

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE SANTA CATARINA  
GERÊNCIA EDUCACIONAL DE FORMAÇÃO GERAL E DE SERVIÇOS  
CURSO TÉCNICO DE METEOROLOGIA**

**APLICAÇÕES DE SATÉLITES METEOROLÓGICOS**

**LUCÉLIA SOUZA INÁCIO  
MARIANE CECHINEL GONÇALVES  
WAGNER ANTONIO IMIANOVSKY**

**FLORIANÓPOLIS, 2005**

## **AGRADECIMENTO**

Em especial, à orientadora deste projeto Márcia Vetromilla Fuentes, que forneceu conhecimento, material de apoio, incentivo e sempre disposta a esclarecer dúvidas. Ao colega Paulo dos Santos, integrante do grupo que ajudou muito a começar este projeto e que, por motivos particulares, desistiu do curso de meteorologia. Às professoras Eliane Salete Bareta Gonçalves e Telma Pires Pacheco Amorim, que auxiliaram com material informativo para a construção deste estudo.

O deserto que atravessei  
ninguém me viu passar  
estranho e só nem pude ver  
que o céu é maior.

Trecho da música "Catedral"

## RESUMO

Esta pesquisa tem por finalidade mostrar um pouco da história do sensoriamento remoto meteorológico, usado em satélites, bem como seu princípio de funcionamento, tipos de órbitas, configuração do sistema mundial, tipos e sensores, principais canais de operação e características das imagens. Como produto final, a disponibilidade de um catálogo de nuvens no *site* do CEFET/SC.

## **ABSTRACT**

Since their invention, the meteorological satellites revolutionized weather forecasting, through the use of Earth images from space. Considering the importance of these images, we developed a study with a brief history of meteorological satellites and their functioning besides the development of a catalog with the identification of the main types of clouds.

Keywords: satellite, clouds, images.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	7
2 SENSORIAMENTO REMOTO METEOROLÓGICO .....	8
2.1 Histórico .....	8
2.2 Princípio de funcionamento .....	10
2.3 Tipos de órbitas .....	11
2.4 Configuração do sistema mundial .....	12
2.5 Sensores e instrumentos dos satélites .....	15
2.5.1 Sensores de satélites de órbita polar .....	15
2.5.2 Sensores de satélites de órbita geoestacionária .....	17
2.6 Resolução .....	17
2.7 Tratamento digital básico .....	18
2.8 Tipos de calibração .....	19
2.8.1 Calibração em laboratório .....	20
2.8.2 Calibração em voo (a bordo) .....	21
2.8.3 Calibração em voo ( <i>in situ</i> ) .....	22
2.8.4 Calibração absoluta .....	23
2.8.5 Diretrizes para calibração .....	24
2.9 Identificação dos tipos de nuvens nas imagens .....	25
2.9.1 Padrão de nuvens em larga escala .....	25
2.9.2 Características que auxiliam na identificação da nuvem .....	26
2.9.3 Nuvens estratiformes .....	28
2.9.4 Identificação de nevoeiro .....	28
2.9.5 Nuvens cumuliformes .....	29
2.9.6 Nuvens stratocumulus .....	30
2.9.7 Grandes cumulus (TCU) e cumulonimbus (Cb) .....	30
2.9.8 Nuvens médias .....	31
2.9.9 Nuvens altas .....	31
2.9.10 Detecção de nuvens menores .....	32
2.10 Produtos derivados .....	33
2.10.1 Estimativa de ventos .....	33
2.10.2 Estimativa de precipitação .....	34
2.10.3 Estimativa de radiação solar .....	34
2.10.4 Temperatura da superfície do mar (TSM) .....	35
2.10.5 Índice de vegetação e queimadas .....	35
3 CONCLUSÃO .....	40
4 REFERÊNCIAS .....	41

## 1 INTRODUÇÃO

Nos primórdios da humanidade o homem já percebia mudanças na atmosfera, porém não possuía meios para estudá-la mais a fundo. O estudo da atmosfera só foi possível no século XX, com a evolução da tecnologia e conseqüente criação de um protótipo destinado a fotografar a Terra do espaço. A partir daí tornou-se cada vez mais necessário estudar e prever os fenômenos que ocorrem freqüentemente no planeta.

Com a finalidade de tornar a interpretação de imagens de satélites meteorológicos mais acessível e compreensível a leigos, é que foi elaborada esta apostila, que contém informações básicas desde o primeiro satélite lançado até os que orbitam a Terra hoje. Para isso, foram usados livros e internet como fontes de pesquisa.

Os objetivos propostos pelo grupo que desenvolveu este projeto eram, inicialmente, ilustrar com uma maquete o funcionamento e principais acessórios necessários para o bom funcionamento de um satélite. Entretanto, isso não foi possível devido à diversidade de modelos de satélites. Em segundo, a criação desta apostila e de um catálogo de nuvens, que está disponível no *site* do CEFET/SC.

## **2 SENSORIAMENTO REMOTO METEOROLÓGICO**

### **2.1 Histórico**

Até o ano de 1946, o estudo da dinâmica atmosférica era feito por meio de aeronaves ou balões. Neste mesmo ano foram obtidas as primeiras fotografias a partir do foguete V-2. Essas fotos mostraram o grande potencial que as imagens orbitais possuem, pois revelam uma nova perspectiva de observação da Terra. No entanto, essas fotos não possuíam uma boa resolução, devido à tecnologia existente não ser muito avançada. Apesar do interesse pelo estudo da atmosfera, somente no ano de 1960 que foi possível o lançamento de um satélite.

O primeiro satélite meteorológico do mundo era de órbita polar e seu nome era TIROS-1 (Television and Infrared Observation Satellite). Elaborado pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, foi lançado em 1º de abril de 1960. Sua missão era enviar informações da dinâmica atmosférica para um estudo mais aprofundado, possibilitando, assim, mais precisão na previsão do tempo. Os dados coletados por este satélite mostraram sua habilidade na aquisição de imagens de cobertura de nuvens, fazendo com que a comunidade interessada nas pesquisas meteorológicas se motivasse ainda mais para aprofundar a tecnologia desses satélites.

O impacto gerado por essas primeiras imagens com boa resolução levou, como bem sabemos, à evolução de uma série de satélites que monitoram a atmosfera terrestre, os continentes e oceanos. Em julho de 1965 foi lançado o TIROS-10, com a função de observar tempestades tropicais.

Em 1970 a administração do programa de satélites meteorológicos passou a ser responsabilidade da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), dos Estados Unidos. Neste mesmo ano foi lançado o ITOS-1 (Improved TIROS Operational System), da segunda geração de satélites meteorológicos. Ele possuía um radiômetro de varredura que permitia medidas diurnas e noturnas, com transmissão dos dados em tempo real e, além disso, armazenava-os para posterior transmissão para as estações



na Terra. As observações globais da atmosfera estavam disponíveis a cada 12 horas. Entre 1970 e 1978 operaram os melhores satélites da série TIROS (incluindo ITOS 1 e NOAA 2-5).

Em outubro de 1978 teve início a terceira geração de satélites, com o lançamento do TIROS N, o qual tornou-se o melhor protótipo dos modernos satélites NOAA em uso até hoje. Os satélites desta série são chamados de NOAA e numerados assim que fixam suas órbitas. Em 2001, os satélites NOAA 12, 14, 15 e 16, que foram lançados, respectivamente, em maio de 1991, dezembro de 1994, maio de 1998 e setembro de 2000, estavam em operação. Em 1993, o NOAA 13, lançado em maio de 1990, parou de funcionar. Atualmente, pelo menos dois satélites de órbita polar são mantidos em operação pelos Estados Unidos.

O primeiro satélite geoestacionário, o ATS 1 ( *Applications Technology Satellite*), foi lançado em 1966, pelos Estados Unidos. Acompanhando esta série, foi lançado o SMS 1 ( *Synchronos Meteorological Satellite*). O primeiro satélite geoestacionário americano a operar foi lançado em 1974, foi chamado GOES 1 e terminou com o GOES 7, o qual foi programado para operar até 1995. Nesse tempo, apenas o GOES 6 teve problemas, em 1989, e sua área de observação foi coberta por outro satélite.

Em 1994, foi lançado o GOES I, renomeado de GOES 8 após atingir sua órbita e começou a operar em 1995. Neste mesmo ano foi lançado o GOES J. Renomeado de GOES 9, ele substituiu o GOES 7. Porém, ele apresentou problemas e foi trocado pelo GOES 10, lançado em 1997. Depois, foram lançados o GOES 11 e o GOES M, rebatizado como GOES 12, respectivamente em maio de 2000 e julho de 2001. Atualmente, os Estados Unidos mantém quatro satélites geoestacionários em operação.

Além dos Estados Unidos, a Rússia, a China, a Índia, o Japão e a Agência Espacial Européia mantêm satélites meteorológicos de órbita polar e geoestacionária, os quais produzem imagens de todo o planeta.

O objetivo da OMM (Organização Mundial de Meteorologia) é que o planeta seja orbitado por pelo menos cinco satélites geoestacionários separados por 70° de longitude, para garantir uma observação global e contínua (a cada meia hora). Estes satélites têm como principal missão obter imagens, estimativa de ventos troposféricos e

transmitir os dados em tempo real, o que torna possível uma visão total dos fenômenos que ocorrem na atmosfera.

Estão em órbita geoestacionária dois satélites americanos (GOES 8 e 10), um satélite russo (GOMS, operando com restrições), um satélite chinês (FY-2B), um satélite indiano (INSAT II E), um satélite japonês (GMS 5) e dois satélites europeus (METEOSAT 5 e 7).

## **2.2 Princípio de Funcionamento**

O sensoriamento remoto tem sua origem ligada a experiências realizadas por Newton, nas quais ele constatou que a luz branca ao atravessar um prisma, se decompõe em um feixe colorido, que é o espectro de cores. A partir disso, vários cientistas se interessaram nesta técnica. Eles verificaram que a luz branca é uma união de diferentes tipos de luz, uma vibração composta de várias vibrações diferentes. Depois, descobriram que cada cor corresponde a uma temperatura, onde o vermelho é mais quente e o violeta menos quente. Avançando ainda mais os estudos, os cientistas provaram que o raio de luz é uma onda eletromagnética.

O sensoriamento remoto baseia-se na propagação de ondas eletromagnéticas e na sua interação com alvos naturais, sem manter contato com os mesmos. As ondas eletromagnéticas são perturbações no campo elétrico e magnético de uma carga elétrica acelerada, propagada repetidamente no vácuo. Elas se propagam no vácuo à velocidade da luz ( $3 \times 10^8$  m/s).

As principais faixas de comprimento de ondas utilizadas no sensoriamento são as superiores a  $0,3 \mu\text{m}$ , sendo assim as principais regiões do espectro operam no VIS, IR, e MW. Os que utilizam a energia para o sensoriamento remoto do fluxo solar refletido utilizam de ondas entre  $0,4 \mu\text{m}$  e  $2,5 \mu\text{m}$ , e fluxo termal emitido pela superfície terrestre maiores que  $6 \mu\text{m}$ .

## 2.3 Tipos de órbitas

Existem dois tipos de órbitas para os satélites meteorológicos: polar e geoestacionária. O primeiro satélite de órbita polar foi o TIROS 1, lançado pelos Estados Unidos em 1960. Já o de órbita geoestacionária, foi lançado um pouco mais tarde, em 1966, também pelos Estados Unidos e seu nome era ATS 1.

Os satélites de órbita polar são assim chamados porque fazem uma trajetória de pólo a pólo, com uma inclinação de  $98^\circ$  com relação ao equador, ou seja, passam com  $8^\circ$  de inclinação em relação aos pólos durante cada órbita, entre 800 e 1200 km de altitude. Estes satélites formam um ciclo heliosíncrono (passam sempre pelo mesmo ponto do planeta no mesmo horário solar). Cada satélite explora uma faixa diferente, de até 3.000 km, em cada órbita, que possuem um período de cerca de 102 minutos, o que significa que, em um dia, o satélite faz 14 órbitas ao redor do planeta (1440 minutos divididos por 102 minutos por órbita).

Há duas categorias principais de sensores que são incluídas na carga útil dos satélites meteorológicos: os imageadores e os sondadores.

Os imageadores são, em sua maioria, projetados para obter imagens de alta resolução espacial e baixa resolução espectral, em um número relativamente baixo de canais (entre 3 e 5). Já os sondadores, caracterizam-se pela baixa resolução espacial, alta resolução espectral e grande número de canais, um número superior a 10 no IR termal ou microondas. Geralmente, as funções de imageamento e sondagem atmosférica são feitas por instrumentos diferentes, mas podem ser integradas ao um único instrumento.

Os satélites geoestacionários estão em órbita a uma altitude de aproximadamente 35.800 km, sobre o equador. Nesta altitude, a velocidade do satélite é praticamente igual à da Terra, o que significa que cada órbita é concluída em 24 horas.

Como sua velocidade é quase igual à do planeta, estes satélites estão parados em relação a ele. Assim, cada satélite cobre uma mesma área, o que permite o monitoramento freqüente de um mesmo ponto do planeta. Com as imagens, pode-se

fazer animações, que tornam possível verificar o deslocamento de nuvens e fenômenos meteorológicos.

## **2.4 Configuração do sistema mundial**

Os Estados Unidos sempre estiveram à frente do sistema de satélites meteorológicos, pois foram eles que primeiro lançaram um satélite. Atualmente, os Estados Unidos mantêm dois satélites de órbita polar, da série NOAA. Eles possuem diferentes sensores, com objetivos específicos.

Com relação à órbita geoestacionária, são mantidos pelos Estados Unidos dois satélites GOES, que fazem a cobertura dos dois hemisférios, principalmente da América do Sul e do Norte e dos oceanos Pacífico e Atlântico.

Apesar de os Estados Unidos terem sempre se mantido à frente do sistema de satélites meteorológicos, eles não são os únicos a possuir satélites em órbita. O Japão, a Rússia, a China, a Índia e Agência Espacial Européia mantêm em órbita satélites geoestacionários e polares.

A OMM deseja que a Terra seja coberta por pelo menos cinco satélites geoestacionários, separados por cerca de 70° de longitude, com o objetivo de garantir uma observação global e freqüente. As tabelas 2.1 e 2.2 mostram os satélites coordenados pela OMM atualmente.

Além disso, estão sendo programados novos lançamentos de satélites melhores. As tabelas 2.3 e 2.4 indicam datas previstas para o lançamento de novos satélites.

**Tabela 2.1 – Satélites meteorológicos geoestacionários coordenados  
Pela OMM**

<b>Setor</b>	<b>Satélites atualmente em órbita</b>	<b>Operador</b>	<b>Localização</b>	<b>Data de lançamento</b>	<b>Situação operacional</b>
Pacífico Este (180°W-108°W)	GOES 10	US/NOAA	135°W	04/97	Funcionando
	GOES 12	US/NOAA	-	07/01	Em testes
Atlântico Oeste (108°W-36°W)	GOES 8	US/NOAA	75°W	04/94	Funcionando
	GOES 11	US/NOAA	105°W	05/00	Reserva
	GOES 9	US/NOAA	106°W	05/95	Com defeito
Atlântico Este (36°W-36°E)	METEOSAT 6	EUMETSAT	9,5°W	11/93	Com defeito
	METEOSAT 7	EUMETSAT	0°	09/97	Funcionando
Oceano Índico (36°E-108°E)	METEOSAT 5	EUMETSAT	63°E	03/91	Projeto IODC*
	GOMS N1	Rússia	76°E	11/94	Reserva
	FY 2A	China	86,5°E	06/97	Com defeito
	FY 2B	China	105°e	06/00	Funcionando
	INSAT I-D	Índia	74°E	06/90	Uso doméstico
	INSAT II-E	Índia	83°E	07/99	Uso doméstico
Pacífico-Oeste	GMS 5	Japão	140°E	03/95	Operacional

**Tabela 2.2 – Satélites meteorológicos de órbita polar coordenados pela OMM**

<b>Tipo de órbita</b>	<b>Satélite em órbita</b>	<b>Operador</b>	<b>Hora (altitude)</b>	<b>Data de lançamento</b>	<b>Situação operacional</b>
Heliossíncrona (matutina)	NOAA-15	US/NOAA	07:30	05/98	Funcionando
	NOAA-12	US/NOAA	06:40	05/91	Com restrições
	NOAA-10	US/NOAA	10:00	12/86	Com restrições
	RESURS-01-4	Rússia	09:35	08/94	Funcionando
Heliossíncrona (vespertina)	NOAA-16	US/NOAA	14:00	09/00	Operacional
	NOAA-14	US/NOAA	14:00	12/94	Operacional
	NOAA-11	US/NOAA	14:00	09/88	Operacional
Outras órbitas	METEOR 2-21	Rússia	(950 km)	08/93	Operacional

**Tabela 2.3 – Futuros lançamentos de satélites meteorológicos geoestacionários**

<b>Satélites</b>	<b>Operador</b>	<b>Data Planejada</b>
GOES-O	US/NOAA	2005
GOES-P		2007
GOES-Q		2010
MSG-3	EUMETSAT	2007
FY-2D	China	2006
FY-2E	China	2009

**Tabela 2.4 – Futuros lançamentos de satélites meteorológicos de órbita polar**

Satélites	Operador	Data Planejada
METEOP-1	EUMETSAT	2005
METEOP-2	EUMETSAT	2010
METEOP-3	EUMETSAT	2014
RESURS 01-N4	Rússia	S/P
FY-3B	China	2006
NOAA-N'	US/NOAA	2008

## 2.5 Sensores e instrumentos de satélites

Os satélites polares e geoestacionários possuem um número de diferentes sensores, com propósitos específicos.

### 2.5.1 Sensores de satélites de órbita polar

O primeiro sensor usado para fins meteorológicos a bordo de um satélite polar NOAA, foi o AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer* – Radiômetro Avançado de Altíssima Resolução). Ele fornece dados nos campos de visada instantânea, que são de 1,4 miliradianos e possui uma resolução, no ponto sub-satélite, de 1,1 km, para uma altitude de 844 quilômetros, e em várias bandas espectrais, a partir de um radiômetro multi-espectral acoplado a um sistema de varredura transversal à

trajetória orbital. O AVHRR pode ser usado para fazer mapeamento noturno da cobertura de nuvens, índice de vegetação e a temperatura da superfície.

Os cinco canais do radiômetro, com resolução 1,1 km, são sensíveis ao VIS, IR próximo e ao IR termal. Para coletar dados básicos 24 horas por dia, é necessário usar as duas bandas espectrais. A tabela 2.5 mostra os cinco canais e seus respectivos comprimentos de onda.

**Tabela 2.5 – Canais do radiômetro AVHRR**

Canais do radiômetro AVHRR		
Canal	Banda espectral	Tipos dos dados obtidos
1 (Visível)	0,58/0,68 $\mu$ m	Cobertura de nuvens, neve, estudos de gelo, mapeamento, poluição.
2 (IR próximo)	0,73/1.10 $\mu$ m	Cobertura de nuvens, superfícies de água, vegetação.
3 (IR termal)	3.55/3.93 $\mu$ m	Temperatura de corpo negro, cobertura de nuvem à noite, temperatura do mar, incêndio e vulcões.
4 (IR termal)	10.50/11.50 $\mu$ m	Cobertura de nuvens (dia e noite) e padrões de temperatura da Terra e mar.
5 (IR termal)	11.50/12.5 $\mu$ m	Vapor d'água na atmosfera, cobertura de nuvens e temperaturas.



### 2.5.2 Sensores de satélites de órbita geoestacionária

O principal sensor nos primeiros satélites GOES foi o VISSR (*Visible Infrared Spin Scan Radiometer*). O VISSR, adicionado primeiramente no GOES 4, era um sensor de imagem multiespectral, o que significa que ele podia coletar e transmitir dados VIS em três bandas do IR. Este sensor escaneava a Terra em linhas horizontais, de norte para sul, e girava com 100 rpm para se estabilizar. Em cada giro o sensor era deslocado e uma nova linha da Terra era observada.

O sensor VIS no VISSR era formado por oito detectores colocados na vertical. A imagem visível do GOES 7 possuía uma resolução de 1 km e a imagem infravermelha tinha uma resolução aproximada de 7 km, menor que a resolução da imagem visível.

### 2.6 Resolução

O termo resolução, aplicado ao sistema de satélites meteorológicos, é usado para definir uma medida da habilidade que um sensor possui de distinguir entre respostas que são semelhantes espectralmente ou próximos espacialmente. Pode ser classificada em resolução espacial e resolução espectral.

A resolução espacial mede a menor separação angular ou linear entre dois objetos. Por exemplo, se um sistema possui uma resolução de 20 metros, significa que objetos distanciados entre si menos de 20 metros não serão discriminados pelo sistema.

A partir disso, tem-se a conclusão de que quanto menor a resolução espacial e um sistema, maior ou menor poder de resolução, ou seja, maior o seu poder de distinguir entre objetos muito próximos.

A resolução espectral é uma medida da largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno (resolução radiométrica). Por exemplo, um sensor operando na faixa de 0,4 $\mu$ m e 0,5 $\mu$ m possui resolução espectral maior que um sensor operando na faixa de

0,4 $\mu$ m a 0,6 $\mu$ m. Este sensor é capaz de registrar pequenas variações no comportamento espectral em regiões mais estreitas do espectro eletromagnético.

A resolução radiométrica está diretamente ligada à sensibilidade dos detectores do sistema sensor. Reduzindo-se a faixa espectral, reduz-se a intensidade da resposta que chega ao detector.

## 2.7 Tratamento digital básico

A área de tratamento digital de imagens encontra-se em franco desenvolvimento de modo que a cada dia aparecem novas metodologias destinadas a auxiliar o tratamento e interpretação de dados de sensoriamento remoto. Algumas dessas técnicas foram consagradas pelo uso e implementadas em caráter operacional. Abaixo seguem algumas técnicas de tratamento digital básico.

**Animação:** Esta técnica é bastante utilizada no monitoramento de sistemas meteorológicos e consiste em visualizar, no monitor de vídeo, uma seqüência temporal das imagens quadro a quadro, pelo processo de animação convencional. O intervalo de tempo é ditado pela resolução espacial e escala dos fenômenos a serem analisados. Imagens de satélite normalmente exibem nuvens que se movem em relação à Terra.

**Zoom (ampliação):** A técnica de ampliação de setores da imagem é o recurso utilizado quando se busca um maior detalhamento do fenômeno meteorológico de interesse. Isto é particularmente importante quando a imagem completa não pode ser visualizada com resolução espacial plena, em vista das limitações da resolução do monitor de vídeo. Neste caso, setoriza-se a imagem, escolhendo-se áreas menores de modo a maximizar a resolução espacial.

**Técnicas de realce:** Esta é uma técnica utilizada para aumentar o contraste e a nitidez de uma imagem com a finalidade de facilitar a interpretação. Cada elemento na imagem digital possui um número (*count*) ao qual pode ser atribuído uma tonalidade de cinza ou uma cor, correspondente às radiâncias medidas. Realce é um ajuste no nível de cinza

(ou cor) que produz uma imagem digital com os níveis de cinza (ou cores) alterados conforme alguma regra pré-estabelecida. Técnicas de realce podem ser utilizadas para a identificação de atividade convectiva severa.

Os dados de sensoriamento remoto possuem características geométricas e radiométricas que visam identificar alvos na superfície terrestre. A geometria de seus produtos fornece material para análises qualitativas e geração de mapas temáticos. Já a radiometria, com a devida calibração e correção dos efeitos atmosféricos, possibilitam a caracterização quantitativa dos objetos na superfície. Desta forma, torna-se possível identificar as propriedades físicas desses objetos, tais como temperatura e materiais presentes na sua composição.

Em estudos que exijam análises temporais espera-se verificar variações no alvo ao longo do tempo e não no sensor ou na atmosfera. No entanto, a atmosfera é extremamente dinâmica e exerce grande influência nos dados de sensores remotos e estes, por sua vez, vão se degradando com o passar do tempo, portanto, existe a necessidade de eliminar estes efeitos, para que os dados se tornem úteis para o fim proposto. A identificação das características inerentes ao sensor, a avaliação da sua estabilidade e do nível de degradação é o que se pode chamar de “calibração”.

## **2.8 Tipos de calibração**

Algumas calibrações devem ser realizadas em laboratório e, outras, nas condições reais de operação do sensor. Elas podem ser:

- Eletrônicas
- Geométricas
- Radiométricas

A calibração eletrônica avalia: a estabilidade da fonte de força, ruídos inerentes do sistema, relação sinal/ruído nos detectores, etc.

A geométrica verifica: a resolução espacial, a geometria interna e externa das imagens, possíveis compressões nas bordas das imagens, etc.

As calibrações radiométricas podem ser relativas ou absolutas. A primeira consiste basicamente em determinar a diferença de resposta entre detectores (de uma única matriz ou mesmo de bandas diferentes), quando estão expostos a um mesmo nível de radiação. A calibração relativa também é a percepção da mudança que ocorre ao longo do tempo com a média das respostas dos detectores de cada banda. Já a calibração absoluta é a relação entre o nível de radiância que chega ao sensor e o número digital gerado por este.

### **2.8.1 Calibração em laboratório**

Tem por finalidade testar o funcionamento do sistema antes de ele ser integrado a sua plataforma. A calibração em laboratório consiste em uma seqüência de procedimentos que vão gerar os arquivos dos coeficientes de calibração e avaliar a estabilidade eletrônica, radiométrica, espacial e espectral do sensor. Normalmente estes procedimentos verificam:

- Ruído característico do sensor;
- Corrente de fundo;
- Funções de respostas espectrais dos canais;
- Largura efetiva de banda e comprimento de onda central;
- Separação espectral das bandas;
- Coeficientes de calibração relativa;
- Coeficientes de calibração absoluta;
- NER (*Noise Equivalent Radiance*) e NETD (*Noise Equivalent Temperature Difference*);
- IFOV;
- Resolução espectral;
- Registro entre bandas.

Seus dados são utilizados para uma correção sistemática das imagens geradas pelo sensor.

- Calibração geométrica e espectral (Monocromador): alinhamento dos espelhos e plano focal; interferência dos filtros.
- Calibração relativa (esfera integradora): diferença de ganho e *offset* entre detectores de uma mesma banda; “range dinâmico” de cada banda ( $L_{MIN}$  e  $L_{MAX}$ ); linearidade do ganho.
- Calibração absoluta (termal): dois corpos negros calibrados, um com temperatura abaixo da ambiente e outro acima; relação temperatura/radiância.
- Calibração absoluta (esfera integradora): relação nível digital/radiância.

No solo, a calibração radiométrica pode ser realizada com mais facilidade do que em vôo, usando como base uma fonte e um alvo estáveis e com valores de exitância e reflectância conhecidos (Thome et al., 1997; Dinguirard e Slater, 1999).

Apesar de ser uma importante verificação dos sistemas sensores e também um método de obter dados para posteriormente comparar o desempenho do sistema, segundo Slater (1988), a calibração no solo apresenta a restrição de as condições operacionais em vôo serem invariavelmente diferentes das simuladas em laboratório.

### **2.8.2 Calibração em vôo (a bordo)**

Com o passar do tempo, o sensor vai se degradando e os valores de ganho e *offset* pré-ajustados precisam ser redefinidos.

A calibração absoluta a bordo, embora possa ser feita, é limitada pela precisão da realizada no solo, antes do lançamento. A calibração a bordo é mais útil para propósitos de calibração relativa (Thome et al., 1997). É realizada através de uma fonte estável de radiação a bordo do satélite, a qual fornece uma relação, muitas vezes linear, entre a radiância espectral e os níveis digitais de um determinado detector. Isto

já é o suficiente para comparar dados entre bandas de um sensor e até mesmo de sensores diferentes.

Os calibradores a bordo podem ser lâmpadas, corpos negros ou painéis solares. O ideal é que a radiação percorra toda a óptica do sensor, como nos sensores SeaWiFS, MODIS e MISR, que utilizam painéis solares posicionados na frente do sistema óptico do sensor, durante a sequência de calibração.

O SPOT4 HRV utiliza uma fibra óptica que leva a radiação do Sol ou gerada pela lâmpada de calibração até o plano focal da matriz de CCD. A calibração percorre toda o sistema óptico, porém não cobre toda a abertura do sensor. As lâmpadas não são calibradas absolutamente, mas são extremamente estáveis. O Vegetation (SPOT4) também possui lâmpadas de calibração.

O Landsat TM (4-7) usa lâmpadas que iluminam os detectores no fim de cada varredura (750px). Em adição a este sistema o ETM+ possui um calibrador de abertura parcial (PAC) (200px) e um calibrador de abertura total (FAC) (1/6 de cada linha – 1000px).

A calibração geométrica é realizada durante o período de avaliação pós-lançamento, periodicamente e quando julgado necessário. O SPOT5 e o NOAA-AVHRR não possuem calibradores a bordo. A câmera CCD do CBERS-1, quando em modo de calibração, posiciona seu espelho para refletir a radiação da lâmpada para o seu sistema óptico. Existem muitas incertezas sobre a calibração e estabilidade radiométrica desta lâmpada.

### **2.8.3 Calibração em voo (*in situ*)**

Para a calibração relativa utiliza-se regiões homogêneas sobre a superfície da Terra, como desertos e salares, para a verificação da estabilidade temporal ou para a inter-calibração dos detectores de cada banda e, de nuvens e “*hotspots*”, para a calibração relativa entre bandas.

#### 2.8.4 Calibração Absoluta

A idéia básica da calibração absoluta consiste em calcular a radiância do alvo no topo da atmosfera e compará-la com o valor digital escalonado pelo sensor.

Vários tipos de áreas podem ser utilizados, tais como: lagos de sal, descampados, lagos secos, grandes estacionamento, pátios de aeroportos, praias, grandes construções, terraços, gramados, etc; com graus de sucesso variável, de acordo com as características do sensor a ser calibrado e do sensor portátil utilizado. Antes da passagem do satélite é importante caracterizar o local de calibração com um radiômetro de campo. Este local pode mudar suas características radiométricas em um período muito curto (por exemplo: chuva ou crescimento de vegetação). Também é importante caracterizar as condições atmosféricas na hora da passagem (nuvens, névoa seca, aerossóis, pressão atmosférica, umidade relativa, etc.). Estas condições variam muito rapidamente com o tempo. Vento, posição do Sol e as sombras que incidem sobre o radiômetro também variam enquanto o operador se movimenta. A bateria do radiômetro perde carga e causa variação considerável de ganho e *offset* nos dados coletados. Mesmo que o radiômetro permaneça em perfeita calibração, a atmosfera não permanece constante. Portanto, é necessária uma contínua medição das condições atmosféricas do local e intercalar as medições do alvo com as de uma placa de referência.

No final dos anos 1980, o Grupo de Sensoriamento Remoto (*Remote Sensing Group – RSG*) da Universidade do Arizona desenvolveu três técnicas de calibração *in situ* para sensores de elevada resolução espacial (largura do *pixel* igual ou inferior a 100m) (Biggar et al., 1994; Thome, 2001):

### 2.8.5 Diretrizes para calibração

- Manter sempre a mesma geometria de iluminação e visada e a mesma fonte, para reduzir as diferenças entre bancada de testes e as condições de operação e uma possível não linearidade do detector. Para tal, a calibração precisa abranger todo o campo de visada (FOV) e todo o “range dinâmico” das bandas.
- Várias técnicas diferentes e independentes devem ser utilizadas para minimizar os erros sistemáticos existentes em uma ou outra técnica e, na medida do possível, removê-los ou, pelo menos, identificá-los.
- A caracterização do sensor precisa ser a mais detalhada possível. Medições da MTF, linearidade, polarização, etc. Ela é melhor quando feita em laboratório. Seus resultados podem gerar algoritmos de correção de problemas em bordas, etc.
- Os usuários devem ser constantemente informados sobre os limites de aplicação dos coeficientes associados aos dados fornecidos pelo sensor. Pixels de cenas complexas e bordas de elevado contraste podem conter erros, que não são observados nos processos de calibração.
- Os usuários também precisam ter acesso aos índices de incertezas dos coeficientes de cada banda.



## 2.9 Identificação de tipos de nuvens nas imagens

À primeira vista, quando se vê uma imagem de satélite, as nuvens parecem redondas na forma e distribuição. Mas, na verdade, elas são resultado de muitas interações específicas entre muitos e diferentes fatores meteorológicos, que, por sua vez, formam os diferentes tipos de nebulosidade. Essas nuvens podem ser classificadas em categorias individuais, levando em conta sua aparência em relação à superfície, pois, em imagens de satélites, cada nuvem exibe um padrão único.

No momento em que se define o padrão, é possível identificar o tipo de nuvem. Isso se tornou uma ferramenta muito útil em meteorologia, tendo em vista que reconhecer os diversos tipos de nuvens pode dar pistas sobre o estado da atmosfera e os fenômenos que possam estar ocorrendo. A identificação de nuvens pode ajudar também na localização de condições severas de tempo, como trovoadas, tornados, áreas de forte precipitação, gelo, neve depositada, entre outras.

### 2.9.1 Padrão de nuvens em larga escala

Nas imagens de satélites, os fenômenos meteorológicos em larga escala formam sistemas de nuvens com padrões reconhecidos facilmente, os quais oferecem uma boa idéia do que está ocorrendo na atmosfera e ajudam a reconhecer os padrões de nuvens e como se formam. Abaixo estão alguns dos padrões de nuvens mais comuns, que estarão ilustrados no catálogo de nuvens.

**Escudo de nuvem:** é um padrão largo de nuvem, no qual o comprimento é menor do que quatro vezes a largura.

**Banda de nuvem:** é uma formação mais ou menos contínua, com um eixo distintamente longo, com a relação de 4:1, entre o comprimento e a largura. A largura deve ser maior que 1° de latitude.

**Linha de nuvem:** é uma estreita faixa de nuvens convectivas quase ligadas entre si, cuja largura é menor que 1° de latitude. Se o tamanho de cada elemento for maior que a resolução do sensor, alguns buracos entre eles podem ser detectados, caso contrário, a linha aparecerá contínua.

**Rua de nuvem:** é uma estreita faixa de nuvens na qual as células individuais não estão ligadas. Várias ruas, na maioria das vezes paralelas e longas, aparecem associadas ao fluxo de ventos em baixos níveis.

**Nuvens em forma de dedos:** são uma extensão da parte avançada de uma frente fria. No Hemisfério Sul, essas nuvens usualmente se estendem na direção norte/nordeste, e estão associadas à banda frontal e aos ventos fortes nos altos níveis, que cruzam a banda frontal.

**Elemento de nuvem:** é a menor forma de nuvem que pode ser observada por uma imagem de satélite, cujo tamanho está ligado à resolução do sensor do satélite.

**Nuvem em forma de vírgula invertida:** é um vórtice que contém uma ou mais bandas de nuvens espirais que convergem em direção a um centro comum.

### 2.9.2 Características que auxiliam na identificação da nuvem

As características de uma imagem de satélite meteorológico que ajudam na identificação de nuvens são: brilho, textura, padrão organizacional, definição da borda, tamanho e forma individual.

O brilho de uma nuvem na imagem é a principal característica usada quando se quer identificar uma nuvem. É usado freqüentemente para determinar a espessura e a altura da nuvem. Valores de alto brilho estão associados com nuvens espessas, que tendem a refletir muita luz solar (albedo). Sendo assim, as nuvens densas aparecem brancas ou em um tom de cinza claro nas imagens VIS. Já as nuvens finas, no mesmo tipo de imagem, aparecerão cinzas, ou transparentes. Na imagem IR, valores de alto brilho estão associados com os topos frios das nuvens. Portanto, os topos de nuvens altas e com temperaturas mais frias, aparecerão brancos ou cinza claro. As nuvens

baixas, com topo quente, aparecerão cinza escura, podendo ser confundidas com as superfícies continentais e marítimas.

A segunda característica a ajudar na identificação de nuvens é a textura, que pode ser vista somente em uma imagem VIS, pois é uma função da quantidade de sombras que aparecem em diversas partes da nuvem. As nuvens que apresentam mais sombras são as que possuem forma rugosa e crescimento vertical, o que está associado com nuvens de textura encaroçada. Já as nuvens com superfície lisa e plana não possuem muitas sombras em seus topos, a menos que estejam em camadas distintas, e são descritas em função de uma textura suave. Além disso, as nuvens com textura suave podem apresentar sombras em nuvens nos baixos níveis e/ou na superfície, mas somente nas extremidades. Por causa dos ventos superiores, algumas nuvens altas podem ser estriadas ou em forma de listras e, geralmente, têm uma textura fibrosa em uma imagem de satélite e estão dispostas perpendicularmente em relação ao sentido do fluxo de vento.

Os padrões organizacionais, tais como circular e celular, também ajudam na identificação de nuvens. Eles, na maioria das vezes, podem ser identificados por suas bordas, que podem ser esfarrapadas ou bem definidas. Por fim, os tamanhos e as formas dos elementos individuais da nuvem podem também ser úteis na determinação dos tipos de nuvens.

Porém, mesmo com todos estes elementos disponíveis em uma só imagem, o método mais efetivo para identificar o tipo de nuvem, individualmente, é ter as mesmas imagens VIS e IR, do mesmo local e horário. A imagem VIS identifica a forma, textura, padrão de organização e espessura da nuvem. A partir daí, faz-se a combinação com a imagem IR que, em ordem, determina a altura das nuvens. Este processo de juntar as informações torna mais fácil a identificação das nuvens e dos sistemas meteorológicos associados a elas. Visando melhor compreensão deste assunto, segue abaixo os tipos de nuvens e seus padrões associados às imagens de satélite.

### **2.9.3 Nuvens estratiformes**

Os stratus (St) formam-se em uma atmosfera estável e são caracterizados por serem muito lisos ou em aparência de camadas. São formados nos baixos níveis e, freqüentemente, cobrem todo o céu e criam uma aparência escura, restringindo a visibilidade vertical e horizontal. Estas nuvens podem estar acompanhadas de chuva leve e contínua, chuvisco ou pequenos grãos de neve.

Nas imagens de satélites, as principais características de uma nuvem estratiforme são a aparência plana e lisa e a carência de um padrão organizado. A topografia demarca e define as bordas. Por se desenvolverem em baixa altura, suas temperaturas tendem a ser elevadas; portanto, devem aparecer escuras ou na tonalidade média de cinza na imagem IR. Quando próximas à superfície, torna-se difícil identificar uma nuvem stratus, por não haver muito contraste de temperatura. Se uma imagem VIS for utilizada, elas poderão possuir, quando espessas, um brilho acentuado, ocasionado pela grande concentração de gotículas de água, que refletem bastante. Apesar de as sombras, geralmente, não aparecerem em seus topos, elas podem ser vistas na superfície ou próximas das bordas das nuvens stratus.

### **2.9.4 Identificação de nevoeiro**

O nevoeiro é uma nuvem stratus que foi formada no mesmo nível da superfície. É importante fazer a localização do nevoeiro, para alertar pilotos e navegadores sobre a má visibilidade causada por este fenômeno. Identificá-lo numa imagem de satélite pode melhorar o sistema de alerta, mas não é muito preciso. Na imagem VIS o nevoeiro se confunde com uma camada de nuvem stratus, pois tem textura lisa e plana. Na imagem IR, o nevoeiro aparece com uma tonalidade escura de cinza. Se a temperatura da superfície terrestre é quase a mesma que a do topo da camada de nevoeiro, a identificação deste se torna quase impossível, devido ao pouco contraste terra/nuvem.

Principalmente à noite, quando não há imagens VIS para auxiliar na interpretação, fica praticamente impossível identificar corretamente a área coberta por nevoeiro.

Para a identificação de nevoeiros, geralmente, usa-se imagens VIS e IR em combinação. Quando seqüências de imagens são usadas, a precisão da identificação de nevoeiro é ainda maior, pois verifica-se que não houve deslocamento da camada, podendo, então, dizer-se que há um nevoeiro no local imageado. Ainda, o nevoeiro evapora, portanto ele normalmente dissipa-se de fora para dentro, havendo diminuição da área de nebulosidade, dando a certeza de que há um nevoeiro no local. Outra maneira de identificar um nevoeiro é observar pequenas camadas de contorno em lugares como montanhas, serras ou rios, que limitam a área de cobertura do nevoeiro. Isso produz uma imagem em que os vales apresentam linhas brancas que acompanham os cortes naturais provocados nas montanhas e nas serras.

Se com todas estas informações o observador da imagem encontrar dificuldade em diferenciar stratus e nevoeiro, basta confirmar as informações coletadas na imagem através das observações de superfície, como os códigos METAR e o SYNOP, que fornecem os dados necessários pra que se tire as dúvidas.

### **2.9.5 Nuvens cumuliformes**

Estas nuvens formam-se em uma atmosfera instável, na qual o ar aquecido sobe, é resfriado e desce, dando às nuvens um desenvolvimento vertical acentuado. As nuvens cumulus (Cu) formam-se por convecção, quando a parcela de ar sobe. Elas tendem a ser de forma irregular e se parecem com flocos de algodão. Entre estas nuvens o ar é descendente, causado pela subsidência, e normalmente estão associadas a tempo bom. De acordo com a resolução do satélite, as nuvens cumulus de pouco desenvolvimento vertical, aparecerão de forma irregular e de vários tamanhos. Serão bem encaroçadas em uma imagem VIS e apresentarão sombras nas formas irregulares de seus topos. Na imagem IR os cumulus apresentam tons de cinza do escuro para o médio, de acordo com a altura de seu topo.

### **2.9.6 Nuvens stratocumulus**

Algumas vezes, as nuvens cumulus começam a desenvolver-se em uma área, mas uma camada de inversão impede seu desenvolvimento vertical, fazendo com que elas formem uma camada, igual às nuvens estratiformes. A estas nuvens, que possuem características tanto de nuvens estratiformes quanto de cumuliformes, dá-se o nome de stratocumulus (Sc). Nas imagens de satélites, elas aparecem em padrões de escudo, linhas ou ruas, principalmente no inverno, sobre superfícies oceânicas. Nas imagens IR aparecerão em tons médios de cinza, enquanto na imagem VIS elas podem ser bem brilhantes, devido a grande concentração de gotículas de água, e com aparência encaroçada.

### **2.9.7 Grandes cumulus (TCU) e cumulonimbus (Cb)**

Quando a formação de nuvens cumuliformes ocorre em atmosfera instável, o ar em ascensão causa à nuvem um grande crescimento, transformando-as em grandes cumulus (TCU). Em alguns casos, os TCU alcançam grandes altitudes e os ventos dos altos níveis formam um esgarçamento em seu topo, chamado de bigorna, chegando ao que se denomina limite termal de instabilidade, no qual o topo não cresce mais, o que ocorre, normalmente, na tropopausa. A este tipo de nuvem dá-se o nome cumulonimbus (Cb), que pode causar ventos fortes (rajadas), granizo, forte precipitação e, algumas vezes, tornados.

### 2.9.8 Nuvens Médias

Normalmente, as nuvens médias recebem o prefixo “alto”. Podem ter aparência celular ou cumuliforme (neste caso são chamadas de altocumulus) ou podem ter forma lisa e estratiforme (neste caso são chamadas altostratus). As nuvens altocumulus (Ac) podem exibir padrões de onda parecidos com o stratocumulus, porém estão mais altas e seus topos mais frios. Pode ser difícil identificá-las em uma imagem de satélite, pois normalmente elas estão associadas a uma banda frontal, junto com as nuvens mais altas, que tendem a bloquear sua observação pelo sensor do satélite. Na imagem VIS, dependendo de sua espessura e composição, elas podem ser brilhantes e lisas, e podem ser identificadas através de sombras projetadas nas nuvens em estágios mais baixos, principalmente quando o Sol está em um ângulo mais baixo.

As nuvens do tipo altostratus são responsáveis pela maior parte da precipitação contínua e está, geralmente, associada com sistemas convectivos organizados, como linhas de instabilidade, complexos convectivos de mesoescala (CCM) e aglomerados de cumulunimbus. Normalmente, as nuvens altocumulus e altostratus aparecem combinadas; porém, se observadas separadamente, a altostratus é mais clara na imagem IR e mais branca na imagem VIS do que a altocumulus. É necessário frisar que as nuvens formadas por gotículas de água refletem mais do que as formadas por cristais de gelo. Na maioria das vezes, em imagens IR, elas são vistas na cor média do cinza, variando conforme sua espessura e composição.

### 2.9.9 Nuvens altas

As nuvens cirriformes, compostas por cristais de gelo, formam-se em altas altitudes onde as temperaturas são muito frias. As nuvens cirrus (Ci) formam-se, usualmente, na troposfera superior, próximo da tropopausa. Entretanto, mesmo o cirrus que se forma devido ao movimento ascendente, induzido dinamicamente, se associado

ao cumulunimbus pode ultrapassar a tropopausa. Por causa da ação dos ventos em altitude, ela possui aparência fibrosa e delgada, denominada popularmente de “rabo de galo”, devido a pouca concentração de vapor d’água existente nos altos níveis, onde elas se formam. Estão normalmente associados a sistemas de latitudes médias e se formam em regiões onde o escoamento é anticiclônico. Nas imagens VIS, geralmente, elas possuem aparência fibrosa e a superfície fica, não raro, visível atrás delas, devido à presença dos cristais de gelo que refletem pouco. Nas imagens IR, as cirrus aparecem mais extensas que nas imagens VIS, como resultado do efeito “manchado” que é causado pela baixa resolução dos sensores dos canais IR. Normalmente, as bandas de cirrus aparecem paralelas aos ventos em altitude e sua cor depende da iluminação solar.

As nuvens altas com aparência estratiforme são conhecidas como nuvens cirrustratus (Cs). Normalmente, são lisas e com topos uniformes e formam longas bandas ou lençóis. Na imagem IR, elas são brilhantes e na imagem VIS tendem para um tom de cinza claro. Essa nebulosidade está sempre associada à bigorna do cumulunimbus, às frentes frias, às linhas de instabilidade e a grandes aglomerados de Cb.

Já as nuvens altas com padrão celular são chamadas de cirrucumulus (Cc). Por possuírem estruturas celulares pequenas e difíceis de serem observadas por uma imagem de satélite, são confundidas com nuvens cirrustratus.

#### **2.9.10 Detecção de nuvens menores**

Nas imagens VIS e IR é difícil detectar nuvens pequenas e finas, devido à resolução espacial dos sensores. Em uma imagem com 1 km de resolução, cada pixel representa o brilho médio de uma área de 1 km x 1 km. Nessa área, a colocação de cinza retrata a refletividade média e é mais escura que a área de nuvens e mais claro que a superfície. Por este motivo, as nuvens pequenas e finas são, em sua maioria, difíceis de distinguir da superfície terrestre em imagens VIS.



Na imagem IR, como a resolução dos sensores é menor que a dos satélites VIS, fica muito mais difícil detectar estas nuvens. Nos novos satélites GOES, a resolução média dos sensores IR é de 4 km, na maioria dos canais, ou seja, os valores médios de brilho em uma área de 4 km x 4 km estarão representados no pixel. Isso provoca manchas, originadas pelas características das nuvens menores e mais finas, na imagem IR, fazendo-as parecer mais intensas do que realmente são.

Ao final deste capítulo, as tabelas 2.5 e 2.6 contêm o resumo dos principais aspectos das nuvens nas imagens VIS e IR.

## **2.10 Produtos derivados**

Além de fornecer imagens da atmosfera para a análise em terra, os satélites meteorológicos possuem outras aplicações, que serão detalhadas adiante.

### **2.10.1 Estimativa de ventos**

Para captação de ventos atmosféricos os sensores instalados no satélite geoestacionário com resolução horizontal, só podem estimar o vento com a existência de nuvens, através de sua movimentação.

Na resolução vertical (dois níveis apenas: baixo e alto) é obtido um melhor resultado com emprego de imagens coletadas no canal de vapor d'água, pela facilidade que se tem de identificar digitalmente ou visualmente o vapor d'água, por sempre estar presente na atmosfera. Por isso a obtenção de ventos através de imagens do H<sub>2</sub>O é muito satisfatória na resolução horizontal.

Para um bom desempenho do programa é necessário que seja obtido em intervalos de meia em meia hora, três imagens no canal visível e infravermelho.

### **2.10.2 Estimativa de precipitação**

Para estimativa de precipitação o satélite utiliza imagens coletadas no visível (VIS), infravermelho (IR), e microondas (MW). No VIS caracteriza-se as nuvens mais brilhantes por conterem mais chuvas que as escuras. No IR são identificadas as nuvens que contenham os topos mais frios, por produzirem mais chuvas do que as de topos mais quentes. E nas MW o radiômetro identifica a precipitação pela temperatura de brilho sobre os oceanos, e diferenciando frequências de emissividade do solo seco, vegetação, lâminas d'água, gelo de lagos e gelo marinho novo, e isolando a precipitação através de duas frequências.

### **2.10.3 Estimativa de radiação solar**

As informações de estimativa de radiação solar são trazidas através de imagens no VIS, que captam o albedo planetário e sobre coberturas de nuvens.

Os dados transmitidos pertencem a duas grandes categorias:

- Algoritmos físicos: através de ondas curtas é possível modular a cobertura de nuvens e obter condições termodinâmicas, como de climatologia. Associando a “modelos físicos de transferência radiativa”, nos quais são, em geral, parametrizados os efeitos de adsorção e de espalhamento (pelos gases aerossóis).
- Algoritmos estatísticos: baseiam-se em estudos de correlação de dados obtidos por radiômetros de superfície e dados no VIS.

#### **2.10.4 Temperatura da superfície do mar (TSM)**

Para estimar a TSM o instrumento mais apropriado utilizado é o AVHRR (Radiômetro Avançado de muito Alta Resolução) a bordo de satélites geoestacionários com resolução espacial de 1km em todos os canais, e abordagem multiespectral (canais termais).

Os dados estimados pela NOAA da TSM e comparados com dados coletados de bóias oceânicas mostram um desvio médio entre 0,4 e 0,8°C.

#### **2.10.5 Índice de vegetação e queimadas**

Para observar o índice de vegetação e queimadas utiliza-se do AVHRR, que utiliza radiâncias medidas nos canais do VIS e IV (canal 1 e 2).

Esse método tem sido muito utilizado no continente africano e na América do Sul. No Brasil o INPE utiliza com sucesso este tipo para o monitoramento de queimadas.

Tabela 2.5 - Aspectos das nuvens em imagens VIS transmitidas por satélites meteorológicos.

Tipo de nuvem	Tamanho	Forma e organização	Sombra	Tom (brilho)	Textura
Cirrus Cirrusstratus	Comprimento típico de uma banda organizada, com largura de 30 a 100 km e comprimento de centenas de km. Extensas camadas podem cobrir grandes áreas.	Bandas largas, paralelas aos ventos na alta troposfera. Normalmente tem a borda esquerda (sentido do deslocamento) bem definida. A borda direita algumas vezes é definida, mas na maioria dos casos não é perceptível sobre camadas de nuvens médias.	Normalmente presente como linha escura ao longo da borda. Mais perceptível quando as sombras estão espalhadas numa superfície lisa com alta refletividade.	Tipicamente cinza claro, mas dependendo do ângulo de iluminação solar. As nuvens baixas e as características geográficas são parcialmente obscurecidas pelas nuvens cirriformes.	Os cirrusstratus normalmente têm uma textura uniforme, ao passo que o cirrus tende a ser mais fibroso.
Cirrus do topo de Cb.	Extenso, cobrindo áreas em torno de 500km <sup>2</sup> ou mais, em comprimento e largura.	Aparência caótica. O alinhamento das estrias das nuvens é paralelo aos ventos na alta troposfera. Bordas difusas ou com pouca definição.	Somente detectável quando as camadas de nuvens são suficientemente espessas e as sombras projetam-se sobre uma camada de nuvens baixas, ou sobre o reflexo do Sol na superfície da água.	Cinza claro ou branco, dependendo da espessura da nuvem ou do ângulo de iluminação solar.	Fibrosa com numerosos traços ou com uma textura mais uniforme, quando camadas de cirrus densas estão concentradas dentro de uma pequena área.
Altostratus Altoocumulus	Extensas camadas ou bandas, cobrindo áreas com dezenas de km <sup>2</sup> . As bandas podem ter de 200 a 400 km de largura.	Organizadas em vórtice, bandas, linhas ou grandes áreas, com forma de crescente, associadas a ciclones e frentes. São caracterizadas pela forma persistente num período de 12 a 24h ou mais. Estas nuvens estão associadas aos movimentos em escala sinótica, e normalmente, apresentam contornos bem definidos.	Frequentemente presente ao longo das bordas. As sombras estarão realçadas se aparecerem numa camada de nuvens baixas.	Muito branco. É uma das formas de nuvens mais brilhantes (a outra é o Cb) devido a grande espessura das nuvens. As camadas mais brancas estão normalmente associadas a ocorrência de precipitação.	As nuvens estratiformes que apresentam a superfície do topo uniforme, tem textura uniforme. Se as nuvens convectivas ou baixas estão presentes, a textura não é uniforme. As variações de textura aparecerão como resultado das sombras, fendas ou variações da espessura.

Fonte: Barret, 1974

Tabela 2.5 - Aspectos das nuvens em imagens VIS transmitidas por satélites meteorológicos.

<b>Tipo de nuvem</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Forma e organização</b>	<b>Sombra</b>	<b>Tom (brilho)</b>	<b>Textura</b>
Nuvens associadas às ondas de montanha: Ac e Sc.	Bandas estreitas e paralelas, apresentando comprimento de 10 a 100 km.	Normalmente são bandas paralelas e uniformemente espaçadas e são paralelas a direção do vento.	Geralmente não é perceptível.	Cinza ou branco, dependendo do ângulo de iluminação solar e da espessura vertical.	Bandas paralelas e contínuas ou interrompidas que podem ser "vermiformes".
Cumululus e TCU	As células individuais de Cu normalmente são muito pequenas para ser distinguidas. O que normalmente se vê são grupos de nuvens tendo uma organização regular ou configurações que geralmente não são detectáveis em observações de superfície. A dimensão de um grupo de nuvens é de 5 a 15 km.	Com ventos fracos, os grupos de nuvens apresentam uma configuração celular uniforme ou podem estar organizadas em uma ou mais ruas paralelas. São retas ou suavemente curvas e, em geral, paralelas aos ventos. Ocasionalmente podem aparecer células poligonais crescentes ou sólidas. Normalmente se apresentam com rugosidade.	Normalmente presente com TCU. As sombras são evidentes em pequenas nuvens ou grupo de nuvens.	Cinza escuro descontínuo, cinza ou branco, dependendo das dimensões e espessura de um grupo de nuvens. Os grupos de nuvens menores têm tonalidade mais escura. As células de Cu não são observadas pelos satélites, quando menores que a resolução do sensor ou quando a separação for maior do que essa resolução.	Não uniforme, com configuração alterando-se em branco, cinza e cinza escuro, normalmente tendo grande regularidade. Cavidades podem estar presentes em anéis de células.

Fonte: Barret, 1974

Tabela 2.5 - Aspectos das nuvens em imagens VIS transmitidas por satélites meteorológicos.

Tipo de Nuvem	Tamanho	Forma e organização	Sombra	Tom (brilho)	Textura
Cumulimbus	Um Cb individual e isolado tem diâmetro da ordem de dezenas de km. A combinação de um aglomerado de tais nuvens pode-se apresentar em centenas de km, devido ao espalhamento de Ci em seus topos.	Em um dos lados, as células têm bordas bem definidas, ao passo que no lado oposto apresenta Ci em forma de bigorna, espalhando-se quando houver cisalhamento. Caso contrário, aparecem isoladas, brancas e quase circulares.	As sombras, normalmente presentes, são bem definidas nos Cb.	Muito branco. Os topos, em particular, são brilhantes.	Textura uniforme com bordas bem definidas. As plumas de Ci são frequentemente bastante difusas, fora das células principais.
Stratocumulus	O tamanho aparente das células é de 3 a 15 km, embora as camadas não apresentem um tamanho característico.	Lençóis ou bandas alinhadas com os ventos na camada limite ou em extensas áreas com contornos bem definidos.	As sombras podem mostrar estrias ao longo do vento.	Pequenos grupos de nuvens são a maioria das vezes cinza, sobre o continente. Uma camada espessa sobre os oceanos aparece normalmente branca, devido ao contraste com a refletividade da água.	Camadas com cobertura de Sc apresentam normalmente cavidades com centros difusos.
Stratus	Variável.	Variável, exceto quando é afetado pelo terreno sobre o qual se encontra. Neste caso, assume a forma do vale, montanha, linha costeira, etc. Tem um contorno bem definido, mas pode ter borda rugosa.	Normalmente não é distinguível.	Branco ou cinza, dependendo da espessura vertical da nuvem e do ângulo de iluminação solar.	Uniforme.
Nevoeiro	Variável.	Variável, irregular, mas no caso do nevoeiro sobre a superfície da água, a forma adapta-se ao terreno. Tem contorno bem definido e pode ser a única característica distinguível do stratus.	Geralmente não é perceptível.	Branco ou cinza, dependendo da espessura da camada de nevoeiro e do ângulo de iluminação solar. Uma camada de stratus, se profunda, normalmente excede a 1000m e aparece branca.	Muito uniforme.

Fonte: Barret, 1974

**Tabela 2.6 – Aspectos das nuvens em imagens IR transmitidas por satélites meteorológicos.**

<b>Tipo de nuvem</b>	<b>Brilho (altitude)</b>	<b>Textura</b>
Cirrus e cirrustratus	Depende da espessura da nuvem e da presença de nuvens mais baixas. Ci fino apresenta-se como cinza claro ou mais claro ainda se estiverem presentes nuvens mais baixas. Ci e Cs são brancos. As partes mais brancas indicam a presença de nuvens médias embaixo.	Ci tem bordas e filamentos longos e aparece fibrosa nas bordas em dissipação. A textura do Cs é uniforme, mas pode depender da distribuição das nuvens médias abaixo.
Cirrus dos topos de Cb	É mais branco acima do Cb, tornando-se mais cinza a medida que se afasta dele.	É fibroso, com estrias orientadas paralelamente na direção do vento no ar superior.
Altostratus e Altocumulus	Quando sozinho, aparece mais frequentemente com cinza médio. As e Ac estão abaixo das nuvens cirriformes, fazendo com que estas apareçam mais brancas (frias) que quando estão isoladas.	A textura normalmente é uniforme, mas podem aparecer variações e fendas, de acordo com a espessura.
Nuvens associadas às ondas de montanha (Ci, Ac e Sc)	Ci é branco; Ac é cinza médio e o Sc, cinza escuro.	Bandas paralelas, contínuas ou não. Podem ser "vermiformes".
Cumulus e TCU	O desenvolvimento vertical do Cu (TCU) torna-se evidente através das variações de brilho, numa imagem IR. Se o sensor do satélite detectar os elementos individuais de Cu, os que tiverem topos mais altos, aparecerão mais claros. Os sensores de baixa resolução distinguem apenas uma camada de cinza irregular. Os Cu de bom tempo aparecem como uma área cinza, pouco mais claro que o terreno circundante, mais é difícil distingui-los das variações dos tons, causadas pelas diferenças de temperatura do terreno.	Não é uniforme. Tem configurações alternantes de cinza, branco e cinza escuro.
Cumulunimbus	Muito brancos. São as nuvens mais brancas no IR. As imagens realçadas ou de alta resolução mostram torres protuberantes, com pontos brilhantes isolados. Isto evidencia convecção profunda, com bandas intensas e/ou ventos fortes.	A textura indica as variações de altitude dos topos. As bordas são bem definidas, exceto onde os Ci se espalham para fora, normalmente a sotavento do Cb.
Stratocumulus	Uniformemente cinza ou cinza escuro, dependendo da altura e da temperatura da massa de ar.	Mostram organização em faixas, bandas ou células. Os centros das células podem aparecer difusos e mais cinzas.
Stratus e nevoeiro	Cinza escuro, pouco mais claro que a Terra ou o mar circundante. Às vezes não se pode distinguir St ou nevoeiro de áreas circundantes limpas. Porém, em áreas polares podem aparecer mais escuras (mais quentes) que a neve.	Muito uniforme.

### 3 CONCLUSÃO

Com base neste estudo, pode-se concluir que a humanidade não vive sem as imagens oriundas dos satélites meteorológicos. É de suma importância analisar e prever os variados fenômenos que ocorrem no planeta, como frentes frias, precipitação, ciclones, tornados e furacões. A tecnologia possibilita cada vez mais este estudo e o homem está cada vez mais interessado em entender como funciona a atmosfera.

Um dos principais motivos para a criação desta apostila é que este tipo de informação chegue aos leigos, que, de certa forma, acompanham a previsão do tempo pela TV, rádio ou jornal, mas não entendem o porquê daquilo. Com a leitura deste estudo, com certeza essas pessoas prestarão mais atenção à previsão do tempo que, como sabemos, não é muito detalhada.

Com o catálogo que estará disponível do *site* do CEFET, o que aqui está escrito será ilustrado e muito melhor compreendido, a partir das várias imagens nele presentes.

Como já foi citado, outra proposta era montar uma maquete de um satélite. Porém, isso não foi possível, pois existem muitos modelos de satélites e não existe um que seja o mais básico, ou que possua todos os sensores.

Para finalizar, as muitas informações contidas nesta pesquisa ajudaram também no curso de meteorologia, pois a parte de identificação de nuvens é muito importante e aprofundou os conhecimentos aprendidos em aula.



#### 4 REFERÊNCIAS

FERREIRA, Artur Gonçalves. *Interpretação de imagens de satélites meteorológicos: uma visão prática e operacional do Hemisfério Sul*. Brasília: Stilo, 2002.

NOVO, Evelyn M. L. de Moraes. *Sensoriamento remoto*. São José dos Campos: Edgard Blücher, 1988.

[www.engesat.com.br/produtos/produtos\\_eros.htm](http://www.engesat.com.br/produtos/produtos_eros.htm). Acesso em 05 de agosto de 2005.

[http://www.ipmet.unesp.br/Saiba\\_Mais/Saiba\\_Mais\\_arquivos/SM\\_Satelite.htm](http://www.ipmet.unesp.br/Saiba_Mais/Saiba_Mais_arquivos/SM_Satelite.htm). Acesso em 05 de agosto de 2005.