

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E
METEOROLOGIA – CEP SRM –
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**LOCALIZAÇÃO DE SÍTIOS ASTRONÔMICOS ATRAVÉS DE IMAGENS
DOS SATÉLITES NOAA**

JUAREZ MAZZUCA JÚNIOR

Licenciado em Física

Orientador: Prof. Jorge Ricardo Ducati

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Sensoriamento Remoto, área de concentração: Sensoriamento Remoto Básico.

Porto Alegre, RS

Julho de 1999

Mazzuca Júnior, Juarez

**LOCALIZAÇÃO DE SÍTIOS ASTRONÔMICOS
ATRAVÉS DE IMAGENS DOS SATÉLITES NOAA.**

Juarez Mazzuca Júnior – Porto Alegre: UFRGS, 1999.
ix + 48 páginas.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – Área de Sensoriamento Remoto aplicado à Astrofísica. Porto Alegre, 1999.

DEDICATÓRIA

Ao meu bisavô, (Vô) Jandyr de Oliveira Kilpp, que era físico sem saber e perseguia, como eu, a máquina perfeita.

Aos meus pais, Juarez Mazzuca e Jussára Nunes Mazzuca, que me apoiaram e agüentaram durante todo o tempo de realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador prof. Jorge Ricardo Ducati pelo incondicional apoio ao longo de toda a elaboração desta.

Ao prof. Vítor Haertel pela colaboração em momentos decisivos deste trabalho.

À profa. Denise Cybis Fontana, que em etapa conclusiva, teve a maior boa vontade em me ensinar o método de correção de imagens.

Ao colega meteorologista Flávio Wiegand, pelo desprendimento em revisar o capítulo de regime climático do Estado, nesta dissertação.

Aos colegas da turma de 1995 do CEP SRM/UFRGS pelo companheirismo e amizade.

Aos amigos do CEP SRM/UFRGS pelo apoio e amizade: Magdalena, Luciane, Mônica e Laurindo.

Ao amigo e colega Décio Mallmith, que me incentivou a realizar o curso e ajudou-me em momentos cruciais, a concluí-lo.

LOCALIZAÇÃO DE SÍTIOS ASTRONÔMICOS ATRAVÉS DE IMAGENS DOS SATÉLITES NOAA

AUTOR: JUAREZ MAZZUCA JÚNIOR
ORIENTADOR: Prof. Dr. JORGE RICARDO DUCATI

SINOPSE

Este trabalho se ocupa do problema da localização de sítios adequados para a operação de observatórios astronômicos. O constante crescimento das cidades e a urbanização de grandes áreas vizinhas é acompanhada por um aumento proporcional da iluminação artificial, o que resulta em níveis maiores de brilho do céu noturno. Isto tem consequências extremas para a astronomia óptica, a qual exige um céu escuro, e justifica buscas de novos sítios para a instalação de futuros telescópios ópticos. Um dos critérios mais importantes para sítios astronômicos, além de céu escuro, é uma alta proporção de céu claro, sem nuvens. Buscas de sítios astronômicos são estudos conduzidos ao longo de períodos de tempo de anos. É sugerido que imagens de satélites meteorológicos podem ser úteis para a seleção preliminar destes sítios. A metodologia utilizada é fundamentada em correções geométricas de imagens de dados orbitais das naves NOAA12 e NOAA14 e na soma de imagens obtidas em datas diferentes. As imagens foram coletadas pela estação de recepção instalada no Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia da UFRGS. Somando, pixel por pixel, imagens colhidas em datas diferentes, após correções geométricas, obtém-se médias temporais de cobertura de nuvens, o que é o equivalente moderno da construção de médias a partir de uma série temporal de dados meteorológicos de estações terrestres. Nós demonstramos que esta metodologia é factível para este tipo de dado, originário de órbitas de menor altitude e melhor resolução, se comparado com imagens vindas de satélites de órbitas altas, geoestacionários, com menor resolução, imagens estas de manipulação muito mais fácil, pois o ponto de observação tende a ser estável no tempo.

**ASTRONOMICAL SITES IDENTIFICATION THROUGH NOAA SATELLITE
IMAGES**

AUTHOR: JUAREZ MAZZUCA JÚNIOR
ADVISOR: Prof. JORGE RICARDO DUCATI

ABSTRACT

This work addresses the problem of finding places suitable to the operation of astronomical observatories. The steady grow of cities and the urbanization of vast neighbouring areas is followed by a proportional increase of artificial illumination, which results in higher levels of the brightness of the night sky. This has extreme consequences for optical Astronomy, which needs dark skies, and justifies searches of new sites for the instalation of future optical telescopes. One of the most important criteria for astronomical sites, besides dark skies, is a high proportion of clear, cloudless nights. Searches of astronomical sites are studies conducted over long periods of time, even years. We suggest that images from meteorological satellites can be useful for preliminary site selection, and we use orbital data from NOAA12 and NOAA14 spacecrafts to test a methodology which is based in image geometrical corrections and in the sum of images obtained in diferent dates. Images were collected by the antenna installed at the Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia of UFRGS. Summing up images collected in different nights, pixel by pixel and after geometrical corrections, results in time averages of cloud coverage, being the modern equivalent of constructing means from a time series of meteorological data from ground stations. We demonstrate that this methodological approach is feasible for this kind of data, which comes from lower-altitude, better-resolution orbits, if compared with images from high-altitude, lower-resolution geostationary sattellites, which are much more easy to manipulate, since the vantage point tends to be stable in time.

SUMÁRIO

SINOPSE.....	iv
ABSTRACT.....	v
RELAÇÃO DE FIGURAS.....	viii
RELAÇÃO DE TABELAS.....	ix
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO.....	1
I.1 - O QUE É O SENSORIAMENTO REMOTO ?.....	1
I.2 - SÍTIOS ASTRONÔMICOS.....	3
I.3 - CINTILAÇÃO (“SEEING”).....	6
I.3.1 - DEFINIÇÃO.....	6
I.3.2 - LEIS DA CINTILAÇÃO.....	8
I.3.3 - EFEITOS DA CINTILAÇÃO.....	9
I.4 - CRITÉRIOS DE ESCOLHA DE LOCAIS.....	11
I.4.1 - SÍTIOS ASTRONÔMICOS NO RIO GRANDE DO SUL.....	11
I.5 - PROPOSTA DESTE TRABALHO.....	12
CAPITULO II - FORMATAÇÃO E DIGITALIZAÇÃO DE IMAGENS METEOROLÓGICAS.....	14
II.1 - CLASSES DE IMAGENS.....	14
II.2 - ARMAZENAMENTO.....	16
II.3 - COMPACTAÇÃO.....	16

II.4 - FORMATO DE ARQUIVOS.....	18
CAPÍTULO III - ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS DO RIO GRANDE DO SUL.....	21
III.1 - CIRCULAÇÃO GERAL DA ATMOSFERA.....	21
III.2 - O REGIME CLIMÁTICO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.....	21
III.3- NUVENS.....	28
III.3.1 -DEFINIÇÃO.....	28
III.3.2 - CLASSIFICAÇÃO.....	29
III.3.3 - CARACTERÍSTICAS.....	30
CAPÍTULO IV - MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
IV.1 - O PROGRAMA NOAA.....	33
IV.2 - OBTENÇÃO DOS DADOS DE IMAGENS DE SATÉLITE.....	35
CAPÍTULO V - RESULTADOS E CONCLUSÕES.....	40
V.1- ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	40
V.2 – DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	41
BIBLIOGRAFIA.....	47

Relação de Figuras

I.1 Resultado médio visual do “seeing” em pequeno e grande telescópio.....	10
III.1 Classificação climática de KÖPPEN.	23
III.2 Fluxos atmosféricos fundamentais.....	27
III.3 Principais tipos de nuvens.....	32
V.1 a V.4 Imagens NOAA.....	43 a 46

Relação de Tabelas

III.1 Características das nuvens.....	30
IV.1 Dados sobre os Satélites NOAA.....	34
IV.2 Características dos Sensores AVHRR.....	35
IV.3 Relação das Imagens.....	39

Capítulo I

Introdução

I.1 - O que é o Sensoriamento Remoto ?

O Sensoriamento Remoto é definido como a ciência e a técnica de aquisição de informações relacionadas a um determinado objeto, a partir de medidas feitas a uma certa distância sem contato físico com o mesmo. Também se define como a técnica que permite a detecção, registro e processamento de informações sobre alvos ou fenômenos situados distantes do observador. Esta técnica baseia-se na análise do fluxo de energia refletida ou emitida por estes alvos, que é captada por sensores em diferentes faixas do espectro eletromagnético. Os sensores são sistemas óptico-eletrônicos que detectam e registram o fluxo de energia refletida ou emitida pelos alvos, através do espectro eletromagnético. Pode haver uma seleção de uma ou mais regiões do espectro eletromagnético. Esta seleção é feita de duas maneiras: ou pela sensibilidade intrínseca do sensor, operacional dentro de uma faixa definida de comprimentos de onda ou por filtros físicos.

O resultado de uma detecção, ou medida, por sensoriamento remoto, pode se apresentar em graus variados de complexidade, no que diz respeito à observação do alvo. A maioria dos alvos terrestres é constituída por fontes extensas, na acepção de que suas dimensões são consideráveis, se comparáveis às de uma fonte puntual (da ordem de um segundo de arco ou menos). Um alvo extenso pode ser total ou parcialmente observado, em função da configuração quando da tomada da cena, que envolve sua extensão ou área, e o campo de visada instantâneo (instantaneous field of view, IFOV). O IFOV é o ângulo subtendido pela projeção geométrica de um elemento singular do detector na superfície da Terra. A detecção do fluxo de radiação eletromagnética de uma fonte

extensa pode ser feita sem dividir a fonte em mais de uma área; neste caso a fonte é medida inteira, limitada apenas pelo ângulo sólido abarcado pelo sistema óptico associado ao detector. Se além disto não há seleção de comprimento de onda, tem-se a medida mais simples possível, em termos de sensoriamento remoto. Exemplos disto, são as medidas feitas por tubos fotomultiplicadores. Por outro lado, se a observação do alvo toma conhecimento do fato de que este é extenso, valorizando esta característica, há condições de se introduzir o conceito de imagem: o alvo, entidade física, é observado pelo sensor remoto, de modo a produzir, no interior deste, uma imagem do alvo, a qual é bidimensional, na extensão do plano focal, onde está o sensor.

O registro da imagem pelo sensor, seu armazenamento e sua disponibilização para análise e uso, é feito de várias formas, como por exemplo: registro analógico (caso de aquisição por fotografia), digitalmente (caso de dispositivos compostos por arranjos ou matrizes bidimensionais de pequenos sensores, como o CCD), por varredura (caso de aquisição por fotomultiplicadoras, que por serem detectores monocanal, constroem a imagem píxel por píxel, varrendo a superfície a ser imageada).

As imagens registradas e detectadas por sensores digitais são formadas por uma matriz onde a menor unidade constituinte chama-se píxel (do inglês "picture element" ou "picture cell"). Geralmente a matriz é formada de 512 linhas por 512 colunas, onde cada unidade ou píxel pode assumir um valor entre 0 e 255 contagens digitais que, em última análise, vão constituir a cena. As contagens digitais (cd) referem-se às diferentes radiâncias encontradas na imagem. Neste aspecto, é importante ressaltar que a aquisição da imagem digital não é colorida.

Se a imagem for adquirida, de forma simultânea ou mesmo seqüencialmente, em mais de uma banda de comprimentos de onda, tem-se um dado bidimensional e multi-espectral, o que representa um alto grau de complexidade, associado a uma grande quantidade de informação coletada.

Sintetizando, o produto digital resultante do registro pelos sensores em diferentes bandas é a imagem multiespectral. Uma imagem é a reprodução de uma cena (parte da superfície da Terra), efetuada pelos sensores remotos que transformam as informações em sinais elétricos que são processados sob a forma digital.

I.2 - Sítios Astronômicos

Um sítio astronômico é um local que apresenta, para uma dada região, condições adequadas para observações astronômicas, tanto em porcentagem de horas observáveis quanto na qualidade das mesmas, para uma determinada faixa do espectro eletromagnético.

As condições locais que influem nas observações ópticas são: altitude, brilho do céu, cobertura de nuvens, estabilidade atmosférica, aerossóis, etc. As condições logísticas também são importantes na caracterização de um sítio astronômico. Estes fatores estão vinculados ao clima e à geografia da região, determinando a *Astrometeorologia* do local.

O termo *Astrometeorologia* que, segundo Leitão (1993), foi cunhado pelo Prof. L. M. Barreto, antigo diretor do Observatório Nacional, significa:

o estudo do conjunto das condições geográficas e climáticas de uma região, com a finalidade de determinar a existência, ou não, de locais adequados à instalação de observatórios astronômicos.

A luminosidade do céu noturno de um local depende basicamente da duração do crepúsculo astronômico, da fase da Lua e de sua presença, ou não, na abóbada celeste, e da radiação difusa oriunda da iluminação artificial das cidades.

A duração do crepúsculo astronômico pode ser calculado com exatidão e, assim como a presença da Lua no céu, é uma condição inerente às observações astronômicas. Quanto às fases da Lua, o período de Lua nova é o mais adequado às atividades observacionais, enquanto o período de Lua cheia é o menos indicado. Já as fases crescente e minguante ocupam posições intermediárias. Contudo, dado a previsibilidade de ocorrências das fases lunares, tal problema é facilmente evitado com a escolha correta das datas e horários em que serão efetuadas as observações.

A questão da radiação difusa oriunda da iluminação artificial das grandes cidades, também referenciada como poluição ou contaminação luminosa, é um problema recente da Astronomia e que começou a se agravar após os primeiros decênios deste século. O crescimento vertiginoso dos grandes conglomerados urbanos e a falta de critérios técnicos adequados à instalação dos sistemas de iluminação pública é o grande responsável por este problema. O crescimento populacional e a sua distribuição racional são problemas político-sociais de intrincada solução e que escapam aos nossos objetivos; no entanto a normatização de sistemas públicos de iluminação é uma questão que diz respeito diretamente à Astronomia, constituindo-se, atualmente, no principal fator que leva um sítio astronômico consagrado à deterioração.

Diversos fenômenos ocorrem com os raios de luz, oriundos das estrelas, antes de chegarem aos nossos telescópios. Entre eles, a cintilação ou "seeing", definido na próxima seção. A qualidade do "seeing" é uma característica geográfica e sazonal, e está relacionada à turbulência atmosférica no sítio considerado, a qual depende de fatores meteorológicos.

Sítios astronômicos são identificados, em qualquer região do planeta, através de estudos muito detalhados, levados a efeito durante períodos de anos (Meinel, 1969). Os primeiros estágios da seleção levam em conta parâmetros básicos e facilmente evidenciáveis, como altitude, distância de centros urbanos e sequências temporais de dados obtidos dos serviços de monitoramento meteorológico. A partir disto, um primeiro estudo *in situ* é feito para definições preliminares dos

melhores locais. Este é o momento em que observações da estabilidade atmosférica começam a ser feitas, com o auxílio de equipamentos como os telescópios de feixe duplo ou “double beam telescopes”. Ao mesmo tempo, tabelas com dados meteorológicos, tomados várias vezes ao dia, começam a ser compiladas. Como o clima em qualquer região é descrito por seu comportamento médio, definido ao longo de muitos ciclos anuais, o mesmo deve ser feito para caracterizar com alguma segurança um sítio astronômico. Disto resulta que o trabalho completo de seleção de um local para observações astronômicas pode se estender por vários anos (Mello, 82). A proposta deste trabalho, explicitada na última seção deste capítulo, é de usar as novas possibilidades abertas pela tecnologia espacial, para abreviar algumas das fases preliminares destes projetos longos, sem evidentemente dispensar os estudos *in situ* que levam à caracterização definitiva de todas as condições necessárias às boas observações astronômicas. Na verdade, a tecnologia espacial tem possibilitado a produção de alguns trabalhos e resultados com relação ao problema da nebulosidade associada a sítios astronômicos. Citamos, por exemplo, os trabalhos de Seze e Desbois (1987) e de Erasmus e Peterson (1997), nos quais imagens de satélites geoestacionários (GOES e MeteoSat) são utilizadas; além disto, evidentemente, há o trabalho de Leitão (1993) desenvolvido no CEPSRM/UFRGS, também com dados GOES. Novas possibilidades de obtenção de dados orbitais, talvez mais convenientes e acessíveis, serviram de estímulo a este trabalho.

I.3- Cintilação (“Seeing”)

I.3.1 - Definição

É natural que haja turbulência na atmosfera, pois esta é uma massa gasosa não homogênea em movimento. Consideremos uma fonte luminosa puntual, situada fora da atmosfera terrestre (o caso de uma estrela). Quando os raios de luz provenientes desta fonte penetram na atmosfera, encontram um meio no qual as condições físicas (densidade, temperatura, pressão, iluminação) e de composição química (percentagem relativa de gases) variam espacial e temporalmente (Harwit, 1983). A constante oscilação destes parâmetros gera, a nível macroscópico, o fenômeno da turbulência atmosférica. Um dos modelos mais correntemente aceitos de descrição da turbulência supõe a existência de células no interior das quais as condições físico-químicas são constantes, o que implica que no interior destes volumes o índice de refração também é constante. A dimensão destas células varia de alguns centímetros a 20 cm ou mesmo mais (Roddier, 1988). Em seu percurso em direção ao solo, a luz de uma estrela atravessa um grande número de células, sofrendo desvios a cada interface entre células vizinhas. O efeito cumulativo destes desvios, ao nível do solo, devido à turbulência atmosférica, faz com que a imagem formada no plano focal de um instrumento óptico (ou na retina do olho humano) oscile em torno do ponto no qual, na ausência de atmosfera, convergiriam todos os fótons, que é como, por exemplo, uma estrela deveria ser vista ou fotografada. Chama-se a essa “dança” de tremulação, sendo ainda usada a palavra cintilação e, mais comumente, o termo inglês "seeing". Neste caso, o conceito de formação de imagem pressupõe um certo tempo de integração, no qual os fótons coletados pela objetiva do detector, que devem ser em número estatisticamente significante, são distribuídos em torno do centro da imagem. A forma desta distribuição obedece leis bem conhecidas e é descrita pela função de difusão puntual ("point spread function").

Mudanças no índice de refração podem ser esperadas em partes turbulentas da atmosfera, ou em último caso em qualquer parte. Contudo, a mais efetiva turbulência é encontrada em camadas

que vão desde poucas centenas de metros do solo até 3 km, ocorrendo também no nível da tropopausa.

A turbulência atmosférica provoca a cintilação da imagem de uma fonte puntual em 1" (um segundo de arco). Isso corresponde , grosseiramente, ao ângulo subtendido por uma moeda pequena a uma distância de aproximadamente 3,2 km.

O "seeing" de um local é um parâmetro de meridiana importância na sua qualificação como sítio astronômico. Valores de "seeing" inferiores a 1" são em geral considerados pequenos ou baixos, ou seja, indicativos de boas possibilidades de formação de imagens astronômicas. Valores superiores a 3" são considerados altos e correspondem a sítios com "seeing" degradado.

Conforme Stock & Keller (1963), as características de um elemento de turbulência dependem da diferença δf entre o índice de refração do elemento de turbulência e o índice de refração do ar que o rodeia. Já $\delta\rho$ é a diferença de densidade entre o elemento de turbulência e o ar que o rodeia; tendo ρ_0 como a densidade do ar na temperatura de 20° C e pressão de 760 mm de Hg, e n_0 correspondendo ao índice de refração, pode-se escrever:

$$\delta f = \frac{\delta\rho}{\rho_0}(n_0 - 1) \quad (I.1)$$

Desde que as velocidades de turbulência do ar sejam subsônicas, deve-se assumir que as diferenças de densidade entre os elementos de ar adjacentes são resultantes das diferenças de temperatura e não de diferenças de pressão.

Considerando-se como um gás perfeito:

$$\frac{\delta\rho}{\rho} = -\frac{\delta T}{T} \quad , \quad (I.2)$$

onde δT é a diferença de temperatura do elemento de turbulência e ρ é a densidade do ar que o rodeia, tem-se:

$$\delta f = -\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)\left(\frac{\delta T}{T}\right)(n_0 - 1) \quad (\text{I.3})$$

Se o elemento está próximo ao telescópio e este estiver ao nível do mar, com $n_0 - 1 = 2.9 \times 10^{-4}$ ($\lambda = 4700$ Angstroms),

$$\delta f \approx -10^{-6} \delta T \quad (\text{I.4})$$

Embora o "seeing" seja causado por fatores meteorológicos e outros, como a região e sua natureza em grande escala, ainda não é possível prever com certeza o "seeing" para uma dada situação meteorológica. Contudo, certas condições têm uma conhecida influência sobre o "seeing". Uma mistura de massas de ar de diferentes temperaturas pode produzir extensas zonas de turbulência. Isto ocorre, entre outras, em duas situações típicas: (a) em uma frente fria e (b) em uma inversão térmica. Esta última é particularmente típica de climas secos, onde turbulência com alto valor de δT pode ocorrer perto da inversão.

Ao se observar de uma região alta as luzes de uma cidade, pode-se ter a idéia do "seeing" naquele momento. Se as luzes dançarem (moverem-se), certamente haverá grande cintilação dos astros observados opticamente a partir da Terra, a não ser que a altitude seja tal que situe o ponto de observação acima da região de turbulência.

I.3.2 - Leis da Cintilação

Segundo Dufour, citado por Sola (1935), a cintilação está sujeita às seguintes leis:

1º- As estrelas vermelhas, em igualdade de condições, cintilam menos que as brancas e azuis.

2º- A intensidade da cintilação é proporcional ao produto da refração pelo comprimento da trajetória percorrida pelos raios luminosos no interior da atmosfera. Quanto menor for o comprimento da trajetória que o raio faz dentro da atmosfera, menor será o seeing.

A cintilação será mais intensa quando o raio luminoso atravessar maior número de camadas baixas da atmosfera (no nível da tropopausa), pois nelas há mais impurezas e desequilíbrio térmico, o que altera sensivelmente o índice de refração.

I.3.3 – Efeitos da Cintilação

Pode-se descrever o efeito da cintilação dos astros de três modos:

i) Observação a olho nu: as estrelas piscam e essas piscadas ou cintiladas são vistas como flutuações no brilho. Quando são observadas a uma distância zenital grande, elas parecem também sofrer rápidas trocas na cor.

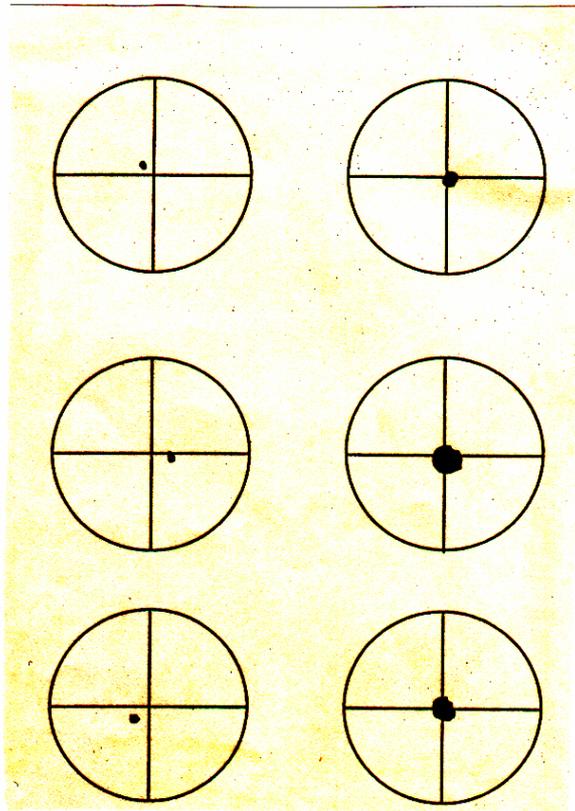
ii) Observação com pequenos telescópios (com abertura de até 5 polegadas-127mm): verifica-se movimentos rápidos da imagem das estrelas ao longo do campo de visão com variações no brilho. Pode-se estimar o ângulo através do qual a imagem aparece se movendo. Em uma noite de média cintilação, a imagem pode se mover aleatoriamente em uma área que cobre 2,5 ”.

iii) Observação através de grandes telescópios (com uma abertura igual ou maior que 20 polegadas - 508 mm): pode-se verificar uma troca rápida no contorno e no tamanho da imagem, bem como na posição dela. Frequentemente a imagem aparece pulsando, como uma mancha colorida sem forma e em contínuo movimento. Segundo Roddier (1988), o poder de resolução de telescópios

grandes é inteiramente limitado pela turbulência atmosférica, pois o diâmetro da objetiva é maior que as dimensões das células atmosféricas estáveis; por outro lado, telescópios pequenos têm sua resolução limitada diretamente pelo tamanho da objetiva.

A aparência média da imagem cria o que é conhecido como disco de cintilação (“seeing disc”), medido em ” (segundos de arco). As condições de observação são consideradas muito pobres quando o disco de cintilação for tão grande quanto 10 segundos de arco.

Figura I.1 - Resultado médio visual do "seeing" em pequenos e grandes telescópios (Birney 1991):



I.4 - Critérios de Escolha de Locais

O trabalho de levantamento para a localização de possíveis sítios astronômicos se justifica pela necessidade de se apontar locais mais favoráveis a futuras instalações de telescópios. Esta necessidade se deve ao fato de que a expansão urbana vem produzindo um gradativo aumento na luminosidade do céu noturno, o qual fica tomado por radiação difusa oriunda da cidade, prejudicando as observações astronômicas, a partir de locais que tradicionalmente o faziam.

Novos locais devem ser apontados, em especial devido ao avanço científico e do instrumental, que exigem laboratórios de dimensões bem maiores que os tradicionais.

Conforme Barreto (1971), o estudo de Astrometeorologia de uma região permite a localização de potenciais sítios para a instalação de observatórios astronômicos. Segundo Johnson (1963), um ótimo sítio astronômico, para observações ópticas, deve reunir condições de altitude (mais de dois mil metros), de pouca luz difusa de origem artificial, de baixa umidade do ar, de pouca turbulência atmosférica (pequeno "seeing") e de baixa frequência de nuvens. Esse trabalho estuda o último dos parâmetros mencionados, a taxa de cobertura de nuvens.

I.4.1 - Sítios Astronômicos no Rio Grande do Sul

As altitudes, no Estado do Rio Grande do Sul, em geral, são relativamente baixas, havendo regiões, planas ou escarpadas, com altitudes entre 900 e 1100 metros. O ponto culminante do Rio Grande, o Monte Negro, tem 1400 metros de altitude e fica localizado a vinte quilômetros da sede do município de São José dos Ausentes, no Nordeste do Estado.

Os Aparados e Campos de Cima da Serra são as regiões com maiores altitudes do Estado. Essa região constitui-se num quadrilátero que começa em São Francisco de Paula, passa por Cambará do Sul e Bom Jesus, estendendo-se até São José dos Ausentes.

Em todos estes locais os índices pluviométrico e de neblina são altos. Há, ainda, outras inconveniências como o difícil acesso devido à ausência de pavimentação nas estradas. Na região dos Campos de Cima da Serra, os índices pluviométrico e de neblina são altos. Em outra região de serra, próxima de Caçapava do Sul, há pouca cobertura de nuvens, mas as altitudes chegam a apenas 600 metros. Esta região foi identificada por Leitão (1993) como uma das que teriam maior potencial para receber observatórios astronômicos no Estado, pela quantidade de dias claros e pelas condições gerais de umidade. A altitude relativamente baixa, no entanto, pode inviabilizar este sítio para empreendimentos de maior vulto.

Como panorama geral de uma "Astrometeorologia do Rio Grande do Sul", pode-se já antecipar que as regiões mais altas também são as que possuem maior frequência de nevoeiro. Isto inviabiliza a região de São José dos Ausentes como o melhor sítio no Estado; no entanto, não podemos omitir a informação (Bitt-Monteiro, 1999) de que o nevoeiro nesta região forma-se somente no início de certas noites, dissipando-se em seguida, para voltar no final da madrugada e no alvorecer; e que, além disto, os topos de coxilhas mantêm-se acima da cerração. Seria o caso de investigação mais aprofundada ? Outras regiões, como o Nordeste ou o Sul do Estado também poderão vir a ser analisadas em trabalhos futuros.

I.5 – Proposta deste Trabalho

Este trabalho se propõe a demonstrar uma metodologia aplicável à projetos de localização de sítios astronômicos, através de dados provenientes de imagens de satélites. Para tal serão usadas imagens dos satélites NOAA-10 e NOAA-12, onde são visíveis nuvens e porções do solo, permitindo o estudo de regiões com respeito à sua nebulosidade. Serão testadas metodologias de correção geométrica de imagens, e de sua adição pixel a pixel. Os dados serão obtidos com a

estação de recepção de imagens dos satélites NOAA, em operação no Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A região escolhida para o estudo corresponde ao território do Estado do Rio Grande do Sul.

Este trabalho tem como objetivo a demonstração da metodologia de correção geométrica de imagens e superposição destas, equivalendo a um estudo, em escala temporal, da taxa de cobertura por nuvens.

Capítulo II

Formatação e Digitalização de Imagens Meteorológicas

II.1 - Classes de Imagens

Cada sensor possui uma determinada resposta espectral que fornece a intensidade, em uma dada frequência, para uma posição específica de uma malha de amostragem.

As imagens podem ser divididas nas seguintes classes (Osório 1991):

(i) Preto e Branco - (P&B), com **dois** níveis de cinza (cd): é o tipo ideal de imagem que se utiliza no processamento de textos digitalizados.

(ii) P&B, com **n** níveis de cinza (cd): imagem em que é possível distinguir diferentes (cd) níveis de cinza, obtidos pela quantificação das intensidades intermediárias de luz entre o preto e o branco. Normalmente são utilizados 256 níveis, o que equivale a 8 bits/píxel.

(iii) Imagem de uma banda do espectro com **n** níveis de cinza (cd): é possível obter-se uma escala de tonalidades ou “cores” de outras bandas espectrais (faixas de diferentes comprimentos de onda), como se obtém uma escala de níveis de cinza.

Pode-se formar escalas de Vermelho, Verde, Azul, Infra-Vermelho, etc..

A banda do Infra-Vermelho é muito usada em satélites, que possuem sensores especiais para essa faixa, a fim de se detectar a emissão de energia térmica (identificando-se nuvens, queimadas, regiões de solo exposto, manchas urbanas, etc.).

(iv) Imagens multi-espectrais (coloridas): a fim de se obter uma informação mais completa a respeito da cena adquirida, pode-se quantificar as intensidades (cd) de mais de uma banda espectral por vez. Esse é o caso das imagens coloridas, pois elas são obtidas através de sensores específicos para a determinação de cada uma das intensidades do chamado padrão RGB (red-vermelho, green-verde e blue-azul).

A mistura das três cores ou bandas, em determinadas proporções, permite que se tenha a sensação de enxergar imagens coloridas. Essas imagens são usualmente compostas por um conjunto de 24 bits (8 bits para cada cor). Utilizando-se 24 bits/píxel, pode-se chegar até a 16 milhões de cores e tonalidades distintas. Esse total de cores possíveis é muito superior à capacidade do olho humano de distinguir cores e tonalidades.

(v) Imagens coloridas com o uso de **Look Up Table (LUT)**: pode-se gerar uma imagem onde cada píxel é associado a um valor referente a uma tabela de cores (**LUT**), que descreve a cor real desse ponto da imagem. Dessa forma não é necessário associar a cada ponto da imagem as informações a respeito das intensidades do RGB, podendo-se armazenar imagens de cenas coloridas sem a necessidade de reservar uma memória de 24 bits/píxel. Nesse tipo de imagem, cada cena é composta pelo mapa de píxeis, ou seja, uma matriz ($m \times n$) de pontos com os índices de acesso às cores da LUT, adicionada a uma tabela de acesso indireto às cores reais (**LUT**) chamada tabela palette.

Observação: Até aqui só foram abordadas imagens com descrição matricial; a próxima classe tem outro tipo de descrição.

(vi) Imagens com descrição vetorial: a descrição é feita através de um código especial, como por exemplo, “chain codes”. As imagens podem ser o resultado da captura de cenas através de dispositivos como o “flying spot scanner”, onde o resultado não é uma imagem matricial, mas o contorno que foi seguido pelo sensor.

Outro tipo de imagem vetorial é a obtida na digitalização com o uso de mesas digitalizadoras. Essa imagem é composta pelo conjunto de coordenadas dos pontos obtidos pela movimentação do cursor sobre a mesa.

II.2 - Armazenamento

O resultado do processo de aquisição ou digitalização é a obtenção de uma imagem digital armazenada na memória do computador. Essa imagem pode ser visualizada ou armazenada em um dispositivo de armazenamento secundário, para posterior processamento.

Uma imagem digital possui a informação referente à luminosidade de cada ponto, e essa pode estar representada de diferentes formas; conforme mencionado em (II.1). Pode-se ter imagens de 1 a 24 bits/píxel, com diferentes resoluções de amostragem espacial e representações das faixas espectrais.

Deve-se especificar o formato de armazenamento das imagens e a forma de codificação das mesmas. Essas especificações são muito importantes, pois a imagem de uma cena real pode chegar a ocupar 3 Mbytes de memória (1024 x 1024 píxeis, com 24 bits/píxel). Dessa maneira, portanto, o emprego de alguma técnica de codificação visando a compactação dos dados para o armazenamento é extremamente aconselhável.

II.3 - Compactação

Quando não há a compactação, primeiramente armazena-se a imagem gravando linha a linha e coluna a coluna. Nesse caso é possível armazenar cada píxel em um byte para imagens monocromáticas, ou em três bytes por píxel para imagens coloridas. Além da imagem em si,

também deve ser armazenado o número de linhas e colunas da matriz imagem, de maneira que essa possa ser novamente reconstituída. Esse constitui-se no método mais simples, mas não no melhor.

Um método mais sofisticado faz a compactação a nível de bytes, ou seja, a imagem possuindo um número de bits/píxel que não seja múltiplo exato do número de bits de um byte, compacta a imagem de maneira que todos os bits de cada byte sejam utilizados. Através dessa técnica são alinhadas as informações a respeito de cada píxel, uma após a outra, sem considerar a organização da memória orientada a bytes, ocupando-se todos os bits.

Um dos métodos reais de compactação emprega a técnica **RLE** ("**R**un **L**ength **E**ncoding"). Com essa técnica, faz-se uma codificação visando aproveitar o grande número de pontos vizinhos que possuem a mesma informação de cor em uma imagem.

O processo geral de compactação através do método **RLE** consiste basicamente em descrever uma linha da imagem, não através dos valores de cada ponto, mas através do valor da cor seguido de um indicador do número de ocorrências consecutivas de pontos desta cor.

Existem, atualmente, vários algoritmos de compressão de dados. Alguns deles:

- Código de Hoffmann;
- RLE;
- BTC;
- RAC; entre outros.

Um algoritmo a ser destacado é o LZW ("**L**empel-**Z**iv & **W**elch Algorithm"). Esse algoritmo possui a característica de obter taxas de compressão de imagens em torno de 50% e ocasionalmente atingir 90%. Ele pode ser considerado bem rápido, tanto na fase de compactação, como na de descompactação. Esse algoritmo proporciona uma rápida compressão (da ordem de

50 kbytes por segundo em um computador 386-80). O método LZW pode ser empregado tanto pelo formato GIF quanto TIFF (conforme próxima seção) com duas simples extensões suas.

II.4 - Formato de Arquivos

Existe uma série de especificações de formatos de arquivos utilizados nas descrições de imagens, pois cada fabricante de software ou equipamento cria um novo formato.

Como solução desse número crescente de formatos diferentes e incompatíveis entre si, adota-se um formato padrão e cria-se conversores desse formato para os outros formatos de arquivos e vice-versa.

Através da adoção desse formato padrão, pode-se desenvolver uma série de ferramentas que sejam capazes de manipular imagens descritas nesse padrão.

Caso seja necessário compatibilizar as ferramentas com um novo formato de arquivo, basta criar um conversor de arquivos do novo formato para o adotado, realizando-se uma prévia conversão dos arquivos.

Os formatos mais utilizados, atualmente, para a descrição e armazenamento de imagens, conforme (Graef, 1989) são:

- GIF ("**G**raphics **I**nterchange **F**ormat"- Formato Gráfico de Transferências): utilizado em transferência de imagens coloridas
- TIFF ("**T**agged **I**mage **F**ile **F**ormat"- Formato Rotulado de Arquivo de Imagem): é uma associação de todos os formatos de arquivos de imagem;
- PCX/PCC: é o mais fácil de ser encontrado em aplicações gráficas;
- JPEG ("**J**oint **P**hotographic **E**xperts **G**roup"): este padrão é produzido por um grupo de especialistas nomeados por agências e empresas nacionais americanas, com a função de produzir

padrões de codificação de imagens. Esta codificação é uma das mais usadas para compressão de imagens estáticas.

O objetivo da adoção do formato padrão é tornar as diferentes ferramentas desenvolvidas compatíveis entre si, em nível de troca de arquivos.

GIF:

O formato GIF foi desenvolvido pela COMPUSERVE em 1987 para atender a uma necessidade de um protocolo de transferência de imagens coloridas. Este formato suporta imagens com dimensão de mais de 64000 píxeis, 256 cores até 16 milhões de cores-palette, múltiplas imagens em um arquivo simples, decodificação rápida para uma observação on-line, compressão eficiente e independência de equipamento computacional.

TIFF:

O formato TIFF foi desenvolvido para diminuir os problemas associados de arquivos com formato fixo. Esse formato é controlado pela MICROSOFT e pela ALDUS CORPORATION, mas é de domínio público e pode ser usado sem autorização ou pagamento de taxas. A primeira estrutura de dados encontrada em um arquivo TIFF, chama-se de Cabeçalho do Arquivo de Imagem (Image File Header - IFH). Essa estrutura contém importantes informações para interpretar corretamente o restante de um arquivo TIFF. Os arquivos nesse formato podem ser movidos entre computadores IBM-PC (baseados em processadores Intel) e computadores MACHINTOSH (baseados nos processadores Motorola) e a ordenação dos bytes nos processadores da Intel e da Motorola são diferentes.

Todos os métodos de compressão de dados, atualmente utilizados pelo padrão TIFF são orientados a byte. Uma imagem capturada por varredura em um arquivo TIFF é definida pelos seus rótulos.

Os arquivos de imagem rotulados têm como suas principais vantagens:

- * Programas aplicativos que lêem arquivos TIFF podem ignorar de modo seguro qualquer rótulo que não seja compreendido;

- * Novos rótulos podem ser adicionados a qualquer tempo sem invalidar qualquer um dos rótulos antigos. Isso evita que o formato de arquivos TIFF torne-se obsoleto;

- * Rótulos privados podem ser definidos para conter informação proprietária dentro de um arquivo TIFF sem afetar outros programas de aplicação. Os valores de rótulo de 32768 até 65535 são reservados para esse propósito.

Em geral, três categorias diferentes de imagem podem ser armazenadas em arquivos TIFF:

- a) Imagens em preto e branco utilizam um bit por píxel para serem representadas;
- b) Imagens em escala de cinza (cd) utilizam entre dois e oito bits por píxel, o que fornece de 4 a 256 níveis de cinza (cd) por imagem;
- c) Imagens coloridas utilizam as variedades RGB e de cores, chegando até a 24 bits/píxel.

Capítulo III

Aspectos Climatológicos do Rio Grande do Sul

III.1 - Circulação geral da atmosfera

As diferenças no balanço de radiação entre os Pólos e o Equador fazem com que ocorram variações nos sistemas de pressão. Essas variações nos campos da pressão atmosférica provocam movimentos subsidentes e ascendentes em determinadas regiões da Terra.

Os movimentos ocorrem no sentido de eliminar as diferenças de pressão, ou seja, removendo energia térmica das regiões com maior ganho e transportando essas energias para as regiões de menor ganho. Portanto, a atmosfera se mantém em contínuo movimento.

III.2 - O regime climático do Estado do Rio Grande do Sul

O Estado do Rio Grande do Sul está situado um pouco ao sul do zênite do solstício de verão, para o hemisfério sul, que é de 23 ° 27' de latitude, estando em uma região de transição entre as regiões tropical e subtropical e portanto, sofrendo influências destes dois tipos de climas. Possui estações bem definidas no tocante a temperatura, com verões quentes e invernos frios. O mínimo de precipitações ocorre no verão e o máximo no inverno.

O conhecimento do clima de uma região decorre de vários anos de investigação científica sobre as condições atmosféricas locais. Em geral, esta investigação científica toma um tempo superior a 30 anos. O resultado é a caracterização das condições médias da atmosfera num determinado lugar.

Quando se diz que o inverno no Rio Grande do Sul é rigoroso e o verão muito quente, se está falando do clima.

Já o conceito de tempo atmosférico é dinâmico, podendo variar de um momento para outro. Quando se fala que ontem estava menos quente que hoje, referimo-nos ao tempo atmosférico.

Interferem no clima e no tempo atmosférico, fatores permanentes tais como altitude, latitude, maritimidade, continentalidade, estação do ano, movimento de massas de ar, cobertura da superfície, forma de relevo, etc.; bem como fatores dinâmicos, geralmente chamados de elementos meteorológicos: temperatura, pressão, ventos, umidade, precipitação e nebulosidade.

No período do verão, o ar polar marítimo entra no continente sul-americano em latitudes mais altas que no inverno, mas já com suas características modificadas devido ao contato com superfícies mais quentes, o que não impede a ocorrência de chuvas em suas zonas frontais, em contato com o ar tropical.

O clima no Rio Grande do Sul faz parte da faixa subtropical, estando situado na transição do clima tropical para o temperado. A região sul do Brasil apresenta estação térmica fria. A maioria das regiões do Brasil apresentam clima subtropical / temperado, portanto sempre quentes, variando apenas na quantidade de umidade. Conseqüentemente a diferenciação está na distribuição e quantidade de chuvas. O clima no Rio Grande do Sul faz parte portanto do tipo mesotérmico, sem estação seca, de acordo com HOFFMANN (1990).

Conforme a classificação climática de Wilhelm Köppen, o Rio Grande do Sul possui dois tipos de climas: o Cfa, sub-tropical com verões quentes e chuvas bem distribuídas o ano inteiro. Este tipo compreende a maior parte do Estado.

O Cfb é caracterizado por verões brandos e invernos mais acentuados.

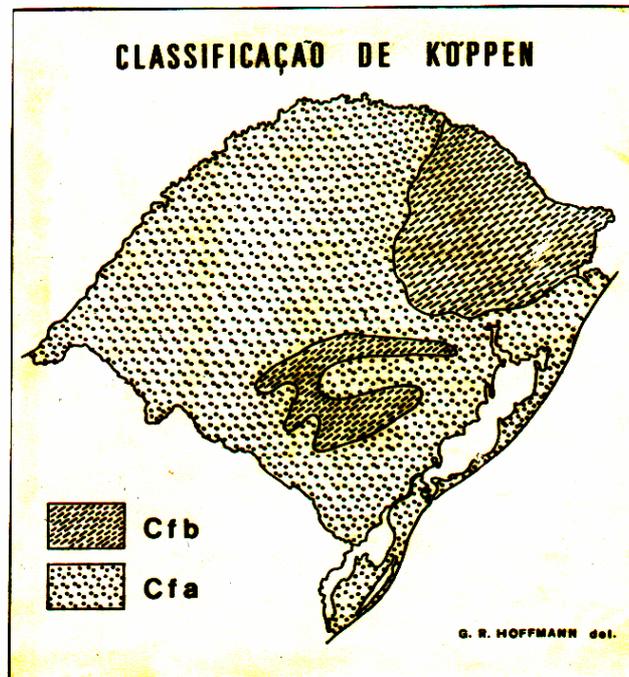
C- Mesotérmico (temperado), com um ou mais meses de temperatura média inferior a 18° C, porém superior a -3° C e pelo menos um mês com temperatura média acima de 10° C.

f- úmido, com precipitação uniforme distribuída durante o ano todo.

a- temperatura média do mês mais quente acima de 22° C.

b- temperatura média do mês mais quente abaixo de 22° C.

Figura III.1: Classificação climática de KÖPPEN.



O clima Cfb abrange as áreas mais elevadas, compreendendo a região da Serra do Sudeste e Serra Geral. A altitude ameniza, neste caso, os efeitos da temperatura elevada no verão. Conforme Vieira (1984), o clima Cfb também abrange os planaltos do escudo sul-rio-grandense.

Nos últimos 70 anos, o Rio Grande do Sul sofreu dois grandes períodos de anormalidade climática quanto às precipitações. O primeiro em 1941, durante o qual, ao longo de 32 dias de chuvas, a precipitação pluviométrica foi de 678 mm; a ocorrência foi no outono, em 13/04 e 14/05. O segundo período, foi o de 1983, em período mais avançado, nos meses de junho/julho, ou seja, fim do outono e início do inverno, com um total de precipitação equivalente. A causa foi o "El Niño", dados alguns parâmetros de identidade.

O Rio Grande do Sul está sujeito a um modelo atmosférico, determinado pela dinâmica dos centros de ação, que movimentam as massas de ar. Trata-se de uma estrutura atmosférica marcada pela normalidade dos fenômenos atmosféricos. O equilíbrio do sistema é o próprio equilíbrio do meio terrestre, ou seja, do condicionamento cósmico-espaco-temporal da Terra. Somente causas de grande força telúrica, cósmica e antrópica podem desestabilizar o clima, conduzindo-o a um período de anormalidades freqüentes, até se caracterizar uma nova estrutura atmosférica.

A dinâmica das massas de ar tem um caráter sistêmico, compondo um quadro de centros de ação, a partir dos quais se estabelecem modelos atmosféricos. As massas de ar, ao formarem os centros de ação, se diferenciam entre si, produzindo fenômenos típicos a partir de processos físicos (termodinâmicos), que se desenvolvem no interior de suas estruturas.

De acordo com a classificação climática de Arthur Strahler as áreas situadas ao sul do país são classificadas como de clima subtropical, regido por massas de ar tropicais e polares.

Massa de ar é um grande volume de ar que, por permanecer determinado intervalo de tempo sobre uma superfície, adquire as características da mesma. Ou seja, uma massa de ar possui características uniformes de temperatura, umidade e pressão, de acordo com a superfície na qual

está. A ação das massas de ar é decisiva na distribuição térmica e pluviométrica de uma região.

O Estado do Rio Grande do Sul está sob influência das seguintes massas de ar:

Massa Tropical Atlântica - quente e úmida. Forma-se sobre o Oceano Atlântico em área tropical. Atua com maior intensidade em áreas mais orientais do país.

Massa Polar Atlântica - forma-se ao sul da Argentina, sobre o oceano e é muito fria.

Massa Polar Continental - esta, tanto pode se formar sobre o sul da América do Sul (Argentina) quanto sobre o Pacífico Sul. Neste segundo caso, por se formar sobre uma superfície líquida, tem características de massa polar marítima. Mas devido a seu processo de migração a latitudes mais baixas, atravessa a cordilheira dos Andes próximo a latitude 40 ° sul e devido a grande altitude da cordilheira nesta região, boa parte de sua umidade se condensa e precipita junto a mesma; então essa massa, já no lado argentino dos Andes, apresenta pouca umidade, como se fosse uma Polar Continental. Quando isto ocorre, tem-se o que regionalmente se chama de vento Minuano, que é muito frio e seco. Esta massa pode ir até o norte do Estado.

Massa Tropical Continental - quente e seca, forma-se sobre o “Chaco” - planície situada à centro-oeste da América do Sul, cuja formação arbustiva corresponde ao cerrado brasileiro. A Massa Continental Tropical possui atuação restrita, sendo um centro de baixa pressão.

No verão a massa de ar que tem maior atuação é a Tropical Atlântica. A ação da Massa de Ar Polar, nesta época se reduz. A restrita penetração deste anticiclone (centro de alta pressão) no verão provoca chuvas convectivas.

A intensidade das chuvas nesta época depende da umidade do ar e das condições de estabilidade da atmosfera.

No verão, a Massa Tropical Atlântica situada a leste do país, sobre o oceano, desloca-se mais para o sul, atuando com maior intensidade no Estado. Pode penetrar sem dificuldades para o

interior, através do litoral retilíneo e sem barreiras, acrescentando, desta forma, umidade à atmosfera.

Devido ao Rio Grande do Sul estar situado no extremo sul do país, ele é influenciado em maior intensidade pelas massas de ar polar que o restante do país.

No inverno, a Massa Polar Atlântica, oriunda do sul, avança, mais precisamente, para o nordeste. Ela possui três direções principais, que podem ser vistas na figura III.2.

Direções:

- Ocidental - avança pela depressão do Chaco, até a Amazônia ocidental, onde ocorre nessas ocasiões o fenômeno da “friagem”(que é uma queda brusca de temperatura devida a uma ação do ar polar).

- Central - tem maior atuação no Estado, provocando quedas de temperatura e precipitações.

- Direção mais oriental - desloca-se sobre o oceano, próximo ao litoral brasileiro.

A massa Polar Atlântica ao avançar, encontra-se com bastante frequência com a Massa Tropical Atlântica, que tem seus ventos predominantes, em nosso Estado, oriundos de nordeste.

Forma-se então um sistema frontal, isto é, o encontro de duas massas de ar com densidades e temperaturas diferentes. A linha de contato entre essas massas de ar chama-se frente.

O ar mais quente e menos denso sobe, formando uma espécie de redemoinho com o ar frio, que se concentra em áreas mais abaixo por ser mais denso. Nessas ocasiões, a temperatura diminui e ocorre a precipitação. As chuvas de inverno, no Rio Grande do Sul, normalmente se realizam mediante este processo.

Em uma frente devido aos contrastes de temperatura e umidade entre as duas massas de ar, frequentemente ocorre além de precipitação, também nebulosidade.

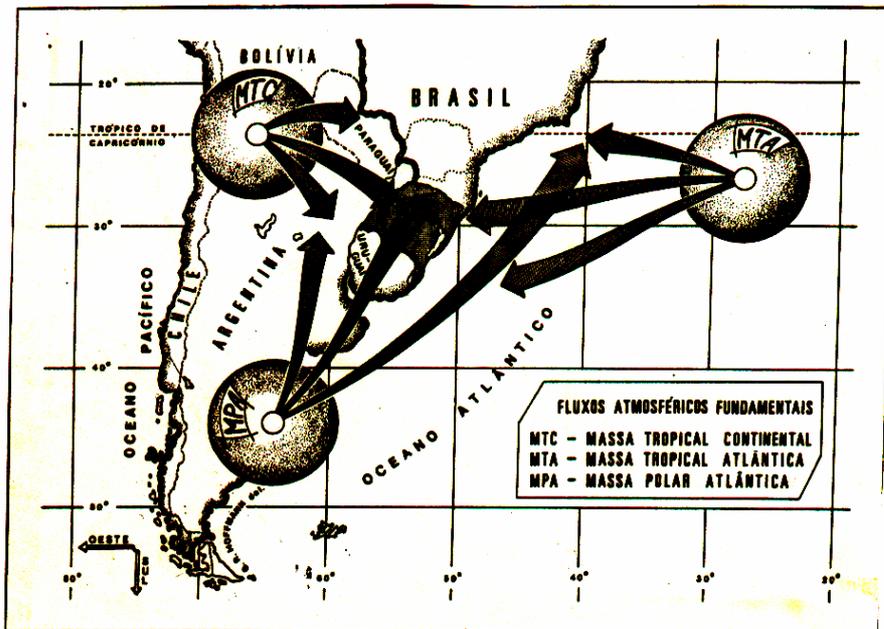
As frentes podem ser:

frente fria: é a frente em que a massa de ar mais fria avança sobre a mais quente;

frente quente: é a frente em que a massa de ar mais quente avança sobre a mais fria;

frente oclusa: é o encontro de uma frente fria e uma frente quente.

Figura III.2: Fluxos Atmosféricos Fundamentais BERTÉ; SUETERGARAY (1995):



Durante o inverno é freqüente a ocorrência de geada, principalmente em áreas elevadas do estado, ou em outras áreas quando a queda de temperatura é acentuada.

Tanto a geada como o orvalho não são precipitações, diferentemente dessas, formam-se em contato com superfícies frias. Durante a noite, a superfície vai perdendo energia térmica que absorveu durante o dia. Se a perda for muito acentuada, principalmente devido às condições de céu limpo, ocorre uma brusca queda de temperatura. O vapor d'água existente sobre a superfície passa da fase gasosa para a sólida, pelo processo de sublimação, formando a geada.

O orvalho forma-se de forma análoga, em contato com superfícies frias. A diferença é que, nesse caso, o vapor d'água passa da fase gasosa para a fase líquida.

O Ponto de Orvalho, também conhecido como Ponto de Saturação, é o limite no qual o ar não consegue mais absorver vapor d'água. Após este limite, ocorre a condensação. Quanto mais quente o ar, maior sua capacidade de absorver vapor e vice-versa. Para a ocorrência de geada, é necessário que a temperatura da superfície esteja abaixo de 0° C.

No Rio Grande do Sul a ocorrência de geada, no inverno, é freqüente na região da Campanha, devido a penetração das massas frias, e nas áreas elevadas onde a temperatura é menor devido à altitude.

As baixas temperaturas no inverno do Rio Grande do Sul, evidentemente, devem-se também à sua posição em latitudes, a qual determina maior inclinação dos raios solares em relação à superfície nesta época do ano. No entanto, são exatamente estas diferenças de aquecimento e resfriamento, em diferentes épocas do ano, que determinam a movimentação do ar atmosférico.

A temperatura média anual do estado é de 18 ° C. Esta, no entanto, não expressa as reais condições térmicas da região, por dois motivos principais:

- As diferenças na quantidade de energia térmica, recebida do Sol, entre o inverno e o verão, são muito marcantes.

- As diferenças de altitude, modificam as condições térmicas de um determinado lugar, numa mesma estação pois, em geral, a temperatura diminui com a altura na atmosfera.

As áreas mais elevadas possuem verões brandos e invernos mais frios, enquanto as áreas mais baixas apresentam verões quentes e invernos menos intensos.

III.3- Nuvens

III.3.1- Definição

As nuvens são um conjunto de partículas de água líquida ou de gelo, ou ainda de ambos, em suspensão na atmosfera. As nuvens podem ser observadas desde o nível do solo até o limite superior da troposfera (aproximadamente 18 quilômetros). O aspecto depende somente da natureza do movimento vertical que poderá dar ou não origem às precipitações.

III.3.2- Classificação

Uma classificação geral das nuvens, pode dividi-las em três grupos principais: cumuliforme, estratiforme e cirriforme.

1. No grupo das Cirriformes estão: cirrus, cirrocumulos e cirrostratus;
2. No grupo das Estratiformes estão: stratus, altostratus e nimbostratus;
3. No grupo das Cumuliformes estão: cumulos, cumulonimbus, stratocumulos e altocumulos.

Com respeito ao aspecto, estrutura e forma ou aparência das nuvens citadas, tem-se:

1. Nuvens Cirriformes, com aparência fibrosa;
2. Nuvens Estratiformes, que se apresentam em camadas;
3. Nuvens Cumuliformes, que aparecem empilhadas.

Os processos de formação de nuvens podem ser por:

- Turbulência mecânica, devido ao atrito;
- Convecção térmica;
- Ascensão orográfica (relevo) e

Nas imagens em infravermelho, captadas pelo satélite, as regiões mais escuras com contador digital (cd) mais baixo são de áreas com baixa reflectâncias e maiores temperaturas.

As nuvens, na imagem de satélite, aparecem com um tom (cd) que vai desde o claro até branco total. Devido a vasta variação nas escalas das nuvens, é bastante difícil a interpretação, apenas, visual.

III.3.3- Características

A tabela a seguir, apresenta algumas características de nuvens :

Tabela III.1: Características das nuvens.

TIPOS DE NUVENS	DURAÇÃO (VIDA)	VELOCIDADE VERTICAL	CONTEÚDO DE ÁGUA	ESPESSURA
Nevoeiro	2 – 6 horas	0,01 ms ⁻¹	0,05 - 0,2 gm ⁻³	100 m
Stratus- -stratocumulus	6 – 12 horas	0,1 ms ⁻¹	0,05 - 0,25 gm ⁻³	1000 m
Cumulus	1 – 30 minutos	3 ms ⁻¹	0,3 - 1,0 gm ⁻³	1500 m
Cumulus- -congestus	20 - 45 minutos	10 ms ⁻¹	0,5 - 2,5 gm ⁻³	5000 m
Cumulonimbus	45 min - 3 horas	30 ms ⁻¹	1,5 - 4,5 gm ⁻³	12000 m

Os cúmulus parecem montículos soltos, como se fossem flocos de algodão. Quando são pequenos indicam bom tempo.

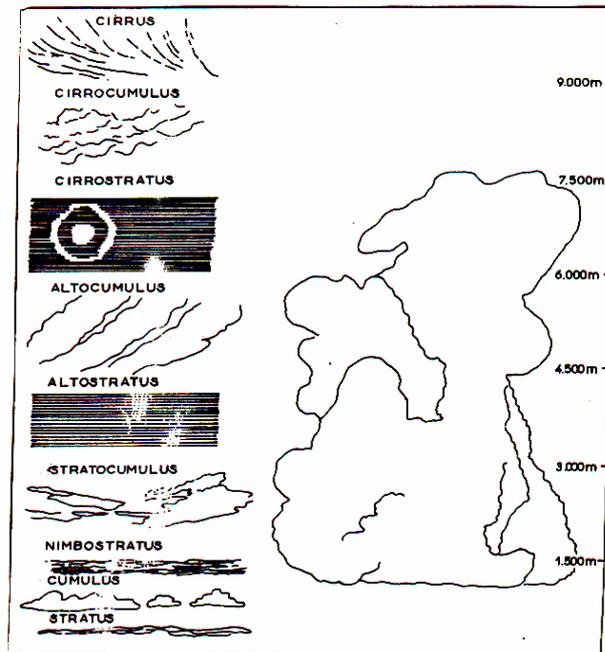
As nuvens do tipo Cb (Cumulonimbus) são originárias de nuvens do tipo Cúmulus. Tem formato globular. Estas podem desenvolver-se verticalmente em condições específicas de temperatura na superfície, instabilidade e quantidade de umidade do ar.

Se a evaporação for intensificada pelo progressivo aquecimento da atmosfera, estas nuvens desenvolver-se-ão rapidamente, podendo atingir de 15 a 20 km de altura, formando cumulonimbus. Quando há formação deste tipo de nuvem, a precipitação sempre ocorre. As chuvas são intensas e rápidas, acompanhadas de trovões e raios. O granizo é oriundo de nuvens do tipo Cb.

As nuvens alto-cúmulus situam-se entre 2 e 6 km de altura e também possuem formato globular. Quando são mais espessas, apresentam a base acinzentada; com espaços vazios entre si. A precipitação deste tipo de nuvem é eventual.

Devido à alta incidência solar, as chuvas são predominantemente convectivas com a formação de nuvens do tipo Cúmulos (Cu) e Cumulonimbus (Cb).

Figura III.3 - Principais tipos de nuvens, conforme AYOADE, J. O. (1988) em Introdução à Climatologia para os Trópicos:



Capítulo IV

Materiais e Métodos

IV.1 - O Programa NOAA

Os satélites da série NOAA, operados pela agência norte-americana de mesmo nome - "National Oceanic and Atmospheric Administration" - , portam como principal equipamento o sensor AVHRR. O "Advanced Very High Resolution Radiometer" é um sensor de quatro ou cinco canais (dependendo do modelo) sensíveis nas regiões do visível, do infra-vermelho próximo e do infra-vermelho termal do espectro eletromagnético. Estas naves constituem os chamados "Polar Orbiting Environmental Satellites" (POES) da NOAA, iniciados com o TIROS-N em 1978.

Os dados do AVHRR são adquiridos em três formatos:

"High Resolution Picture Transmission" (HRPT) - Transmissão de imagem em alta resolução;

"Local Area Coverage" (LAC) - Cobertura Local de Área;

"Global Area Coverage" (GAC) - Cobertura de Área Global.

Neste trabalho são usadas imagens no primeiro dos três formatos.

O sensor AVHRR coleta de forma global (pólo a pólo) dados em todos os seus canais espectrais. Cada passagem do satélite cobre uma ampla faixa de 2399 km (1491 mi) de largura. O satélite orbita a Terra 14 vezes ao dia a 833 km (517 mi) sobre a superfície.

Quanto à resolução espacial, dado um "instantaneous field-of-view" (IFOV) médio de 1.4 miliradianos, é produzida no modo LAC/HRPT uma resolução, na Terra, de aproximadamente 1.1 km ao nadir do satélite de órbita nominal. A resolução na borda da imagem é de 4 km, em função da curvatura da Terra e da obliquidade da visada.

A tabela IV.1 fornece a relação dos satélites desta série.

Tabela IV.1 - Dados sobre os satélites NOAA

Satélite	Lançamento	Fuso do nodo	Fuso do nodo	Período de Serviço
Número	Data	ascendente	descendente	Datas
TIROS-N	13/10/78	15h00 min	03h00 min	19/10/78 - 30/01/80
NOAA-6	27/06/79	19h30 min	07h30 min	27/06/79 - 16/11/86
NOAA-7	23/06/81	14h30 min	02h30 min	24/08/81 - 07/06/86
NOAA-8	28/03/83	19h30 min	07h30 min	03/05/83 - 31/10/85
NOAA-9	12/12/84	14h20 min	02h20 min	25/02/85 - 11/05/94
NOAA-10	17/09/86	19h30 min	07h30 min	17/11/86 - Presente
NOAA-11	24/09/88	13h40 min	01h40 min	08/11/88 - 13/09/94
NOAA-12	14/05/91	19h30 min	07h30 min	14/05/91 - Presente
NOAA-14	30/12/94	13h40 min	01h40 min	30/12/94 - Presente
NOAA-15	13/05/98	19h30 min	07h30 min	13/05/98 - Presente

O NOAA-B, lançado em 29 de maio de 1980, falhou ao alcançar a órbita. O NOAA-13, lançado em 9 de agosto de 1993, falhou devido a um curto-circuito no circuito elétrico solar.

A tabela IV.2 (Kidwell, 1991) fornece as características de sensibilidade dos sensores a bordo de cada satélite.

Tabela IV.2 - Características dos sensores AVHRR:

<u>Bandas</u>	<u>NOAA-6,8,10</u>	<u>NOAA-7,9,11,12,14,15</u>	<u>IFOV</u>
1	0.58 - 0.68	0.58 - 0.68	1.39
2	0.725 - 1.10	0.725 - 1.10	1.41
3	3.55 - 3.93	3.55 - 3.93	1.51
4	10.50 - 11.50	10.3 - 11.3	1.41
5	banda 4 repetida	11.5 - 12.5	1.30
	(<u>micrômetros</u>)	(<u>micrômetros</u>)	(<u>miliradianos</u>)

IV.2 - Obtenção dos dados de imagens de satélite

Os dados convertidos de imagens dos satélites NOAA-12 e NOAA-14, foram obtidos através da estação de recepção instalada no Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – CEPSRM.

A estação é um equipamento de fabricação da empresa Smartech, Estados Unidos, e está em funcionamento no CEPSRM desde outubro de 1998. É constituída de um prato coletor de 1,52m de diâmetro, com um receptor de microondas operando no domínio de frequências entre 1670 e 1735MHz, estando apto, portanto, a receber as emissões dos satélites NOAA.

Faz parte do equipamento um receptor GPS que fornece continuamente ao sistema de controle a posição geográfica da antena. O controle se faz por um computador Digital Prioris 5200 SX, conectado por cabos RF à antena e ao GPS; o programa de controle SMARTrack (operando em ambiente ERDAS/Imagine NT) recebe informações, pela Internet, em modo automático, das efemérides dos satélites, atualizados diariamente. Desta maneira é possível ao sistema saber quando

qualquer satélite NOAA estará acima do horizonte de Porto Alegre, o que possibilita a recepção dos dados. Esta é feita em tempo real, pois a antena acompanha o satélite em seu deslocamento pela abóbada celeste, desde que aquele esteja a mais de, aproximadamente, três graus do horizonte. O tempo médio de uma aquisição é de cinco minutos., no formato HRTP. Como as passagens dão-se a alturas, ou distâncias zenitais, variáveis, o tamanho das imagens, em bytes, varia. Uma imagem típica, para passagens zenitais, contém 70 Mbytes.

Neste trabalho são usadas imagens digitais obtidas pelo canal 4 infravermelho, somente do quadrante no qual está situado o Rio Grande do Sul, com longitudes de 65° W até -40° W e latitudes de -20° até -37° .

Quando se usam imagens digitais de satélites, deve-se ter uma correta navegação delas. As imagens dos satélites NOAA devem ser geograficamente referenciadas através de uma transformação das coordenadas da imagem (linhas, colunas) para as coordenadas geográficas padrão (latitude, longitude), o que é feito através do programa ERDAS/Imagine.

Para que este processo seja posto em execução há a necessidade da identificação de um determinado número de pontos internos de controle, para os quais tanto as coordenadas geográficas quanto as da imagem sejam conhecidas; o que é automaticamente processado pelo programa. Feita esta identificação, em cada imagem, é possível estabelecer uma correlação entre as coordenadas geográficas e as coordenadas-imagem. A partir desta informação o georeferenciamento da imagem é executado.

A metodologia a ser demonstrada neste trabalho tem como primeira parte a transformação, operada sobre cada imagem, do ponto de visada. Este procedimento tem complicações, por duas razões : a) o tempo de aquisição (aprox. cinco minutos) é suficientemente longo para que o satélite se desloque apreciavelmente sobre a região imageada; b) igualmente, este intervalo de tempo permite que a Terra se desloque sob o satélite. Não obstante estas dificuldades, as rotinas

ERDAS/Imagine, ainda que laboriosas, permitem a "retificação" de qualquer imagem, levando-a a apresentar o território imageado como se um ponto pré-determinado estivesse no nadir do satélite.

Em termos de manipulação de informação, alguns efeitos são óbvios. Sabemos que a resolução no ponto sub-satélite é de 1,1 km, enquanto que nas bordas da imagem é de 4 km. O que ocorre num procedimento de correção geométrica que traz elementos de imagem, inicialmente situados nas bordas, para uma região mais central ? Um pixel situado na borda contém informação sobre uma região de 4 km de lado; trazida para o centro, esta região ocupará quase quatro pixels, mas como o procedimento de retificação não pode criar informação, forçosamente haverá quadros de pixels com a mesma informação, implicando que a resolução efetiva nas regiões laterais não será de 1,1 km mas sim menor, já que pelo efeito de visada oblíqua, a área medida no terreno é maior. A imagem corrigida deste fator é obtida por um modelo matemático que modela este efeito, seguido da reconstrução da imagem corrigida por métodos convencionais de interpolação (vizinho mais próximo, interpolador bi-linear e outros).

A segunda parte da metodologia a ser demonstrada é a da soma de imagens retificadas, pixel a pixel. A soma de imagens é um procedimento muito simples para imagens tomadas a partir de satélites geoestacionários, com o GOES ou o Meteosat, pois existe a certeza que o sensor remoto não se moveu com respeito ao ponto sub-satélite. Assim, dadas várias imagens, o pixel (m,n) de cada imagem corresponde, em princípio, a uma mesma porção de território. O georeferenciamento, de qualquer modo, inclui a correlação das coordenadas expressas no sistema interno do satélite com coordenadas geográficas, num procedimento que pode ser laborioso (Magro et al. 1993).

A simplicidade do método, no entanto, tem como contrapartida o fato de que a resolução destes satélites de órbita muito alta é da ordem de 8 km. Neste aspecto os satélites NOAA permitem estudos territoriais bem mais acurados em relação aos dados dos satélites GOES.

Neste trabalho, foi testada pela primeira vez, sobre dados colhidos pela antena NOAA do CEPSRM, a possibilidade de retificar imagens e somá-las pixel a pixel, usando rotinas do programa ERDAS/Imagine. O procedimento de soma de imagens tem sido utilizado como um meio de obter, graficamente, o valor de médias temporais da cobertura de nuvens sobre uma região. Lembramos que o objetivo mais profundo deste trabalho, no contexto de um projeto deste CEPSRM, é de desenvolver metodologias e técnicas para identificar, sobre imagens do Rio Grande do Sul ou de quaisquer outras regiões, locais propícios para a instalação de observatórios astronômicos, o que exige o conhecimento de taxas de cobertura de nuvens ou de nebulosidade, em especial noturna.

A fim de se somar as imagens (píxel a píxel) e obter uma “imagem soma” foram usados módulos do ERDAS/Imagine que permitem a leitura dos píxeis e do correspondente valor de emitância da radiação na imagem. Dessa maneira pode-se definir as melhores regiões em termos de menor taxa de cobertura de nuvens.

Foi utilizado um total de nove imagens dos satélites NOAA-10 e NOAA-12, as quais estão descritas na tabela IV.3 com visualização de algumas nos anexos (Figuras V.1, V.2, V.3). Conforme os objetivos deste trabalho, as imagens são noturnas; imagens diurnas, embora tenham alguma utilidade para estudos de nebulosidade no ciclo diário, não fornecem informação relevante para o que acontece à noite, como foi explicado no capítulo III. A identificação de cada imagem segue a prática recomendada pela Smartech, contendo informação do calendário juliano, com o ano e o dia da aquisição, seguida da referência (a) ou (b) para primeira ou segunda passagem, respectivamente. O número (10) ou (12) representa o satélite NOAA-10 ou NOAA-12.

Após o ponto aparece a sigla hrp, correspondente a um dos três formatos de aquisição do sensor AVHRR.

Tabela IV.3 – Relação de imagens

Nome	Data	Horário da aquisição
98342b12.hrp	08/Dez/1998	21h 14min
98344b12.hrp	10/Dez/1998	22h 10min
98346a12.hrp	12/Dez/1998	21h 25min
98357b12.hrp	23/Dez/1998	22h 23min
98358b12.hrp	24/Dez/1998	22h 00min
98359b12.hrp	25/Dez/1998	21h 38min
98360b12.hrp	26/Dez/1998	21h 16min
98361b10.hrp	27/Dez/1998	20h 06min
99157b12.hrp	06/Jun/1999	21h 27min
Soma = 98342b12.hrp + + 98344b12.hrp	08/Dez/1998 + 10/Dez/1998	x - x - x

Capítulo V

Resultados e Conclusões

V.1 – Análise dos Resultados

A figura V.1 mostra a imagem das 22h23min do dia 23.12.98, compreendendo um território que vai do Mato Grosso, Bolívia e Norte do Chile, ao Norte, até a região de Baía Blanca ao Sul; e do litoral de Santa Catarina (ao centro da borda direita) ao Leste, ao Oceano Pacífico, ao largo (200 km) do Chile ao Oeste. A tomada dos dados foi feita com o satélite deslocando-se do Sul para o Norte. O Rio Grande do Sul nesta captura estava sendo avistado de um ângulo de aproximadamente 20 graus. A figura V.2 mostra a mesma região coberta pela figura V.1, limitada ao território do Rio Grande do Sul, após o processo de correção geométrica. Os níveis de contraste da imagem retificada foram alterados para melhor visualização, o que resultou na introdução de "falsa cor".

A figura V.3 mostra a imagem (retificada) das 21h14min do dia 8.12.98. Podemos identificar nuvens : a sudoeste, sudeste e nordeste, nuvens altas, que são formações de cirrus. No litoral sul, nebulosidade média, devida a alto-cumulus e alto-estratus (conforme definições do capítulo II), e nebulosidade alta, com cirrus-cumulus e cirrus-stratus, estendendo-se até o planalto central. Ao norte-nordeste, nebulosidade baixa e esparsa; na região sul, nebulosidade baixa mais densa, formada por stratocumulus, stratus e cumulus.

A figura V.4 é a soma, pixel a pixel, das imagens dos dias 8.12.98 e 10.12.98. Observamos os padrões de nuvens, agora não significativos do ponto de vista de sua classificação, pois são somados elementos de estruturas diferentes. O que é significativo, em imagem soma, é a cobertura acumulada em cada pixel, que corresponde à taxa de cobertura integrada.

Os resultados buscados e obtidos foram :

- 1) o procedimento de correção geométrica é factível e, embora laborioso, fornece imagens “retificadas” nas quais a geografia da região imageada é reconhecível. No caso de imagens com

cobertura maciça de nuvens, esta constatação é importante, pois o georeferenciamento preservado no processo de retificação torna-se fundamental, quando a nebulosidade impede o reconhecimento de marcos geográficos.

- 2) a imagem “soma” carrega evidentemente as nebulosidades das imagens individuais, o que tende a rapidamente apagar quaisquer elementos de solo visível, impedindo o reconhecimento geográfico por inspeção visual. A partir desse momento, a análise da magnitude, ou da carga de nebulosidade sobre o território só poderá ser feita a partir das coordenadas geográficas.

Deve-se considerar que devido à correção geométrica há mudanças na resolução dos contadores digitais, as quais não foram apreciadas neste trabalho. Isto introduz novas variáveis a serem consideradas e tratadas posteriormente. Nestes trabalhos de localização de sítios seria recomendável levar em conta, também, imagens geradas por outros satélites meteorológicos e pesquisas *in situ* da estabilidade atmosférica e análise orográfica.

Deste método é possível apreender, desenvolver e estender aplicações para outras finalidades, como agricultura (obtenção dos níveis de vegetação), geologia, meteorologia, etc.. Como exemplo geral, a correção geométrica de imagens possibilita a construção de bancos de dados onde imagens sucessivas, corrigidas, podem ser usadas para estudos de séries temporais de dados.

V.2 – Desenvolvimentos Futuros

Este trabalho tem à sua frente possibilidades extremamente promissoras, dadas as potencialidades da metodologia demonstrada. Pretendemos desenvolver os seguintes projetos :

- 1) implementar, em modo o mais automatizado possível, rotina de correção geométrica de imagens NOAA;
- 2) montar banco de imagens, estas em horários noturnos, incluindo início e fim de noite;

- 3) implementar procedimento de adição de imagens, manipulação de níveis de sombra, e superposição de pontos de localização geográfica;
- 4) estender a coleta de dados e a montagem do banco de imagens para outras bandas espectrais;
- 5) estudar combinações de dados em mais de uma banda espectral, para evidenciar efeitos de nebulosidade atmosférica.



Figura V.1

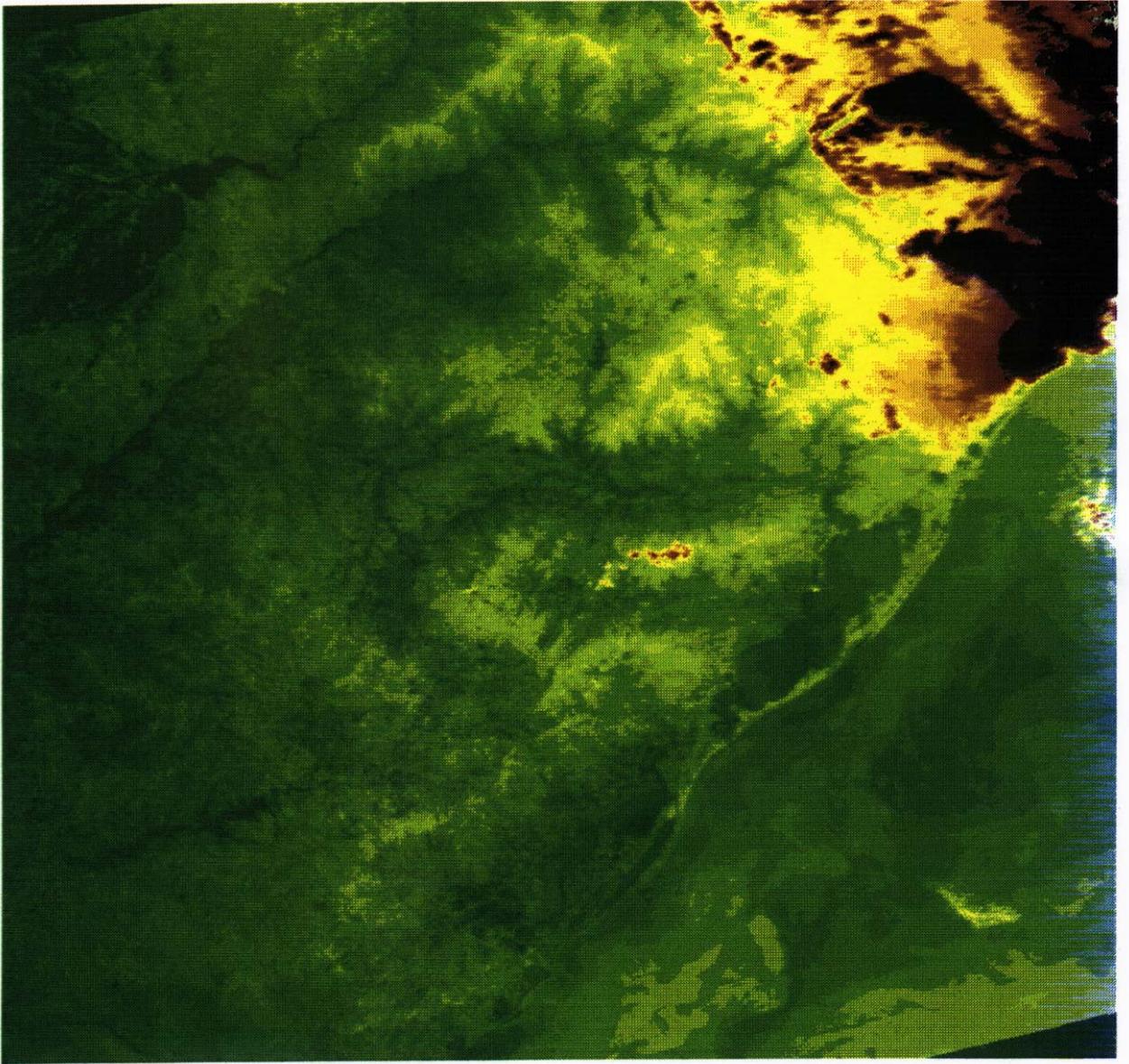


Figura V.2

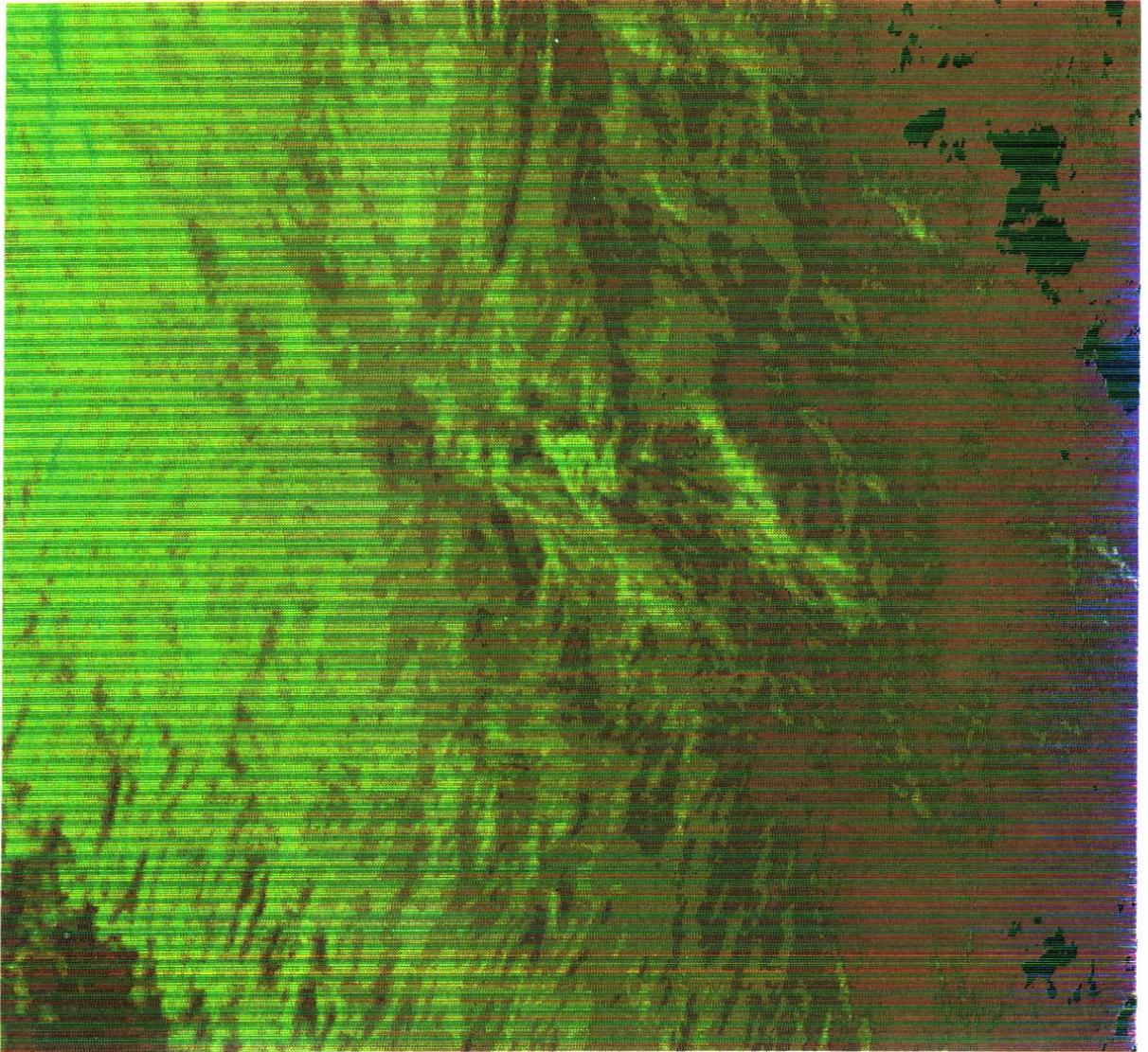


Figura V.3

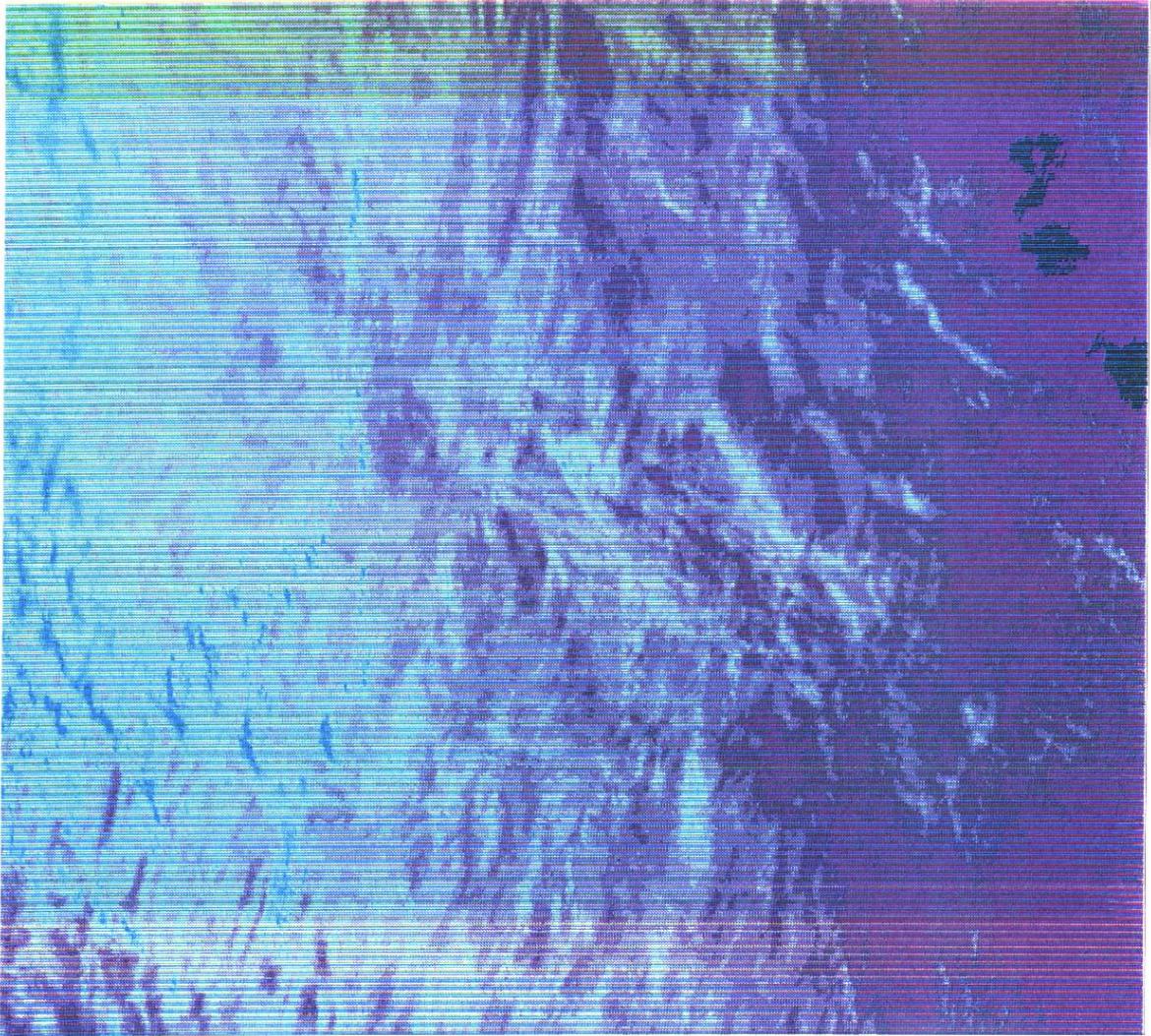


Figura V.4

Bibliografia

AYOADE, J. O. 1988. Introdução à Climatologia para os Trópicos. Editora Bertrand Brasil S. A., 332 p, Rio de Janeiro, R. J.

BARRETO, L. M. 1971. Anteprojeto de Observatório Astrofísico no Brasil. XXIII Reunião Anual da S.B.P.C., Ciência e Cultura, 23, supl. 1,31.

BERTÊ, A. M. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. 1995. Boletim Gaúcho de Geografia **20**, 104. Porto Alegre.

BITT-MONTEIRO, J. 1999. Comunicação privada.

BIRNEY, D. S. 1991. Observational Astronomy. Cambridge University Press, New York

ERASMUS, D.A., PETERSON, R. 1997, Publications of the Astronomical Society of the Pacific 109, 208.

GRAEF, G. L. 1989. (Graphics Formats) A Close Look At GIF, TIFF And Other Attempts At A Universal Image Format. BYTE, U.S.A. 305-310p. september/1989.

HARWIT, M. 1983. Astrophysical Concepts, Wiley, New York

HOFFMANN, G. R. 1990. Rio Grande do Sul: Aspectos da Geografia. Martins Livreiro - Editor, Porto Alegre.

JOHNSON, H. L. 1963 . Photoelectric Systems, *in* Basic Astronomical Data, ed K. Aa. Strand University of Chicago Press, Chicago.

- KIDWELL, K. B., comp. and ed., 1991, NOAA Polar Orbiter Data (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8, NOAA-9, NOAA-10, NOAA-11, and NOAA-12) users guide. NOAA/NESDIS, Washington, D.C.
- LEITÃO, R. S. 1993. Astrometeorologia do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, UFRGS/CEPSRM, Porto Alegre.
- MAGRO, F. H. S.; DUCATI, J. R.; LEITÃO, R. S. 1993 . Navegação em Imagens Digitais do Sistema GOES. Pesquisas, **20**(2):114. Porto Alegre
- MEINEL, A. B. 1969. Astronomical Seeing and Observatory Site Selection, *in* Telescopes, ed. G.P. Kuiper e B. Middlehurst, Univ. of Chicago Press, Chicago
- MELLO, S. F. 1982. Escolha de Sítio para o Observatório Astrofísico Brasileiro. CNPq/Observatório Nacional, Rio de Janeiro.
- OSÓRIO, F. S. 1991. Um Estudo Sobre Conhecimento Visual de Caracteres, Através de Redes Neurais. Dissertação de Mestrado CPGCC/UFRGS, Porto Alegre.
- RODDIER, F. 1988, Optical Propagation and Image Formation Through the Turbulent Atmosphere, *in* Diffraction-Limited Imaging with Very Large Telescopes, ed. D.M. Alloin e J.-M. Mariotti, Kluwer, Dordrecht
- SEZE, G., DESBOIS, M. 1987, Journal of Climate and Applied Meteorology 26, 287
- SOLA, J. C. 1935. Astronomia. Editorial Ramón Sopena, S.A., Barcelona .
- STOCK, J., KELLER, G. 1963. Astronomical Seeing, *in* Telescopes, ed. G. P. Kuiper and B. Middlehurst,. University of Chicago Press, Chicago.
- VIEIRA, E. F. 1984. Rio Grande do Sul: Geografia Física e Vegetação. Sagra - Editora e Distribuidora, Porto Alegre.