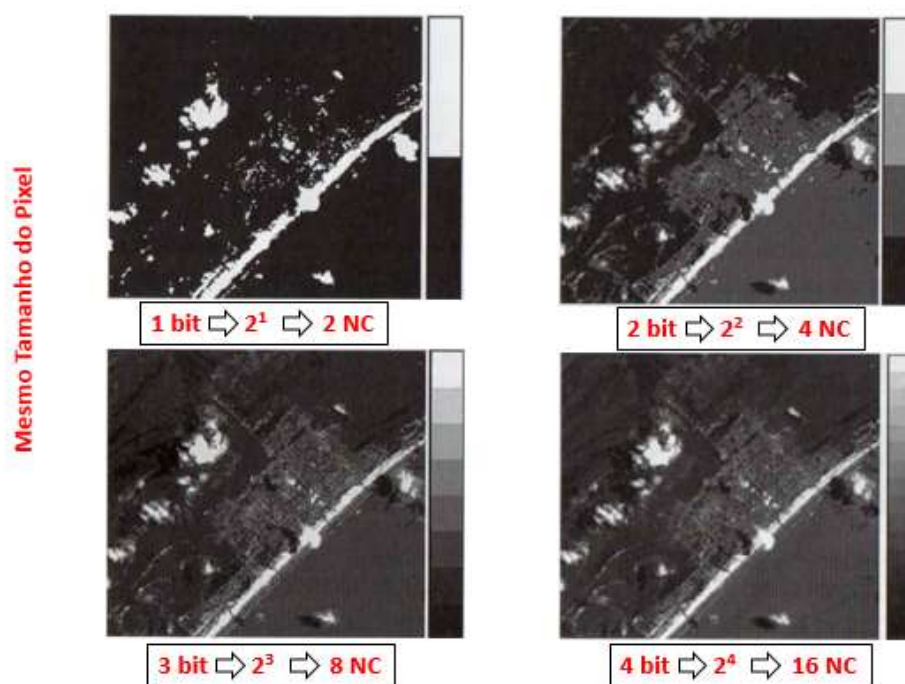


Figura 19: Resolução radiométrica

3.4. Resolução temporal

A resolução temporal é dada pelo número dias, para se obter uma nova imagem de um mesmo local, isto é, está relacionada com a repetitividade em que o sistema sensor adquire informações referentes ao objeto.

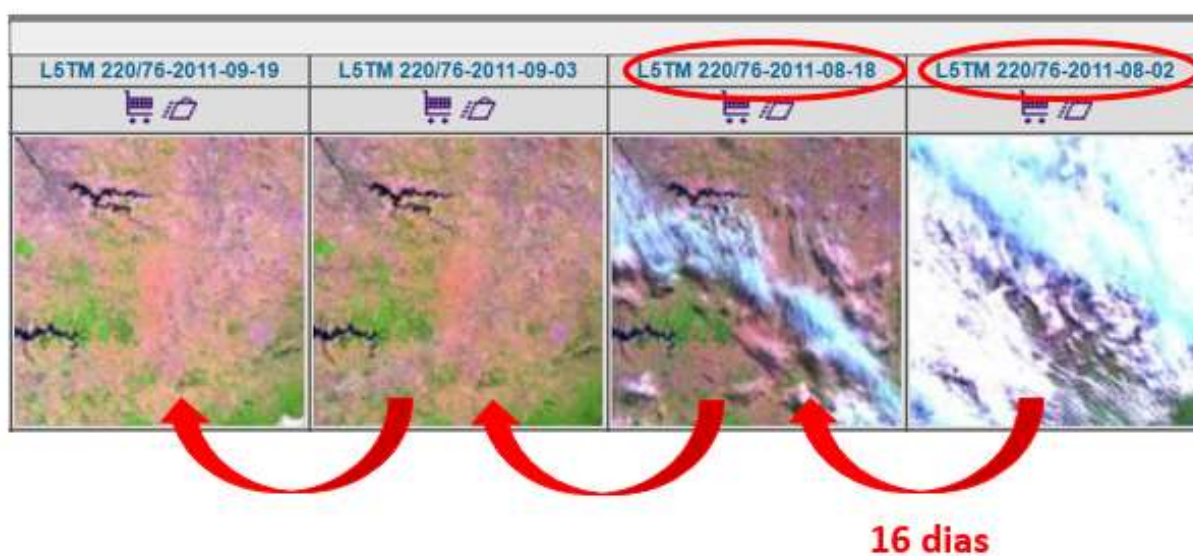


Figura 20: Resolução temporal

4. SENSORES ORBITAIS – CARACTERÍSTICAS

4.1. Altitude

A altitude está diretamente relacionada a velocidade, visto que quanto mais longe da Terra, tem-se menor força gravitacional. Assim, sensores que estão em orbitais mais baixas possuem uma velocidade maior, enquanto que sensores em orbitas mais altas operam em velocidades menores. Ressalta-se que para cada altitude tem-se uma velocidade específica para que o Satélite fique em equilíbrio com a força gravitacional da Terra. O satélite precisa atingir uma velocidade exata que o permita executar o movimento de queda constante ao redor do planeta. O movimento de queda mantém o satélite em plano tangente e, à medida que a gravidade “puxa” para a queda, as forças se anulam e o satélite permanece em uma órbita constante. Por isso, para colocar um satélite em órbita circular a uma determinada distância do centro da Terra, é preciso conferir-lhe uma velocidade de um determinado módulo e de direção tangente à órbita que o satélite descreverá.

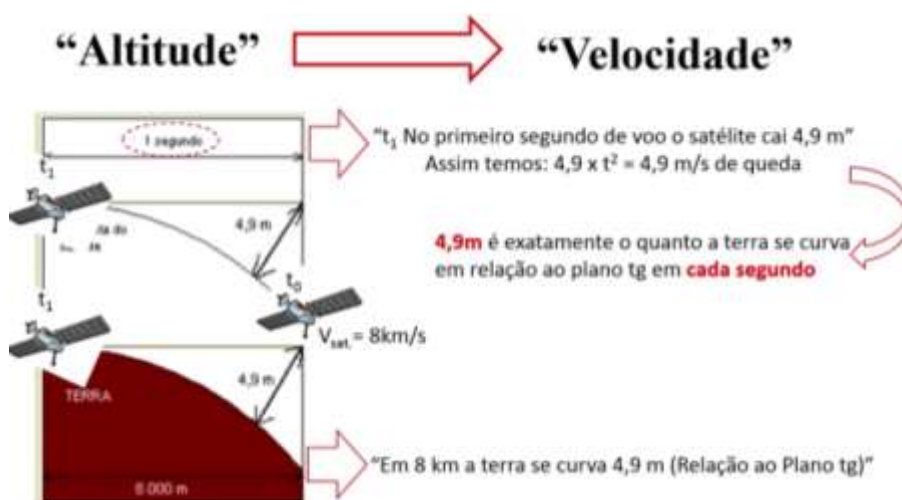


Figura 21: Influência da altitude

A altitude de um sensor também está ligada ao tempo de aquisição das imagens, a exposição dos sensores a radiação, a qualidade das imagens e no tempo de revisita. Portanto, sensores alocados em altitudes menores apresentam diminuição no tempo para aquisição de imagens, redução da exposição dos sensores a radiação, diminuição da qualidade das imagens, mas há um favorecimento no tempo de revisita, visto que a velocidade é maior e o satélite chegará mais rápido em determinado ponto.

Além disso, as zonas de aquisição de imagens influenciam o comportamento dos sensores. Existem quatro zonas: Órbita Terrestre Baixa (LEO, 200km – 2000km); Órbita Terrestre Média (MEO, 2000km – 35779km); Órbita Geoestacionária (GEO, exatos –

35780km); e Órbita Terrestre Alta (HEO, > 35780km). Destaca-se que 200km é a menor órbita possível, justamente para evitar atrito com gases atmosféricos para que não haja desaceleração e, conseqüentemente, queda.

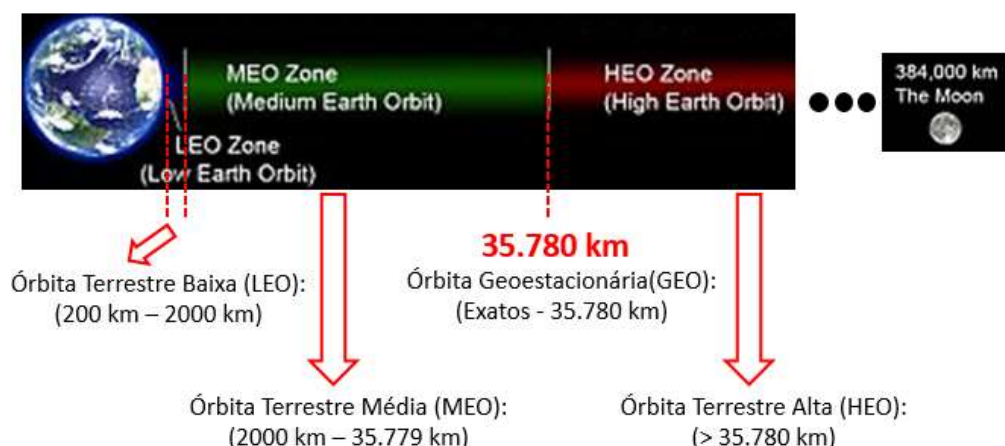


Figura 22: Zonas de aquisição de imagens

A Órbita Terrestre Baixa (LEO) é a mais importante e contempla grande parte dos satélites de sensoriamento remoto, geralmente alocados de 700 a 1700km da órbita terrestre. A Órbita Terrestre Média (MEO) contempla os satélites GPS, em que o GNSS está ± 20350 km e o GALILEO ± 23616 km da órbita. Na Órbita Geoestacionária (GEO), o satélite “parece” que está parado em relação a superfície terrestre, mas, na verdade, ele gira junto com a Terra (órbita geossíncrona). Por fim, a Órbita Terrestre Alta (HEO) possui uma altitude mais elevada.

4.2. Inclinação de órbita

4.2.1 Órbita Equatorial

É uma órbita geoestacionária que fica permanentemente sobre a linha do equador, em que o seu período de rotação coincide com o período sideral de rotação da Terra, portanto, gira com a mesma velocidade de rotação da Terra, 1 volta = 24 horas. Exemplos: sistemas de telecomunicações, meteorológicos, climatológicos etc.

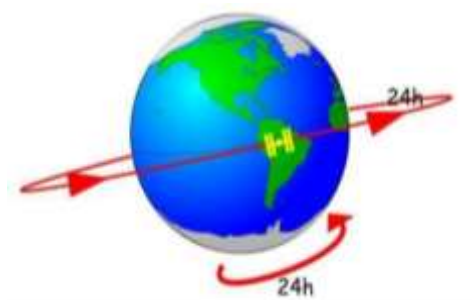


Figura 23: Órbita geoestacionária

4.2.2 Órbita Polar

Os satélites de órbita polar passam pelos polos ou perto deles, a 90° do equador. Exemplos: satélite TERRA e AMAZÔNIA I, sensores MODIS, ASTER, CERES, MISR, MOPITT, entre outros.



Figura 24: Órbita polar

4.2.3 Órbita Quase Polar

A maioria dos satélites possui órbita quase polar e são imageadores passivos (necessitam de energia proveniente do Sol). Estão a 98° de inclinação em relação ao Equador permitindo sempre as mesmas condições de passagem. A única interferência é dada por conta das estações do ano, visto que a intensidade de luminosidade incidente varia para cada hemisfério. Exemplos: CBERS 4 e Landsat 5.

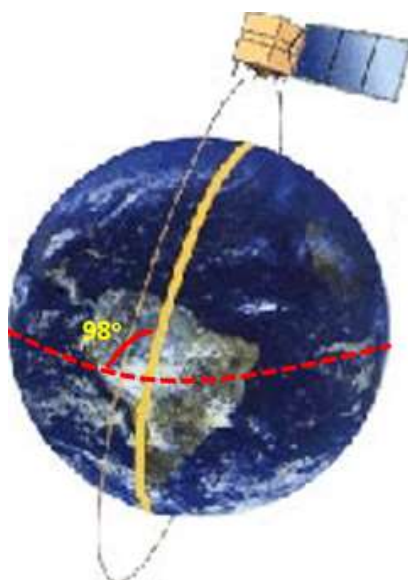


Figura 25: Órbita quase polar

5. IMAGEADORES PASSIVOS

5.1. Sistema Landsat

A família Landsat foi responsável pelas primeiras imagens da superfície terrestre. O primeiro lançamento foi em 27/07/1972 em uma plataforma meteorológica e continha um sensor MSS (multiespectral – RGB e IVP). A primeira geração (sensor MSS) de satélites compreende os Landsat 1, 2 e 3, enquanto que a segunda geração (sensor TM) contempla os Landsat 4, 5 e 7. Abaixo uma tabela síntese com as características da família Landsat e respectivos satélites.

Missão	Land Remote Sensing Satellite (Landsat)					
Instituição Responsável	NASA (National Aeronautics and Space Administration)					
País/Região	Estados Unidos					
Satélite	LANDSAT 1	LANDSAT 2	LANDSAT 3	LANDSAT 4	LANDSAT 5	LANDSAT 7
Lançamento	27/7/1972	22/1/1975	5/3/1978	16/7/1982	1/3/1984	15/4/1999
Situação Atual	Inativo (06/01/1978)	Inativo (25/02/1982)	Inativo (31/03/1983)	Inativo (1993)	Inativo	Inativo (2003)
Órbita	Polar, Circular e heliossíncrona.					
Altitude	917 km	917 km	917 km	705 km	705 km	705 km
Inclinação	99°	99°	99°	98,20°	98,20°	98,3°
Tempo de Duração da Órbita	103,27 min	103,27 min	103,27 min	98,20 min	98,20 min	98,9 min
Horário de Passagem	9:15 A.M.	9:15 A.M.	9:15 A.M.	9:45 A.M.	9:45 A.M.	10:00 A.M.
Período de Revisita	18 dias	18 dias	18 dias	16 dias	16 dias	16 dias
Instrumentos Sensores	MSS	MSS	MSS	TM	TM	ETM+

CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS E ESPACIAIS DO SENSOR MSS

Banda	Faixa espectral	Região do Espectro	Resolução Espacial
4	0,5 a 0,6 μm	Verde	80 metros
5	0,6 a 0,7 μm	vermelho	80 metros
6	0,7 a 0,8 μm	IR Próximo	80 metros
7	0,8 a 1,1 μm	IR Próximo	80 metros

RBV - (Return Beam Vidicon)

Satélites Landsat-1, Landsat-2 e Landsat-3

1 - o canal 1 (475 – 575 nm) na região do azul/verde;

2 - o canal 2 (580 – 680 nm) na região do verde/vermelho;

3 - o canal 3 (690 – 830 nm) na região do vermelho/infravermelho próximo.

Resolução espacial: 80 m (Landsat 1 e 2)

Resolução espacial: 30 m (Landsat 3) – Pan (550 – 750nm)

Figura 26: Família Landsat

O Landsat 8 foi lançado em um foguete Atlas-V da Base Aérea de Vandenberg, Califórnia, em 11 de fevereiro de 2013. O Landsat 8 é o satélite Landsat lançado mais recentemente e carrega os sensores *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). A figura a seguir traz as principais características do satélite.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
OLI (Operational Land Imager)	(B1) AZUL COSTEIRO	0.43 - 0.45 μm	30 m	16 dias	170 x 183 km	16 bits
	(B2) AZUL	0.45 - 0.51 μm				
	(B3) VERDE	0.53 - 0.59 μm				
	(B4) VERMELHO	0.64 - 0.67 μm				
	(B5) INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0.85 - 0.88 μm				
	(B6) INFRAVERMELHO MÉDIO	1.57 - 1.65 μm				
	(B7) INFRAVERMELHO MÉDIO	2.11 - 2.29 μm				
	(B8) PANCROMÁTICA	0.50 - 0.68 μm	15 m			
	(B9) CIRRUS	1.36-1.38 μm	30 m			
TIRS (Thermal Infrared Sensor)	(B10) INFRAVERMELHO TERMAL	10.6-11.19 μm	100 m			
	(B11) INFRAVERMELHO TERMAL	11.5-12.51 μm	100 m			

5.2. Sistema CBERS

O Programa CBERS nasceu de uma parceria inédita entre Brasil e China no setor técnico-científico espacial. A família de satélites de sensoriamento remoto CBERS trouxe significativos avanços científicos ao Brasil. No país, praticamente todas as instituições ligadas ao meio ambiente e recursos naturais são usuárias das imagens do CBERS.

Alguns dos sensores desenvolvidos na primeira série (CBERS 1 e 2) são: Imageador de Amplo Campo de Visada (WFI - *Wide Field Imager*); Câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD - *High Resolution*); e Imageador por Varredura de Média Resolução (IRMSS – *Infrared Multispectral Scanner*). Já no CBERS 2B embarcaram, também, a Câmera Pancromática de Alta Resolução (HRC - *High Resolution Camera*).

Características do Imageador de Amplo Campo de Visada WFI	
Bandas espectrais	0,63 - 0,69 μm (vermelho) 0,77 - 0,89 μm (infra-vermelho)
Campo de Visada	60°
Resolução espacial	260 x 260 m
Largura da faixa imageada	890 km
Resolução temporal	5 dias

Figura 27: Características do Imageador de Amplo Campo de Visada (WFI)

Características da Câmera Imageadora de Alta Resolução CCD	
Bandas espectrais	0,51 - 0,73 μm (pan) 0,45 - 0,52 μm (azul) 0,52 - 0,59 μm (verde) 0,63 - 0,69 μm (vermelho) 0,77 - 0,89 μm (infravermelho próximo)
Campo de Visada	8,3°
Resolução espacial	20 x 20 m
Largura da faixa imageada	113 km
Capacidade de apontamento do espelho	$\pm 32^\circ$
Resolução temporal	26 dias com visada vertical (3 dias com visada lateral)

Figura 28: Características da Câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD)

Características do Imageador por Varredura de Média Resolução IRMSS	
Bandas espectrais	0,50 - 1,10 μm (pancromática) 1,55 - 1,75 μm (IVM) 2,08 - 2,35 μm (IVM) 10,40 - 12,50 μm (IVTermal)
Campo de Visada	8,8°
Resolução espacial	80 x 80 m (160 x 160 m termal)
Largura da faixa imageada	120 km
Resolução temporal	26 dias

Figura 29: Características do Imageador por Varredura de Média Resolução IRMSS)

Características da Câmera Pancromática de Alta Resolução - HRC	
Banda espectral	0,50 - 0,80 μm(PAN)
Campo de Visada	2,1°
Resolução espacial	2,7 x 2,7 m
Largura da faixa imageada	27 km (nadir)
Resolução temporal	130 dias
Quantização	8 bits

Figura 30: Características da Câmera Pancromática de Alta Resolução (HRC)

Para os CBERS 3 e 4, são utilizadas no módulo carga útil quatro câmeras (Câmera Pancromática e Multiespectral - PAN, Câmera Multiespectral Regular - MUX, Imageador Multiespectral e Termal - IRS, e Câmera de Campo Largo - WFI) com desempenhos geométricos e radiométricos melhorados. As diferenças entre os satélites da primeira geração do Programa CBERS (CBERS 1, 2 e 2B) e os da segunda (CBERS 3 e 4) estão apresentadas abaixo.

Diferenças entre os Satélites		
Características	CBERS-1, 2 e 2B	CBERS-3 e 4
Massa total	1450 kg	2080 kg
Potência gerada	1100 W	2300 W
Taxa de dados	100 Mbit/s	300 Mbit/s
Vida útil projetado	2 anos	3 anos
Participação brasileira	30 %	50 %

Figura 31: Diferenças entre os satélites

Em relação ao CBERS 4, as atividades de montagem, integração e testes (AIT) do satélite CBERS-4 foram realizadas nas instalações da CAST (*China Academy Space Technology*), situada em Pequim, sendo lançado no dia 07 de dezembro de 2014. O satélite contém a bordo os sensores: PAN – 5m, PAN – 10m , MUX – 20m, IRS – 40m / 80m e WFI – 64m. A Figura 32. apresenta as características do CBERS 4.

	PAN		MUX
Resolução Espectral	B1 510-850nm (Pan)	B5 450-520 nm (B)	
	B2 520-590nm (G)	B6 520-590nm (G)	
	B3 630-690nm (R)	B7 630-690nm (R)	
	B4 770-890nm (NIR)	B8 770-890nm (NIR)	
Resolução Espacial	5 m / 10 m	Resolução Espacial	20 m
Resolução Temporal	52 dias	Resolução Temporal	26 dias
Resolução Radiométrica	8 bits	Resolução Radiométrica	8 bits
Largura da Faixa Imageada	60 km	Largura da Faixa Imageada	120 km
	IRS		WFI
Resolução Espectral	B9 500-900nm (Pan)	B13 450-520 nm (B)	
	B10 1,55-1,75µm (SWIR)	B14 520-590nm (G)	
	B11 2,08-2,35µm (SWIR)	B15 630-690nm (R)	
	B12 10,40-12,50µm (TH)	B16 770-890nm (NIR)	
Resolução Espacial	40 m / 80 m (TIR)	Resolução Espacial	64 m
Resolução Temporal	26 dias	Resolução Temporal	5 dias
Resolução Radiométrica	8 bits	Resolução Radiométrica	10 bits
Largura da Faixa Imageada	120 km	Largura da Faixa Imageada	866 km

Figura 32: Características CBERS 4

Já o CBERS 4A, a sua configuração é parecida com a dos satélites CBERS-3&4, com melhorias para acomodar a nova câmera imageadora chinesa que possui qualidade superior na resolução geométrica e espectral, e foi lançado em Lançamento: 20 de dezembro de 2019.

Diferenças entre os Satélites da 1ª e 2ª Geração			
	1ª Geração	2ª Geração	
Característica	CBERS-1, 2 e 2B	CBERS-3 e 4	CBERS 04A
Massa total [kg]	1450	2080	1730
Potência gerada [W]	1100	2300	2100
Taxa de dados [Mbps/s]	100	300	900
Vida útil projetado [anos]	2	3	5
Altitude [km]	778	778	628,6
Dimensão do corpo do satélite (m)	1,8 x 2,0 x 2,2	1,8 x 2,0 x 2,5	1,8 x 2,0 x 2,6
Dimensão do painel solar (m)	6,3 x 2,6	6,3 x 2,6	6,3 x 2,6
Participação brasileira [%]	30	50	50

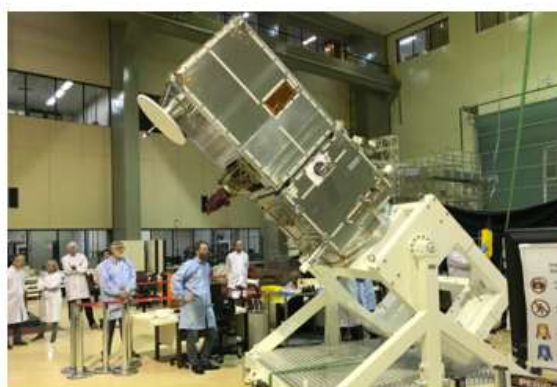
Figura 33: Diferenças entre os satélites da 1ª e 2ª geração

Características das câmeras do CBERS 04A			
Característica	WPM	MUX	WFI
Bandas Espectrais	B1 0,45-0,52 μ m (B) B2 0,52-0,59 μ m (G) B3 0,63-0,69 μ m (R) B4 0,77-0,89 μ m (NIR) P 0,45-0,90 μ m (PAN)	B5 0,45-0,52 μ m (B) B6 0,52-0,59 μ m (G) B7 0,63-0,69 μ m (R) B8 0,77-0,89 μ m (NIR)	B13 0,45-0,52 μ m (B) B14 0,52-0,59 μ m (G) B15 0,63-0,69 μ m (R) B16 0,77-0,89 μ m (NIR)
Resolução	2 m 8 m	16,5 m	55 m
Largura da Faixa Imageada	92 km	95 km	684 km
Visada Lateral de Espelho	não	não	não
Revisita	31 dias	31 dias	5 dias
Quantização	10 bits	8 bits	10 bits

Figura 34: Câmeras CBERS 4ª

5.3. Amazonia 1

O Amazonia 1 é o primeiro satélite de Observação da Terra completamente projetado, integrado, testado e operado pelo Brasil, e foi lançado em 28 de fevereiro de 2021.



Resolução Temporal: 5 dias
Resolução Espacial: 60 m
Resolução Radiométrica: 10 bit's
Faixa Imageada: 850 km
Altitude: 752 km



Resolução Espectral

WFI
0,45-0,52 μ m (B)
0,52-0,59 μ m (G)
0,63-0,69 μ m (R)
0,77-0,89 μ m (NIR)

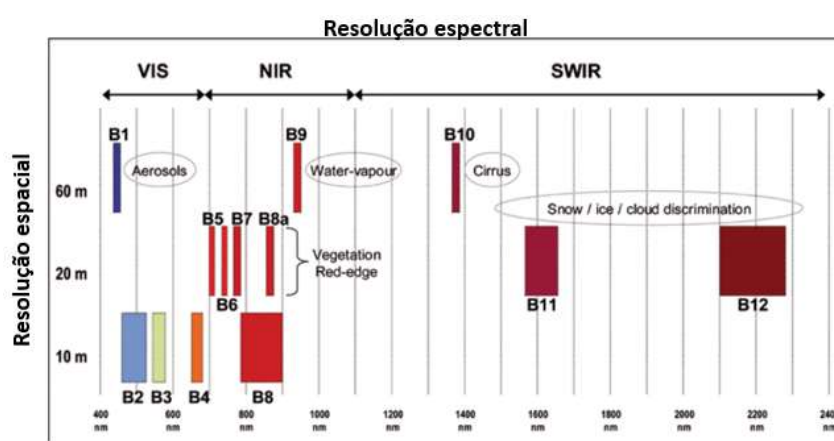
Figura 35: Características Amazonia 1

5.4. Sentinel 2 (A e B)

O Sentinel 2A foi lançado em 23 de junho de 2015 e o Sentinel 2B em 07 de março de 2017, pelo programa europeu GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*).

Resolução espacial (m)	Número da banda	S2A		S2B	
		Comprimento de onda central (nm)	Largura de banda (nm)	Comprimento de onda central (nm)	Largura de banda (nm)
10	Az. 2	492,4	66	492,1	66
	Ver. 3	559,8	36	559,0	36
	Verm. 4	664,6	31	664,9	31
	IVP 8	832,8	106	832,9	106
20	Red Edge 1 5	704,1	15	703,8	16
	2 6	740,5	15	739,1	15
	3 7	782,8	20	779,7	20
	4 8a	864,7	21	864,0	22
	IVM 11	1613,7	91	1610,4	94
	IVM 12	2202,4	175	2185,7	185
60	Aerossol 1	442,7	21	442,2	21
	W. V. 9	945,1	20	943,2	21
	Cirrus 10	1373,5	31	1376,9	30

Figura 36: Comprimento de onda e largura de bandas das três resoluções espaciais do instrumento MSI



Largura da Faixa Imageada: 290 km (cada satélite)

Resolução Temporal: 10 dias com um satélite / 5 dias com os dois Satélites

Resolução Radiométrica: 12 bit's (4096 NC)

Figura 37: Características Sentinel 2 (A e B)

5.5. Sistema IKONOS

O satélite IKONOS II foi lançado no dia 24 de setembro de 1999, e está operacional desde o início de janeiro de 2000. O SPACE IMAGING detém os direitos de comercialização a nível mundial. Possui imagens com resolução espacial 1m, inicialmente para fins militares. Para aplicações civis foi liberado em 1994 pelo Governo Americano.

**Resolução Espacial (PAN 1m /
Multispectral 4m)**
Bandas espectrais
 PAN (0.45 - 0.90 μm)
 Azul (0.45 - 0.52 μm)
 Verde (0.52 - 0.60 μm)
 Vermelho (0.63 - 0.69 μm)
 IVP (0.76 - 0.90 μm)
Faixas: 13 km X 100 até 13 km x 1000
 (cenas de 13km x 13km)

Frequência de Revisita
 2.9 dias no modo Pancromático
 1.5 dia no modo Multispectral

Figura 38: Características IKONOS

5.6. Outros Sistemas



Geoeye-1

*Santos Riço do Oeste e
Santa Albertina - SP*

Resolução Espacial
 0.41m Pancromático
 1.64m Multispectral (colorido)

Resolução Espectral
 Azul: 450-520 nm
 Verde: 520-600 nm
 Vermelho: 625-695 nm
 IVP: 760-900 nm
 PAN 450 - 900nm

Faixa imageada
 15.2 km
 Cena individual: 225 km²
 (15x15 km)

Resolução Radiométrica
 11 bits por pixel (2048 nc)

Capacidade de Revisita
 A cada 3 dias ou menos

Figura 39: GeoEye-1



Figura 40: QuickBird

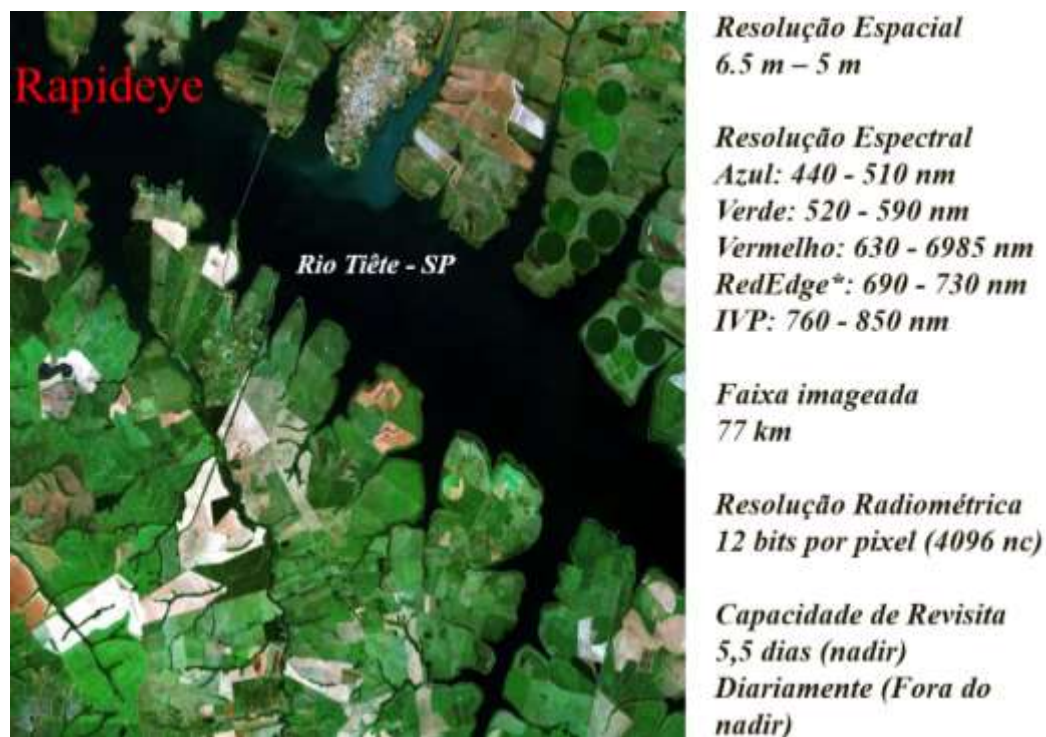


Figura 41: RapidEye

6. LIXO ESPACIAL

A exploração do espaço tem deixado marcas indesejadas na órbita, conhecidos como lixo ou detrito espacial. A quantidade destes detritos tem aumentado e os riscos/danos provocados por eles podem influenciar negativamente as atividades espaciais.



Figura 42: Lixo espacial

O lixo espacial é um problema de dimensões globais do meio ambiente e que, conforme a proporção de detritos espaciais progressivamente evoluiu, tornou-se evidente que a compreensão de suas causas e o controle de suas fontes é um pré-requisito para assegurar o voo espacial, por exemplo.

7. REFERÊNCIAS

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Paulo, Edgard Blücher, p. 308, 1989.

VETTORAZZI, C. A. Sensoriamento Remoto Orbital. Serie **Didática - Departamento de Engenharia Rural**. Esalq. Ano: n.2, p.1-134, 1992.